

# APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES RÉSEAUX DE NEURONES

IJCNN'93

Jean-Pierre Briot

**F**in Octobre 1993, s'est tenue à Nagoya la plus grande conférence internationale sur les réseaux de neurones. La conférence est intitulée : *International Joint Conference on Neuronal Networks*, abrégé en IJCNN'93. Géographiquement, Nagoya est située entre Tokyo et Kyoto, et représente une région fortement industrialisée, comme en témoigne notamment la présence du constructeur automobile Toyota. Cet article résume les discussions et présentations sur le thème des applications industrielles des réseaux de neurones.

## LES RÉSEAUX DE NEURONES

Nous allons tout d'abord tenter de résumer brièvement (et donc grossièrement) le domaine scientifique de la conférence. Les réseaux de neurones représentent à la fois l'étude et la modélisation du fonctionnement des cerveaux biologiques, en particulier humains, mais également l'application informatique de tels principes à des problèmes tels que la reconnaissance de caractères. On parle alors de réseaux de neurones artificiels (par opposition aux neurones biologiques), avec une simulation informatique fortement simplifiée et restreinte (notamment au système visuel) des neurones, et de leurs connections synaptiques. Le premier terrain d'application est historiquement la reconnaissance de formes (et en particulier de caractères).

Un réseau de neurones artificiel est constitué d'un ensemble de neurones connectés entre eux. Chaque neurone possède un certain nombre de connections

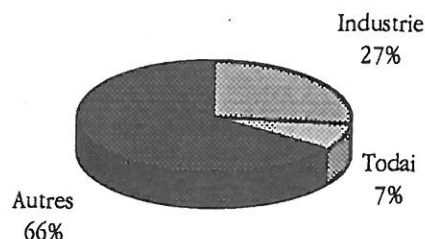
d'entrée et une sortie. Le comportement d'un neurone est le suivant : les valeurs d'entrée sont additionnées, chaque entrée étant pondérée par un « poids synaptique » associé. Si la somme résultante dépasse un certain seuil, la sortie prendra alors une valeur positive (on dit alors que le neurone déclenche) sinon elle restera nulle. Un réseau comporte plusieurs couches de neurones : une couche d'entrée, une de sortie, et une ou plusieurs couches intermédiaires. Dans le cas de la reconnaissance de caractères, la couche d'entrée est l'analogue de la rétine, chaque neurone représentant une portion de l'image à

reconnaître. La couche de sortie représente l'interprétation, les différentes valeurs des neurones de cette couche différenciant les différentes classes de caractères reconnus. Remarquons que les caractéristiques d'interconnexion du réseau et du comportement des neurones peuvent suivre des modèles plus complexes que présentés ici.

## APPRENTISSAGE ET UTILISATION

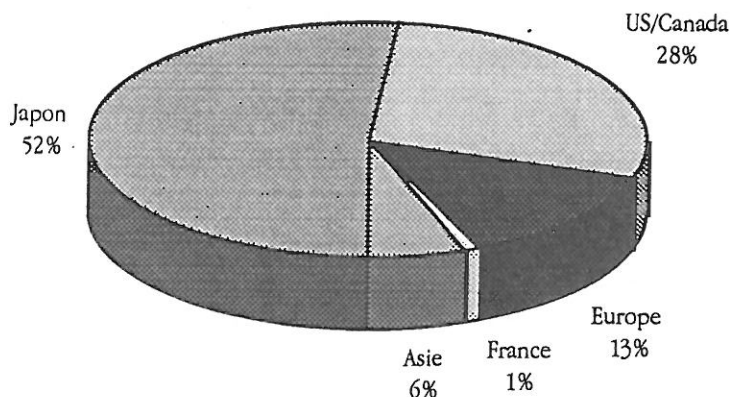
Le principe mis en jeu est une phase d'apprentissage pendant

*Répartition des membres japonais du comité de programme. On notera la présence importante des industriels et de l'université de Tokyo.*



*Répartition géographique du comité de Programme.*

*On notera une présence américaine (curieusement) importante compte tenu du nombre restreint de présentations américaines. L'Europe de l'Est n'est quant à elle presque pas représentée dans le comité de programme.*

