HAL
open science

E+N : Une Plateforme pour Stimuler l'Activité Collective de Découverte Scientifique

Jean Sallantin, Christopher Dartnell, Jacques Divol, Michel Liquière, Paul Bourgine, Sylvain Charron, David Chavalarias, Denis Pierre, Christophe Fagot, Clément Durand Daubin

To cite this version:

Jean Sallantin, Christopher Dartnell, Jacques Divol, Michel Liquière, Paul Bourgine, et al.. E+N : Une Plateforme pour Stimuler l'Activité Collective de Découverte Scientifique. ALCAA: Agents Logiciels - Coopération - Apprentissage - Activités Humaines, Jun 2004, Montpellier, France. pp.132-147. lirmm-00108853

HAL Id: lirmm-00108853

https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00108853

Submitted on 9 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

E+N : une plateforme pour stimuler l'activité collective de découverte scientifique

Jean Sallantin[1], Christopher Dartnell[1], Jacques Divol[1], Michel Liquière[1], Paul Bourgine[2], Sylvain Charron[2], David Chavalarias[2], Denis Pierre[3], Christophe Fagot[3], Clément Durand Daubin[3]

[1] LIRMM, UMR 5506 – Université Montpellier II/CNRS
161 rue Ada, 34372 Montpellier cedex 05, France
Email : js,dartnell,divol,liquiere@lirmm.fr

[2] Centre de Recherche en Epistemologie Appliquée, UMR 7656 – Ecole Polytechnique/CNRS
1 rue Descartes, 75005 Paris, France
Email : bourgine,chavalarias@poly.polytechnique.fr

[3] Normind
3 lot Panama, 34570 Murviel les Montpellier, France
Email : pierre,fagot,cdurandd@normind.com

Résumé :

Nous discutons dans cet article les bases d'un projet scientifique commun aux informaticiens, cogniticiens et économistes, dont le but est de modéliser et d'expérimenter des situations de recherche collective en science.

Nous avons développé une plateforme nous permettant d'observer comment un groupe de chercheurs ayant pour but d'augmenter son crédit dans une communauté, assistés ou non par des agents rationnels, construit, révise et réfute des théories scientifiques. Cette plateforme intègre un système multi-agents pour gérer les communications entre agents, des mécanismes d'apprentissage pour assister la production de théories et une formalisation en théorie des jeux de l'attribution d'un prix Nobel aux joueurs. Nous expérimentons son usage en utilisant le jeu d'Eleusis

1 Introduction

En développant la plateforme E+N, notre projet est d'expérimenter des méthodes et des outils qui permettent à des agents, n'étant pas nécessairement sur un même lieu, de travailler en équipe et à ces équipes d'établir des relations mutuelles de confiance leur permettant de coopérer dans le but de parvenir à un accord sur une méthode de résolution de problème.

Dans un tel projet, nous donnons aux langages informatiques les facultés attribuées

aux langages humains qui, par la communication et l'intercompréhension, permettent à chacun de structurer sa pensée. Nous les rapprochons ainsi de ce que Noam Chomsky considère comme le propre du langage humain celui d'être le "miroir de l'esprit" [Chomsky, 1981]. Les travaux en psycholinguistique et sociolinguistique ont confirmé que le sens que chacun attribue à des énoncés vient d'une interaction et que la confiance que l'on accorde à un énoncé vient de ce que sa production respecte des conventions sociales.

Notre recherche se situe ainsi dans le courant "Web semantic". Les nombreuses applications du Web naissent d'un accord sur la syntaxe des langages informatiques servant à les développer. Ces langages n'ont pas encore les facultés permettant une intercompréhension. Maintenant, le grand enjeu d'une informatique cognitive est d'enrichir ces langages pour qu'ils deviennent un "miroir rationnel de l'esprit" qu'ils assistent à la construction individuelle et collective du sens des énoncés. Un tel objectif semble inaccessible car il introduit une dimension sociale à l'informatique. Il nous semble que l'on peut l'aborder si l'on restreint cette dimension sociale à celle présente dans l'activité de découverte scientifique.

En effet, l'histoire des découvertes scientifiques nous renseigne sur la construction interactive du sens d'énoncés portant sur la réalité. En science, une découverte scientifique est un évènement marqué par la production, la confirmation ou l'invalidation d'une théorie scientifique servant à prédire et expliquer des phénomènes. Il nous paraît utile de dégager de l'activité scientifique, une démarche de construction de savoir efficace applicable dans d'autres domaines de l'activité humaine où il faut se mettre d'accord sur la manière de décrire un monde et d'agir. C'est pourquoi nous avons choisi comme objet d'étude pour la plateforme E+N d'expérimenter "comment se découvrent et se révisent des théories scientifiques".

