

Fiche de Synthèse – Atelier SOAR

L'atelier consacré à l'architecture cognitive SOAR avait pour objectif de comprendre comment un système artificiel peut simuler les processus mentaux humains tels que la perception, la mémoire, le raisonnement et la prise de décision. Conçue par Allen Newell, Paul Rosenbloom et John Laird, SOAR s'inscrit dans la recherche d'un Modèle Standard de l'Esprit, une structure computationnelle commune à toutes les formes d'intelligence humaine ou artificielle. Son ambition est de fournir un cadre unifié de la cognition, capable d'expliquer tout comportement intelligent à partir d'un ensemble restreint mais général de mécanismes.

SOAR repose sur une idée fondamentale : tout comportement orienté vers un but peut être décrit comme une recherche dans un espace de problème. À chaque instant, le système se trouve dans un état, sélectionne un opérateur, applique des règles, puis évalue le résultat. Ce cycle de décision, répété en continu, est le cœur de la cognition. Durant la phase d'élaboration, SOAR active en parallèle des règles issues de la mémoire à long terme pour enrichir la représentation de l'état et proposer de nouveaux opérateurs. Si les préférences sont contradictoires ou insuffisantes, une impasse se produit : le système crée alors un sous-état, un but temporaire destiné à résoudre ce blocage. Ce mécanisme d'auto-génération de buts constitue l'un des éléments les plus puissants de SOAR, car il imite la manière dont les humains décomposent un problème complexe en sous-problèmes.

Au cœur de cette dynamique se trouve le goulot d'étranglement cognitif, qui impose à SOAR de ne sélectionner qu'un opérateur par cycle. Cette contrainte reflète la rationalité limitée de l'esprit humain : nos décisions ne sont pas optimales, mais raisonnables compte tenu du temps et des ressources disponibles. SOAR n'est donc pas une intelligence parfaite, mais une intelligence réaliste qui agit avec des informations partielles, apprend de ses erreurs et ajuste ses stratégies au fil du temps.

L'architecture de SOAR s'articule autour de plusieurs composantes principales. La mémoire de travail représente l'état courant et sert d'interface avec la perception et l'action. La mémoire procédurale contient les règles de production de type "si condition, alors action", qui contrôlent les décisions. La mémoire sémantique regroupe les connaissances générales sur le monde, tandis que la mémoire épisodique conserve les expériences passées, réutilisables pour anticiper de futures situations. Ces mémoires interagissent en continu avec la perception et les actions, assurant la cohérence du comportement de l'agent.

Allen Newell, à l'origine du projet SOAR, a formulé l'idée d'une théorie unifiée de la cognition. Selon lui, toutes les capacités cognitives humaines – langage, mémoire, raisonnement, résolution de problèmes – proviennent d'un même système : l'esprit humain. Si toutes ces fonctions partagent la même base, alors leurs mécanismes internes doivent être compatibles et unifiés. SOAR est né de cette hypothèse : trouver un ensemble fixe de mécanismes et de structures fondamentales capables d'expliquer tous les comportements cognitifs de manière calculable par ordinateur.

Newell a résumé ce principe par la formule :

Comportement = Architecture + Contenu.

L'architecture correspond à la structure fixe du système, c'est-à-dire les mécanismes universels comme le cycle de décision, la mémoire procédurale ou le mécanisme de chunking. Elle fournit le cadre, mais ne produit pas à elle seule un comportement. Le contenu, en revanche, correspond aux connaissances spécifiques à un domaine : règles, faits,

opérateurs, stratégies. Ce sont ces connaissances qui, insérées dans l'architecture, donnent naissance à des comportements intelligents.

Cette vision explique pourquoi SOAR a pu être appliqué à de nombreux domaines. Dans les systèmes experts, R1-Soar a reproduit une partie du système industriel R1 pour la configuration d'ordinateurs VAX, démontrant qu'un modèle cognitif général pouvait gérer des tâches techniques complexes. Dans le domaine médical, Neomycin-Soar a permis de modéliser le raisonnement clinique et le diagnostic à partir de symptômes. En robotique, SOAR a contrôlé des agents simulés et des robots physiques comme le MOUTBOT, destiné à la simulation militaire. En langage naturel, NL-Soar a été utilisé pour modéliser la compréhension et la production linguistique, notamment des phénomènes psycholinguistiques tels que le "garden path phenomenon". Enfin, en psychologie cognitive, SOAR a servi à simuler le raisonnement humain dans des tâches de syllogismes ou d'extrapolation de séquences, confirmant sa validité comme modèle de la pensée.

Les architectures cognitives sont généralement classées selon leur type de représentation et de traitement de l'information. Trois paradigmes majeurs existent : symbolique, subsymbolique (ou connexionniste), et hybride. À l'origine, SOAR appartenait au paradigme symbolique, manipulant des symboles discrets et des règles explicites pour représenter la connaissance et la pensée. Ce paradigme correspond au courant cognitiviste, dans lequel l'intelligence émerge de la manipulation logique d'éléments symboliques.

Cependant, les versions récentes, notamment SOAR 9, ont introduit des éléments subsymboliques pour mieux gérer les aspects perceptifs et probabilistes de la cognition. Ces ajouts permettent à SOAR de traiter des représentations continues, des valeurs d'activation et des apprentissages inspirés des réseaux neuronaux. Il devient ainsi une architecture hybride, combinant raisonnement symbolique et traitement sub-symbolique. Cette évolution s'inscrit dans le Modèle Standard de l'Esprit, qui reconnaît que la cognition humaine repose sur une interaction entre les niveaux symboliques (concepts, règles, mémoire déclarative) et sub-symboliques (perception, apprentissage statistique, émotions).

Cette hybridation rend SOAR plus réaliste et flexible. Les représentations numériques et les métadonnées quantitatives, comme la fréquence ou l'utilité d'une règle, modulent désormais les décisions. Le système peut apprendre par renforcement, ajuster ses préférences, et faire preuve d'une adaptabilité comparable à celle des humains. Ce mouvement rapproche SOAR d'autres architectures hybrides telles qu'ACT-R, tout en conservant son noyau symbolique explicable.

L'atelier a aussi replacé SOAR dans une perspective critique et philosophique. Peut-on vraiment simuler la cognition humaine avec une telle architecture ? Le modèle ne reproduit pas la conscience, mais il recrée la structure logique du raisonnement humain : buts, mémoires multiples, apprentissage, rationalité limitée. Ce cadre permet de comprendre et de prédire des comportements intelligents sans chercher à imiter le cerveau biologiquement.

En conclusion, SOAR illustre la quête d'une intelligence artificielle cognitive et explicable, ancrée dans une théorie unifiée de la cognition. Par son organisation claire, ses multiples mémoires, son apprentissage cumulatif et son évolution vers l'hybridation symbolique-subsymbolique, elle constitue un pont entre la science cognitive, la psychologie expérimentale et l'IA moderne. L'architecture SOAR ne se limite plus à modéliser le raisonnement ; elle devient une théorie computationnelle complète de l'esprit humain, capable de s'adapter, d'apprendre et d'interagir dans des environnements réels tout en restant fidèle à son principe fondateur : l'unité de la cognition.