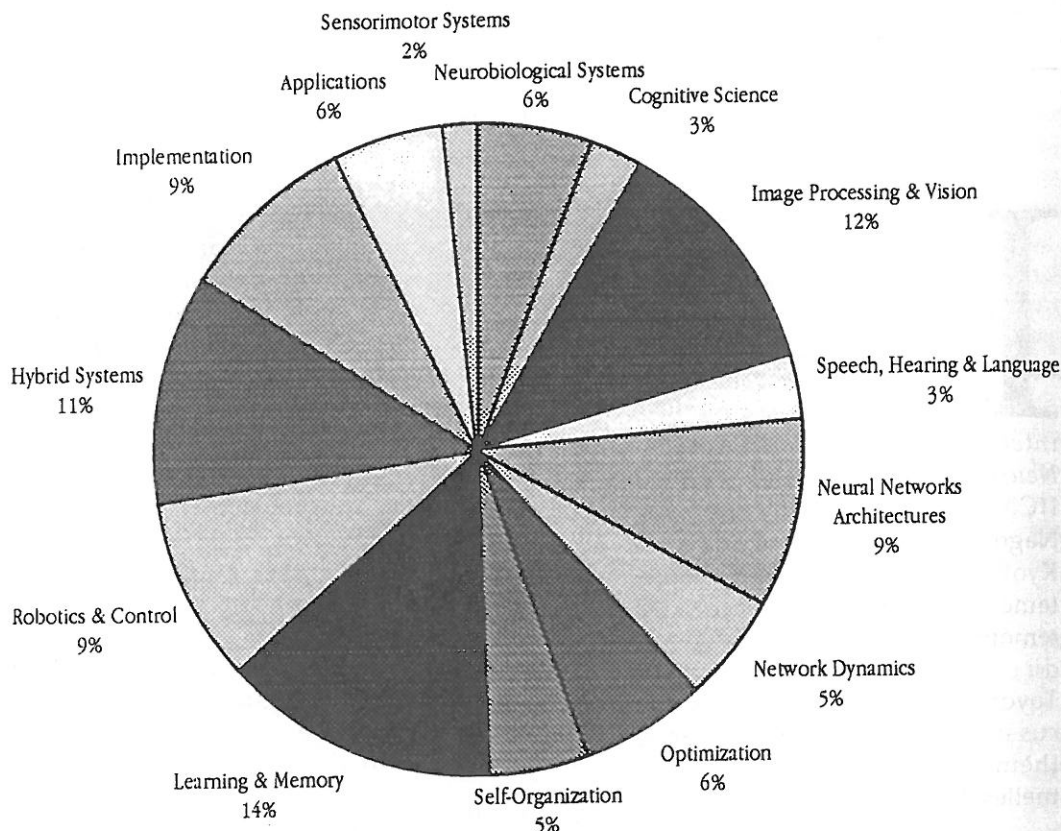


laquelle on présente aux neurones de la couche d'entrée de nombreux exemples de caractères (ainsi par exemple différents types de «A» manuscrits) tout en forçant ses neurones de sortie à donner les mêmes valeurs, c'est-à-dire à reconnaître toujours la même lettre. L'algorithme d'apprentissage (appelé «*back-propagation*») va propager cette contrainte dans le réseau à partir de la couche de sortie vers la couche d'entrée. Le réseau va ainsi réajuster de manière progressive ses connections (poids) synaptiques pendant la phase d'apprentissage.

Au bout d'un certain (grand) nombre d'exemples, le réseau est alors prêt à la reconnaissance proprement dite. L'intérêt des réseaux de neurones réside en la capacité du réseau à la généralisation, c'est-à-dire reconnaître ensuite comme un «A» un caractère qui n'aura pas nécessairement fait partie de l'échantillon d'apprentissage.

De nombreuses applications industrielles sont par exemple dans le domaine de la reconnaissance de formes (reconnaissance de caractères, signatures, visages, billets, etc.) et leur application à la prédiction (par exemple des mouvements de bourse, par reconnaissance de tendances) et au contrôle de processus (jusque dans l'électroménager). Un point fondamental au niveau du développement d'applications industrielles est l'intégration de ces techniques neuronales avec d'autres techniques plus ou moins conventionnelles. Ce point sera plus particulièrement détaillé dans cet article.

Répartition des sujets traités à IJCNN'93. Chaque article ou poster présenté compte pour une unité.