Sans disposer d'une spécification formelle consensuelle de la découverte scientifique, on peut cependant s'appuyer sur trois considérations :

1) Les épistémologues ont dégagé la famille des idées permettant de décrire et de discuter l'activité scientifique.

2) Aujourd'hui, l'utilisation systématique d'une modélisation interactive uniformise les pratiques des différentes disciplines scientifiques.

3) Enfin, au moins un jeu, le jeu d'Eleusis, a servi depuis 1950 pour simuler l'activité collective de découverte scientifique.

La plateforme E+N est conçue pour stimuler les conditions d'une construction interactive de savoir. Ce projet interdisciplinaire regroupe informaticiens, économistes et cogniticiens autour d'un outil commun d'expérimentation.

Le travail de développement a été divisé en trois tâches : 1) le développement dans un système multi-agents du jeu de communication requis par la découverte est réalisé par l'entreprise Normind, 2) la réalisation d'un environnement de construction interactive de théories réalisé au LIRMM et son application au jeu Eleusis, 3) la conception du jeu Nobel réalisée par l'équipe d'économie cognitive du CREA.

Cet article présente les bases conceptuelles de la plateforme expérimentale E+N et les illustrent par les démarches expérimentales réalisables avec les jeux Eleusis et Nobel qui la constituent. Notre objectif est de présenter les bases d'une expérimentation que nous menons avec les DEA de philosophie et de Droit des affaires de Montpellier

de manière à préparer une expérimentation de plus grande grande ampleur que nous souhaitons mener par la suite avec les participants d'ALCAA.

2 Bases conceptuelles de la plateforme

Dans cette partie, nous présentons les bases conceptuelles de la plateforme. Nous allons tout d'abord préciser un bref état de l'art sur l'activité scientifique. Nous précisons la forme de l'activité scientifique que nous comptons assister. Nous définissons les concepts de bases de la plateforme et son architecture

2.1 Bref état de l'art

Présentons succinctement les travaux portant sur l'étude de l'activité scientifique. Au siècle dernier, les travaux en épistémologie de Toulmin, Hanson, Kuhn, Wittgenstein, Bachelard, Popper, Lakatos ,... ont contribué par leurs confrontations à bien décrire les conditions de découverte scientifique.

En reprenant les idées de Kuhn, Hanson et Toulmin, on peut forger une définition des notions de théorie scientifique, de démarche scientifique et d'erreur en science.

Une théorie scientifique présente au moins les caractéristiques suivantes. Elle est, i) une forme idéale d'explication, ii) découverte par un scientifique, iii) un stéréotype accepté par un groupe, iv) portant sur la réalité et v) ayant une formulation associant langage naturel et formel.

La démarche scientifique combine 1) l'objectivité des formalismes, 2) les conditions venant de l'exigence expérimentale et 3) différentes formes de jugements : le jugement subjectif d'un chercheur et celui intersubjectif d'une communauté scientifique.

Les erreurs proviennent toujours de théories et les paradoxes remettent en cause les théories scientifiques (qui ne peuvent pas être fondées sur un paradoxe) et elles sont la source de révolutions scientifiques. Les erreurs peuvent être présentes dans le formalisme mathématique.

La production de théories scientifiques met en lumière les notions de contradiction, d'erreur et de paradoxes. En science, il y a apparition d'un paradoxe quand une expérimentation rend erronée une prédiction théorique : dans ce cas, la mise en défaut de la théorie crée un effet de surprise car rien dans la théorie ne signalait un doute. En effet, une théorie scientifique ne peut pas être paradoxale. Cependant une théorie peut conduire à des résultats contradictoires quand on l'applique à un cas concret. Les contradictions qui sont dévoilées par le calcul signalent des inconsistances venant de l'application de la théorie sur des cas. Ces paradoxes et contradictions sont donc des évènements bien différents qui forcent les scientifiques à reprendre leur travail ; ces évènements animent une activité scientifique dont l'objectif est de corriger les erreurs de la théorie en chantier.

L'activité scientifique des chercheurs met en oeuvre la dynamique locale interne aux groupes de travail qui corrigent les erreurs de théories et les publient et celle d'une communauté scientifique qui adopte et rejette les théories publiées.

