6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans ce mémoire, nous avons présenté nos recherches sur les système hybrides neuro-symboliques (SHNS), et en particulier sur l'acquisition incrémentale de connaissances à partir de connaissances théoriques (règles symboliques) et de connaissances empiriques (exemples). Nous avons décrit un nouveau système hybride, nommé système INSS - *Incremental Neuro-Symbolic System,* que nous avons étudié et réalisé. Ce système permet le transfert de connaissances déclaratives (règles symboliques) d'un module symbolique vers un module connexionniste (réseau de neurones artificiel - RNA) à travers un convertisseur de règles en réseaux. Les connaissances du réseau ainsi obtenu sont affinées par un processus d'apprentissage à partir d'exemples. Ce raffinement se fait soit par ajout de nouvelles connaissances, soit par correction des inconsistances, grâce à l'utilisation d'un réseau constructif.

Nous avons aussi présenté notre méthode d'extraction incrémentale de règles qui a été intégrée au système INSS, ainsi que les algorithmes de validation des connaissances qui ont permis de mieux coupler les modules connexionniste et symbolique. Ainsi, le système que nous avons développé est-il caractérisé comme un outil d'apprentissage automatique qui possède la capacité de réaliser une acquisition constructive de connaissances.

Notre système a été testé sur plusieurs applications, en utilisant des problèmes académiques et des problèmes réels (diagnostic médical et contrôle d'un robot autonome). Les résultats obtenus montrent que le système INSS à des propriétés intéressantes et de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes hybrides du même type :

- Il permet l'insertion et la représentation de connaissances de haut niveau (règles de haut niveau) dans les réseaux connexionnistes;

- Il est incrémental à plusieurs niveaux : les réseaux connexionnistes sont de type constructif, l'extraction de règles peut être réalisée de manière incrémentale, et les connaissances peuvent évoluer à travers un processus cyclique, centré sur les réseaux neuronaux, "d'insertion-raffinement-extraction-validation";

- Il offre la possibilité de travailler avec des données qualitatives aussi bien qu'avec des données quantitatives;

- Il est capable de mieux exploiter les connaissances sur un problème donné, car il peut intégrer les deux types de connaissances usuellement disponibles : les connaissances théoriques et les connaissances empiriques;

- Il est très performant et sa réalisation modulaire et parametrable lui permet d'être facilement adaptable à différents types d'applications.

Notre principal apport au domaine de recherche en I.A. est donc la proposition d'un nouveau système intelligent hybride : *le système hybride neuro-symbolique INSS*, capable d'acquérir des connaissances théoriques et empiriques d'une façon constructive. Nous avons développé une nouvelle architecture de SHNS et de nouvelles méthodes d'insertion et d'extraction de connaissances à partir des réseaux de neurones. Cette architecture s'est révélée très utile dans les domaines d'application où le système INSS a été utilisé.

Ce travail a ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine de l'apprentissage automatique et des systèmes hybrides neuro-symboliques. Cependant, il restent encore des points à étudier et à développer plus profondément :

- L'étude des "règles de haut niveau", leur représentation et leur apprentissage par les réseaux de neurones ; leur application à des problèmes réels, et le développement de méthodes permettant de savoir quand il convient de les utiliser ;

- L'extraction de règles d'ordre 0^+ ou de règles de haut niveau. Actuellement, le système ne permet que l'extraction de règles d'ordre 0 (prédicats du type si-alors avec des opérateurs logiques simples);

- La possibilité de l'étude d'une nouvelle méthode d'extraction de règles à partir des réseaux basée sur des algorithmes génétiques, telle qu'elle a été proposée par G. Reyes dans son rapport d'études du D.E.A.;

- L'étude de la prise en compte du temps dans les réseaux, avec la possibilité d'utiliser des systèmes hybrides neuro-symboliques basés sur des réseaux récurrents;

- Le développement de nouvelles méthodes de validation des connaissances acquises de façon incrémentale. Le processus de validation de connaissances est très lourd du point de vue computationel, car il cherche à établir des relations entre *toutes* les connaissances disponibles. Il va falloir trouver de nouvelles méthodes optimisées pour la réalisation de cette tâche;

- La poursuite des expériences sur le problème de la balance, afin de mieux étudier l'évolution des connaissances et le passage d'un niveau cognitif à l'autre;

- La poursuite des expériences en robotique autonome, qui ont déjà donné des résultats très intéressants avec l'utilisation d'INSS. Le prochain pas serait de tenter d'intégrer différents comportements dans le système, comme par exemple : aller d'un point A à un point B, tout en évitant des obstacles;

- Le développement d'une interface graphique plus conviviale pour le système INSS.