### LA CONFÉRENCE IJCNN'93

La Conférence IJCNN'93 est par sa taille la plus importante conférence dans le domaine des réseaux de neurones. Cette conférence présentait un aspect « colossal » et ce à plusieurs titres :

- conférence « jointe », c'est-à-dire cofinancée par les principales sociétés savantes et associations du domaine. Remarquons à ce sujet, qu'il n'y aura pas de IJCNN'94, du fait de désaccords politiques entre représentants de sociétés savantes quand à la nature de l'orientation, entre ingénierie (IEEE) et neurosciences (INNS).

- spectre très large, puisque la conférence couvrait à la fois les réseaux de neurones artificiels (principes, logiciels, circuits spécialisés, et applications), ainsi que le domaine des neurosciences (études et modèles des réseaux de neurones biologiques). Enfin il y avait également des travaux non strictement propres aux réseaux de neurones, mais en général complémentaires, comme la logique floue,

les algorithmes génétiques, la théorie du chaos, et de manière plus générale le domaine récemment appelé « vie artificielle ».

- public large, évalué entre 1000 et 1500 personnes. La liste des participants en dénombre 938 tandis que le Japan Times a annoncé fièrement 1500 participants.

- acceptation large des communications (environ 700 communications pour 7 kilos d'actes). Manifestement la quasi totalité des papiers soumis ont été acceptés. Il existe cependant une distinction entre communications orales effectives et posters (affichés sur des panneaux, avec présence de l'auteur à certaines heures). Mais cette différence n'apparaît pas au plan des actes, tous les papiers étant publiés au même niveau. Une conséquence pratique est que le niveau des papiers est très inégal, allant du très bon niveau au mémoire d'étudiant parfois peu novateur.

- éventail large des sessions. Chaque jour cinq sessions

parallèles portaient sur des thèmes distincts. En parallèle se tenaient également le programme d'affichage des *posters*, et des exposants industriels. Chaque jour il y avait également un programme spécial constitué de tables rondes et présentations sur un thème donné (applications, standardisation, et également la présentation du programme de recherche sur les ordinateurs de « 6ème génération » *Real World Computing*.

Nous nous intéresserons ici principalement aux sessions d'applications industrielles, et laisserons de côté les sessions plus techniques.

## APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Après une série d'exposés invités relativement décevants, la conférence a réellement débuté par une table ronde sur le thème des

applications industrielles des réseaux de neurones.

## PROSPECTIVE

Robert Hecht-Nielsen, fondateur de la société du même nom a tout d'abord tenu un discours vivant, futuriste, et relativement provocateur. Il prédit l'arrivée imminente de robots de plus en plus autonomes de type neuro-robots et le développement exponentiel de leur utilisation, à terme dans les processus de conception et de fabrication. En conclusion l'industrie des robots serait donc la dernière industrie humaine.

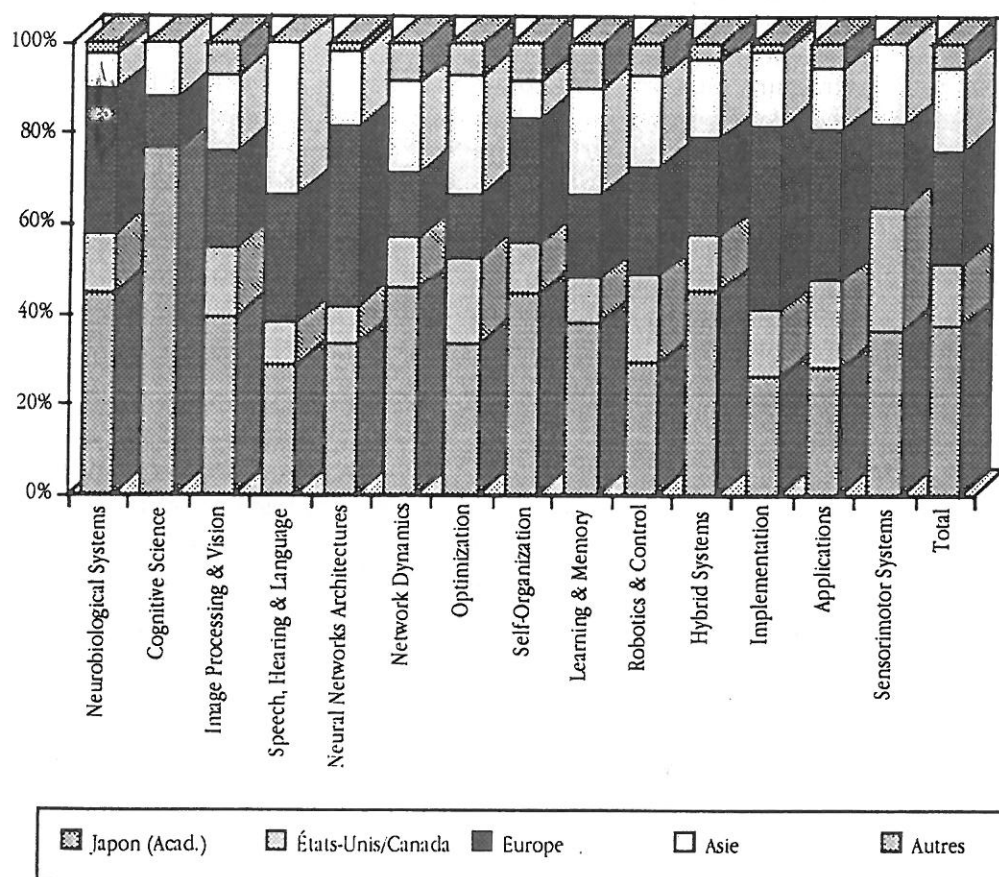
Bien que ce discours soit manifestement volontairement excessif pour frapper les esprits (et les futurs clients de la société Hecht-Nielsen), l'argumentation qui suit est instructive. Le développement de la technologie actuelle décuple

