

---

# **Knowledge Representation and Reasoning – A Review of the State of the Art and Future Opportunities**

## **(STO-TR-IST-ET-111)**

### **Executive Summary**

This report presents the findings of NATO Information Systems Technology (IST) Exploratory Team 111 (ET-111). ET-111 was formed to share understanding across NATO nations on the status of Knowledge Representation and Reasoning (KRR) in order to understand the state of the art and to consider if future collaborative activities would be beneficial.

In support of high level data fusion there is now a foundational need for information and knowledge to be understandable by humans and machines. Knowledge representation is the expression of knowledge in computer-tractable form in order for it to be exploited. A key but not sole reason for doing this is so that the knowledge can be reasoned over. Knowledge-based systems might also be referred to as symbolic AI and rule-based AI, and have been an active area of research for over five decades. As such, it might be considered by some as ‘old-school’ AI, differing from the algorithmic, machine-learning-based approaches to AI that have grown in prominence in recent years (and which are known to suffer from problems with explainability and generalisation). In the age of ‘big data’, knowledge representation and reasoning provides an avenue for the exploitation of data which is flexible, explainable, and grounded in human knowledge.

The first aim of this review was to provide a technical introduction to the field of knowledge representation and reasoning. Providing the reader with knowledge of key concepts – to nurture understanding – will enable an appreciation of the capabilities of knowledge systems. The second aim is to provide – by example – a working grasp of the processes one must utilise in order to create a knowledge system, and how such systems can be used in a military context to solve real-world problems. An understanding of such real-world problems to which knowledge systems are best applied should facilitate successful implementation and integration of KRR with NATO systems and doctrine.

In this report, we begin by discussing some of the challenges for NATO member nations, and how knowledge representation and reasoning in NATO may be expected to have an influence on these areas. We then provide a summary of the technical aspects of knowledge representation, knowledge engineering and methods for reasoning. We discuss specific examples of knowledge representation such as the MIP Information Model (MIM), the Rich Event Ontology (REO), OPIS, and the Defense Intelligence Core Ontology (DICO). We also describe the WISDOM R&D platform and the Intelligent Situational Awareness (INSANE) framework as examples of using knowledge representation to support sense making.

Following this we review wider research, including how text analytics can support the extraction of knowledge from reports and other sources of text, work on causality and the problems of explainability and trust in reasoning systems.

Finally, we conclude with a summary of the findings of the report and the implications this for the Alliance presenting key recommendations for further work:

- 
- Recommendation 1 – The NATO STO sponsors a technical activity to demonstrate the complementary use of symbolic and sub-symbolic methods and their benefit to improved decision making.
  - Recommendation 2 – The NATO STO sponsors a virtual lecture series/workshop to increase the awareness of KRR technologies in the science and operational sectors of NATO, in order to provide a catalysis for further skills development in this area.
  - Recommendation 3 – The NATO STO sponsors a dedicated Exploratory Team to consider specific interests in causal modelling and its application to knowledge-based systems, as a possible precursor to future practical demonstrations under activities such as that against Recommendation 1.

# **Représentation des connaissances et raisonnement – revue de l'état de la technique et opportunités futures (STO-TR-IST-ET-111)**

## **Synthèse**

Le présent rapport expose les conclusions de l'équipe exploratoire 111 (ET-111) de la commission OTAN sur la technologie des systèmes d'information (IST). L'ET-111 a été constituée pour confronter les différents points de vue des pays de l'OTAN sur le statut de la représentation des connaissances et du raisonnement (KRR), afin de comprendre l'état de la technique et d'étudier si de futures activités en collaboration seraient bénéfiques.

La fusion de données à haut niveau s'inscrit désormais dans un contexte où il est fondamental que les humains et les machines puissent comprendre les informations et les connaissances. La représentation des connaissances est l'expression des connaissances sous une forme pouvant être exploitée par un ordinateur. La possibilité de raisonner à partir de ces connaissances est l'une des raisons essentielles de cette représentation, mais non la seule. Les systèmes basés sur les connaissances peuvent également être appelés IA symbolique et IA basée sur des règles et constituent un domaine de recherche active depuis plus de cinquante ans. En tant que tels, ils pourraient être considérés comme une IA « à l'ancienne », se distinguant des approches algorithmiques de l'IA basées sur l'apprentissage automatique, qui ont pris de l'importance ces dernières années. À l'ère des « données massives », la représentation des connaissances et le raisonnement constituent un moyen d'exploiter les données qui est flexible, explicable et enraciné dans les connaissances humaines.

Le premier objectif de la présente revue est de fournir une introduction technique au domaine de la représentation des connaissances et du raisonnement. La connaissance des concepts essentiels, favorisant la compréhension, permettra au lecteur d'apprécier les capacités des systèmes de connaissances. Le deuxième objectif est de fournir, au moyen d'exemples, une appréhension pratique i) des processus à utiliser pour créer un système de connaissances et ii) de la manière dont ces systèmes peuvent servir dans un contexte militaire pour résoudre des problèmes réels. La compréhension des problèmes réels auxquels les systèmes de connaissances sont le plus efficacement appliqués devrait faciliter la mise en œuvre et l'intégration de la KRR dans les systèmes et la doctrine de l'OTAN.

Dans ce rapport, nous commençons par discuter de quelques défis qui se présentent aux pays de l'OTAN et de la façon dont la représentation des connaissances et le raisonnement au sein de l'OTAN pourraient avoir une influence sur ces questions. Nous résumons ensuite les aspects techniques de la représentation des connaissances, du génie de la connaissance et des méthodes de raisonnement. Nous discutons d'exemples particuliers de représentation des connaissances, tels que le modèle d'information du MIP (MIM), l'ontologie d'événements riche (Rich Event Ontology, REO), OPIS et l'ontologie essentielle du renseignement de la défense (Defense Intelligence Core Ontology, DICO). Nous décrivons également la plateforme de R&D WISDOM et le cadre de connaissance intelligente de la situation (Intelligent Situational Awareness, INSANE) en tant qu'exemples d'utilisation de la représentation des connaissances pour faciliter l'attribution d'un sens.

À la suite de cela, nous passons en revue la recherche dans son ensemble, notamment la manière dont l'analyse de texte peut favoriser l'extraction de connaissances à partir de rapports et d'autres sources de texte, le travail sur la causalité et les problèmes d'explicabilité et de confiance dans les systèmes de raisonnement.

Enfin, nous résumons les conclusions du rapport et leurs implications pour l'Alliance, en présentant des recommandations clés pour les travaux ultérieurs :

- Recommandation n° 1 – Que la STO de l'OTAN parraine une activité technique pour démontrer l'utilisation complémentaire des méthodes symboliques et sous-symboliques et leur avantage sur le plan de l'amélioration des décisions.
- Recommandation n° 2 – Que la STO de l'OTAN parraine une série de conférences ou un séminaire virtuels, afin d'augmenter la connaissance des technologies de KRR dans les secteurs scientifique et opérationnel de l'OTAN, de manière à catalyser le développement ultérieur de compétences dans ce domaine.
- Recommandation n° 3 – Que la STO de l'OTAN parraine une équipe exploratoire étudiant l'intérêt de la modélisation causale et son application aux systèmes basés sur les connaissances, comme préalable à d'éventuelles démonstrations pratiques dans le cadre d'activités telles que celles de la recommandation n° 1.