Cette activité est menée par des scientifiques ne disposant que d'informations partielles qui vont provoquer des incompréhensions, elles-mêmes sources d'émotions col-

lectives tout à fait observables dans des communautés scientifiques. Nous les appelons crises et conflits. L'identification d'un résultat paradoxal d'une théorie provoque une crise dans la communauté l'ayant adoptée. Les conflits s'observent entre les promoteurs de théories rivales.

En psychologie cognitive depuis Simon [Bourgine, 2003], la notion de rationalité est utilisée pour formaliser le raisonnement en connaissance incomplète. La rationalité procédurale estime la capacité d'un agent à atteindre son but et la rationalité limitée exprime la disproportion entre la capacité d'un agent de produire de l'information et celle de l'environnement dans lequel il doit agir.

Dans les années 60, Herbert Simon a initié des études sur des systèmes capables de reproduire une découverte scientifique.Bacon [Rich & Knight, 1991], Glauber [Langley *et al.*, 1987] Boole [de Ledesma *et al.*, 1997] Ces travaux ont ouvert une voie de recherche poursuivie par Simon, Valdéz-Pérez et Sleeman [Simon *et al.*, 1997] Nos propres travaux portent sur la production de système informatiques capables de coopérer avec des scientifiques dans le but d'assister une activité de découverte scientifique : nous entendons par là, assister la production de résultats qui donnent lieu à des publications, assister la preuve et la réfutation de résultats par une communauté scientifique . [Sallantin *et al.*, 1991], [Sallantin & Szczeciniarz, 1999] [da Nobrega, 2002]. Beaucoup d'autres travaux cités par Valdez Perez [Valdés-Pérez, 1999] ont la même ambition.

2.2 Assister l'activité scientifique

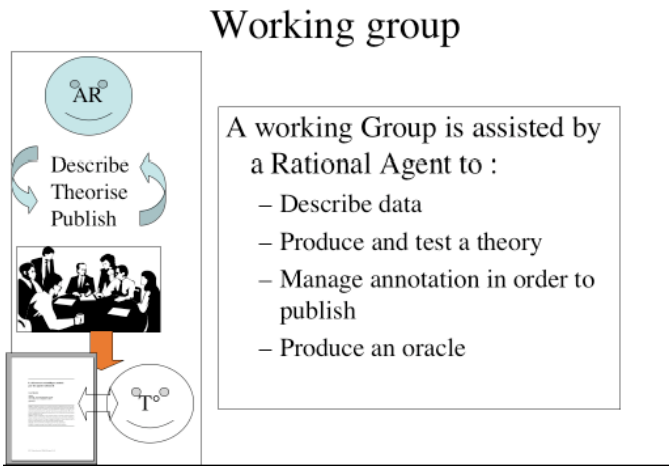
A terme, notre objectif est de donner à une communauté scientifique les outils et les méthodes lui permettant de travailler en tenant compte du très grand nombre de résultats qui sont à sa disposition. Dans des problèmes comme ceux de la biologie moléculaire, les scientifiques travaillent en groupes pluridisciplinaires qui fusionnent des compétences très pointues mais de faible incidence sur le problème. Les outils, données et méthodes dont ils disposent, augmentent rapidement en nombre, mais il devient plus difficile de les coordonner pour réaliser des traitements efficaces des données et pour garantir la pertinence des résultats.

Le scientifique doit donc en permanence évaluer son travail en éliminant des résultats inutiles, préserver les autres et gérer l'historique de leur production. Il doit demeurer vigilant et conserver des alertes le prévenant quand une hypothèse est invalidée. Il doit en permanence enrichir son environnement de travail et accéder à des services distants. Il doit se préserver d'influences décourageantes tant qu'il n'a pas réussi à convaincre un groupe de travail de la validité de son idée.

Notre problématique prend en compte l'existence d'organisations sociales qui produisent et corrigent des théories, les prouvent et les réfutent. Nous considérons qu'une théorie est publiée par ses auteurs quand elle ne présentent plus d'erreurs à leurs yeux. Et que cette publication expose l'ensemble des conventions originales, admises dans le groupe de travail mais non partagées par la communauté, donnant à un autre groupe de travail d'une communauté la capacité de prouver ou de réfuter le résultat publié.