la productivité humaine, mais les systèmes sont en général encore programmés, contrôlés, et dépannés par les hommes. D'après Hecht-Nielsen, les bases technologiques du développement des premiers neuro-robots sont proches de la maturité (avant la fin du siècle). Ces premiers neuro-robots seront encore extrêmement stupides, mais atteindront rapidement la capacité d'instruire immédiatement d'autres robots pour effectuer des tâches apprises, pour s'auto-diagnostiquer, et pour réparer d'autres robots. Ces robots auront des fonctions de base (nettoyage, manipulation...), mais la technologie et leur savoir progressant, leurs capacités s'accroîtront rapidement. L'industrie des robots deviendra alors la première industrie humaine, et également la dernière une fois que les robots auront pris en charge les processus de conception et fabrication. La société humaine

atteindra alors un « âge d'or » (« fin de l'économie ») où la pauvreté aura disparu.

## RÉALITÉ

A l'opposé de Robert Hecht-Nielsen, Françoise Fogelman-Soulié, de la compagnie Sligos et de l'Université Paris-Sud (Orsay), a tenu un discours beaucoup plus réaliste. Françoise Fogelman a défendu l'idée que les réseaux de neurones ne doivent pas être utilisés de manière autonome en milieu industriel. Les réseaux de neurones doivent donc n'être qu'une composante importante d'un système hybride. L'intégration doit être



Répartition des sujets traités par zone géographique.

Compte tenu de la très grande proportion de présentations émanant de l'industrie japonaise, nous n'avons compté que les présentations provenant uniquement d'universités japonaises (Japon Acad.). On remarquera la présence importante des autres pays d'Asie, Inde exclue, au sein de la conférence.

faite avec des technologies plus conventionnelles (par exemple les techniques statistiques) ou récentes (en particulier intelligence artificielle ou/et logique floue). Cette approche intégrative et modulaire permet également une insertion progressive de la technologie réseaux de neurones dans les applications industrielles. Enfin la double appartenance de Françoise Fogelman (université et industrie) lui permet de tirer un bilan réaliste des relations entre recherche et industrie. En substance, les résultats de recherche actuels ne sont pas encore exploitables en applications industrielles, et cela prendra comme d'habitude du temps (une dizaine d'années).

## FINANCES

Guido Deboeck, de la *World Bank*, a résumé l'état actuel et futur d'utilisation des réseaux de neurones, ainsi que les algorithmes génétiques et la théorie du chaos, pour des applications financières.

Les réseaux de neurones sont d'ores et déjà utilisés en prédiction et décision dans les marchés financiers. Des exemples d'application sont la prédiction de taux, la sélection de portefeuilles d'actions, et la détermination des accords de prêts ou de crédits. Du fait de la complexité et la non-linéarité des marchés financiers, les approches mécaniques (de type systèmes experts) sont moins efficaces que les approches fondées sur l'apprentissage, et donc en particulier les réseaux de neurones. La théorie du chaos donne également un cadre de visualisation et d'interprétation des évolutions des marchés financiers. Remarquons que l'utilisation répandue de logiciels de décision financiers a été rendue en partie responsable par certains du « lundi noir » de la bourse en 1987. Ce mini-« krach » boursier avait vu une chute spectaculaire de l'ensemble du marché par effet de convergence et d'entraînement des logiciels de décision souvent similaires et de type système expert. Guido Deboeck rejette un tel risque pour les nouveaux logiciels de type réseaux de neurones du fait que

chaque institution financière travaille sur des objectifs et des modèles distincts. Au contraire selon lui l'utilisation de tels logiciels de décision contribuera à une meilleure fluidité des marchés.

Une table ronde sur le même thème réunissait d'autres spécialistes d'applications financières. Nikko Securities utilise ainsi des réseaux de neurones pour l'analyse des marchés boursiers (*stock market*). Une équipe de Fujitsu applique les réseaux de neurones à l'évaluation d'actions. Cette équipe travaille au problème de l'initialisation de réseaux de neurones (pour pouvoir utiliser d'éventuelles règles explicites, avoir plus de structure, et pour éviter un apprentissage trop long). L'utilisateur peut spécifier une connaissance initiale sous forme de règles floues qui seront compilées en un réseau de neurones à 7 couches. Le réseau ainsi initialisé peut être ensuite affiné à l'aide de l'apprentissage. L'intérêt est également de pouvoir retraduire sous forme de connaissances symboliques (règles floues) la connaissance répartie dans le réseau une fois l'apprentissage effectué. Il est intéressant de constater que cette équipe applique également la même technique à l'entraînement initial de robots dans un monde virtuel avant de débiter l'apprentissage dans le monde réel.

Un concepteur de logiciels financiers de Singapour (société NIPS) commercialise une application de prédiction de marchés boursiers par reconnaissance de motifs. Il propose également une plate-forme de développement de réseaux de neurones qui optimise la conception à l'aide d'algorithmes génétiques. L'idée est de donner au départ un ensemble de réseaux de neurones, de les mettre en situation d'apprentissage, puis d'optimiser la sélection de meilleures architectures selon certains critères (tels que nombre de couches, taux d'apprentissage...).

Rappelons brièvement que les algorithmes génétiques sont une métaphore du processus naturel d'évolution appliquée à des pro-

blèmes d'optimisation. L'idée est de coder les caractéristiques (gènes) des individus/solutions que l'on souhaite optimiser ainsi qu'une fonction qui va déterminer l'adéquation ou valeur de l'individu. On part avec une population initiale (déterminée plus ou moins au hasard). La sélection va éliminer les individus les moins performants, l'hybridation va créer de nouveaux individus par combinaisons génétiques, et la mutation va altérer aléatoirement certains gènes. Ce type d'architecture donne de très bons résultats dans de nombreux domaines. La difficulté est de déterminer les bons choix pour le codage génétique et pour les taux relatifs d'hybridation et de mutation.

Enfin la société américaine John Deere (machines agricoles et travaux publics) est en train de tester l'utilisation d'un réseau de neurones pour la sélection de portefeuilles d'actions. L'objectif est d'optimiser la gestion des retraites des employés de la société. Le réseau apprend à partir de données historiques. L'expérience montre que le choix de la granularité temporelle (fenêtres de temps d'analyse et de prédiction) est primordial pour un système optimal.

## ÉLECTROMÉNAGER

Tsuneharu Nitta de Matsushita (Central Research Lab., Matsushita Electric Industrial Co.) a décrit le développement actuel d'une nouvelle génération d'électroménager à l'aide de techniques de type réseaux de neurones, logique floue, et théorie du chaos. Le constat à la base est l'évolution de la production de masse et d'utilité vers l'individuel et le convivial. Pour Tsuneharu Nitta, la première génération de produits était pratique (ex: réfrigérateurs), la deuxième génération était plus sophistiquée et à la mode (ex: vidéo), la troisième génération à venir sera plus conviviale et adaptée à la sensibilité de l'individu ainsi qu'à la qualité et le respect de son environnement. Les appareils doivent pouvoir s'adapter aux situations d'utilisation et à la sensibilité de l'utilisa-

teur. Le mot clé est «*heartware*» (appareils «amicaux»). Ces appareils doivent donc combiner des capteurs avec des capacités de raisonnement (logique floue) et d'apprentissage (réseaux de neurones) pour acquérir de nombreuses situations/cas. Des exemples d'applications intégrées seront à terme les cuisines automatisées, les unités de soins automatisés à domicile, et le traitement automatisé des déchets.