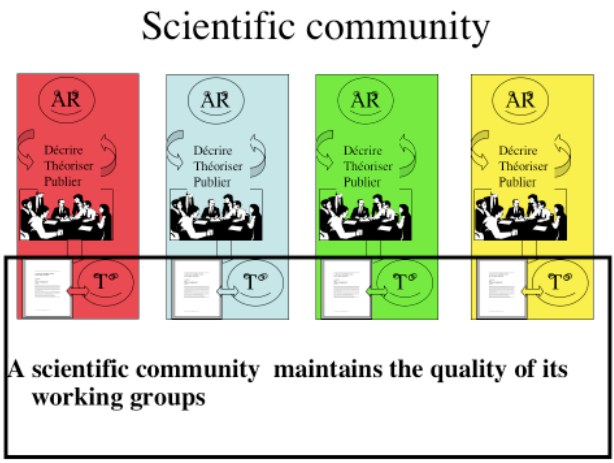
Pour organiser l'activité scientifique nous considérons deux niveaux d'organisation.

– Un groupe scientifique décrit un problème, le résoud et en publie des solutions.



– Une société savante évalue la qualité des publications publiées et les propose à la preuve et la réfutation.

.



2.3 Notions de base de la plateforme

Présentons les notions de base de la plateforme.

2.3.1 Environnement

Un environnement est l'espace de résolution de problème. il est défini par un objectif, il est composé d'objets et peuplé d'agents, il est contrôlé par une ou plusieurs institutions. Il est utilisé par les agents pour percevoir des objets pour agir, ajouter ou supprimer des actions et pour interagir.

2.3.2 Institution

Une institution est définie par un objectif, elle agit sur un ou plusieurs environnements. Elle dispose un système de normes lui permettant de valider d'observer et de contraindre les actions s'exerçant dans un environnement.

2.3.3 Normes

Les normes sont des règles qui contraignent le comportement des agents dans un environnement. Une norme présente ce qui "doit être" sous la forme d'une obligation, une interdiction, une permission. Une norme peut être transgressée. Une institution détermine les récompenses et les sanctions qui les accompagnent.

2.3.4 Agent

Les agents gèrent les communications dans un environnement contraint par des institutions. Ils agissent, décident et produisent une évolution des normes.

2.3.5 Assistant

Un assistant est un agent qui représente une personne physique, qui a la délégation pour certaines tâches et qui participe à des groupes de travail. Il surveille certains événements et il informe par mail la personne physique assistée.

2.3.6 Communauté scientifique

Une communauté scientifique est une institution spécifique disposant de fonctions d'administration lui permettant de gérer des groupes de travail, de solliciter des publications et d'informer sur leur preuve et réfutation. Elle a pour objectif de maintenir la cohérence d'une activité scientique et d'accroître la qualité des travaux publiés.

2.3.7 Groupe de travail

Le groupe de travail est une institution spécifique. Il gère une activité de collaboration. Il dispose pour cela de fonctions d'administration minimales. Il gère une activité d'expérimentation et il dispose pour cela d'environnements d'expérimentation. Il doit formuler des théories pour prédire et expliquer un modèle et il dispose d'un environnement de production de théories et de modèle. Il a pour but de corriger sa théorie quand elle est montrée erronnée. Il doit tester les résultats publiés par d'autres groupes de travail. Il doit récupérer les publications existantes et publier aussi il dispose d'un environnement de publication.

2.3.8 Dynamique du groupe de travail

La dynamique de l'activité scientifique vient de deux activités duales *'modéliser pour comprendre'* et *'comprendre pour modéliser'*. L'expérimentation de modèle prend

en défaut une théorie. La découverte scientifique vient en partie, d'erreurs théoriques détectées lors d'expériences.

2.3.9 Agent Rationnel

Un agent rationnel est un agent assistant un groupe de travail à se définir comme institution. Pour réaliser cette tâche, un agent rationnel dispose de mécanismes d'apprentissage lui permettant de modéliser l'activité d'un groupe de travail dans un environnement.

L'agent rationnel apprend des normes d'une institution qui fixent les habitudes comportementales du groupe de travail. En appliquant ces normes un agent rationnel est capable de produire un jugement sur le respect des normes par un comportement.

2.3.10 Publication

Une publication est un document produit par un groupe de travail et accepté par une communauté scientifique.

2.3.11 Oracle

Un oracle est un agent rationnel qui est capable de se substituer à un groupe de travail pour produire les réponses à une question sur une publication.