Matsushita (connu entre autres par la marque « Panasonic » en Occident) commercialise dès maintenant plusieurs appareils d'électroménager utilisant ces technologies. Le plus connu, déjà présent dans les magasins depuis plus d'un an, est l'autocuiseur « flou » de riz. Matsushita a développé et a ou va également commercialiser une machine à laver floue/neuronale et un système de climatisation neuronal. Remarquons que cette avancée technologique est presque anachronique dans un pays où la quasi-totalité des machines à laver sont encore extrêmement rustiques et lavent à l'eau froide.

L'autocuiseur de riz à logique floue est contrôlé par des règles de logique floue. Les différentes étapes de la cuisson sont ainsi adaptées aux indications données par l'utilisateur (ainsi la fermeté du riz) et contrôlées (capteurs de température et de consommation électrique). Une fois de plus le «génie» japonais en matière d'application de haute technologie à des produits grand public s'exprime de manière frappante pour les esprits. Le choix d'un autocuiseur de riz n'est pas innocent compte tenu de l'importance alimentaire du riz dans la société asiatique.

La machine à laver floue/neuronale est un bon exemple de rajout de module d'apprentissage (neuronal) à un module initial de logique floue. Le but est d'augmenter la finesse du contrôle, en l'occurrence une machine à laver (prototype?) déjà dotée de logique floue, mais sans augmenter le nombre de capteurs et en conséquence le prix. La solution adoptée consiste en l'optimisation des para-

mètres des règles de logique floue par apprentissage neuronal.

Dernier exemple, l'air conditionné neuronal sait mémoriser et anticiper les besoins de l'utilisateur. À chaque contrôle/requête de l'utilisateur, le réseau va mémoriser un certain nombre de paramètres (température extérieure, température de la pièce, température requise, et temps écoulé depuis la mise en fonctionnement). Ainsi l'appareil doit pouvoir progressivement minimiser les interventions de l'utilisateur.

Enfin de telles techniques peuvent être également appliquées à d'autres appareils tels l'aspirateur, les couvertures chauffantes, les photocopieurs...

## INDUSTRIES LOURDES

Kenzo Noguchi de Mitsubishi Heavy Industries, a présenté un certain nombre d'applications commerciales des réseaux de neurones au contrôle de processus en industrie lourde.

Un système de soudure par laser est contrôlé par un réseau de neurones. Des fibres optiques sont placées autour de la fibre conduisant le rayon laser. Elles permettent de détecter le rayonnement réfléchi pendant le processus de soudure. Un réseau de neurones prend comme entrée 29 paramètres, résultant de la compression d'un certain nombre de données au cours du temps (rayonnement réfléchi au niveau des fibres capteurs, puissance du laser, vitesse de la soudure...). Le réseau comporte 6 neurones de sortie qui déterminent 6 types principaux d'anomalies du processus de soudure.

Une station de pompage est contrôlée par deux niveaux de réseaux de neurones et un système expert. L'information externe est la quantité de précipitations (pluies) prévue par les services météorologiques. Le premier réseau de neurones prédit alors les niveaux à atteindre en fonction de la quantité d'eaux pluviales et du niveau actuel du réservoir, le deuxième réseau déduit alors les objectifs de pompage à atteindre. Enfin le sys-

tème expert va alors contrôler les opérations de pompage effectif.

Parmi d'autres exemples d'applications commerciales, citons : un système de contrôle de l'échauffement d'une machine, un système de contrôle de température d'évaporateurs, et le contrôle de la marche d'un robot qui peut par généralisation générer de nouveaux modèles de marche.

Signalons enfin qu'une dizaine de stands d'exposition présents à la conférence présentaient des sociétés de développement de logiciels d'application de type réseaux de neurones. Mais leurs produits ou projets nous semblaient plus conventionnels (appliqués en majorité à la reconnaissance de caractères, de billets de banque...).

## CONCLUSION

Cette description des applications industrielles des réseaux de neurones illustre une fois de plus la capacité des industriels japonais à appliquer la haute technologie à des produits grand public. L'autocuiseur de riz à logique floue en est sans doute l'exemple le plus représentatif. L'approche suivie est pragmatique et de nombreux «hybrides», en particulier la combinaison de règles de logique floue pour spécifier le raisonnement et d'un réseau de neurones pour optimiser ces règles par apprentissage, sont d'ores et déjà en cours d'application à des problèmes concrets.

□ JPB.

*Statistiques et graphiques par JPS.*