- On entend par "sonde" un oracle qui peut tromper.
- On entend par "oracle fiable" un oracle qui produit des solutions correctes dans un environnement donné.
- On entend par "oracle viable" un oracle fiable dans tout environnement.
- On entend par "Nature" l'oracle viable d'une institution fixant les lois nécessairement vérifiées par "ce qui existe".

2.3.12 Interface Adaptatif

Un interface adaptatif est un environnement de résolution de problèmes adapté aux scientifiques participant à un groupe de travail d'une communauté. Un environnement permet aux scientifiques d'effectuer des actions, d'avoir des perceptions, et aux institutions d'exercer des jugements. Il doit :

- Assister un scientifique à un accès "en ligne" à une communauté scientifique
- Fournir des réponses pertinentes aux questions soulevées par l'étude d'un domaine scientifique pluridisciplinaire.

2.3.13 Adéquation d'une solution à un problème

Pour un groupe de travail, une solution à un problème est adéquate si les paradoxes et contradictions qu'elle présente ne provoquent pas d'erreurs théoriques à corriger.

- On entend par "paire critique de théories", deux théories publiées se réfutant mutuellement dans les environnements qui les ont vu naître.
- On entend par "paradoxe" une expérience signalant une erreur théorique.

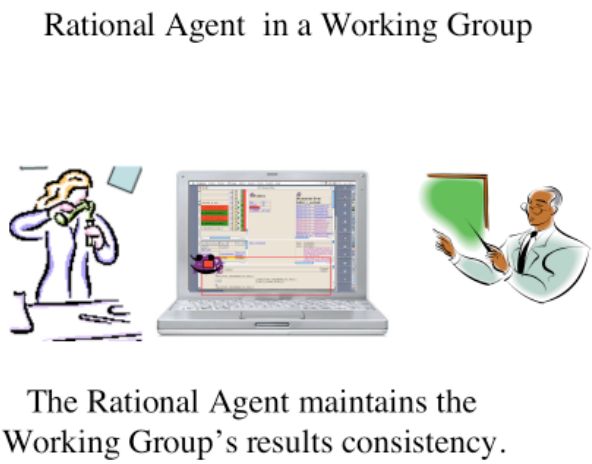
- On entend par ”contradiction” un résultat calculé signalant une erreur théorique.
- On entend par ”crise” dans une communauté scientifique l’invalidation d’une théorie publiée par un paradoxe.
- On entend par ”conflit” dans une communauté scientifique l’affrontement venant des partisans de deux théories publiées rivales.

2.3.14 Annotation

Une annotation est l’interprétation d’un résultat scientifique fait par un membre d’un groupe de travail.

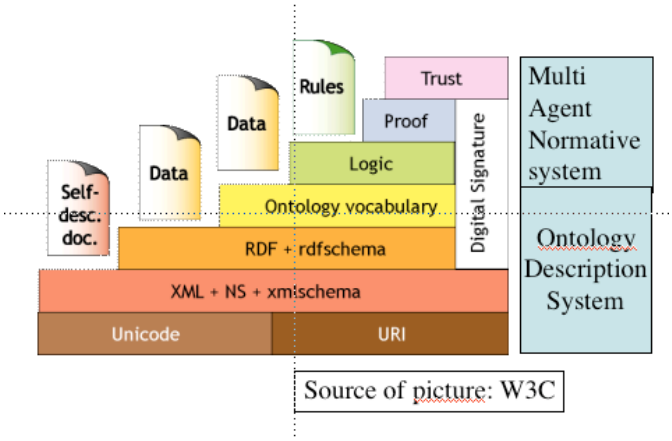
2.3.15 Cahier de labo

Le cahier de labo est le système qui gère toute les annotations, données et protocole d’un groupe de travail.



2.4 Architecture de la plateforme

Dans cette section, nous présentons l’architecture de la plateforme. Comme le montre le schéma suivant, cNos outils s’adossent sur l’architecture retenue pour réaliser les applications WEB.



Les nouveaux outils gèrent :

– Une *sémantique*, c'est la gestion des connaissances : annotation des données, fusions d'ontologies, recherche d'informations
– Une *pragmatique*, c'est la gestion par des institutions des actions des agents dans un environnement : but, protocole, comportement, action et interaction entre agents distants.
– Une *syntaxe*, c'est la gestion de la rationalité : formation de théorie, formation de normes, prédiction et explication localisation d'erreurs possibles.

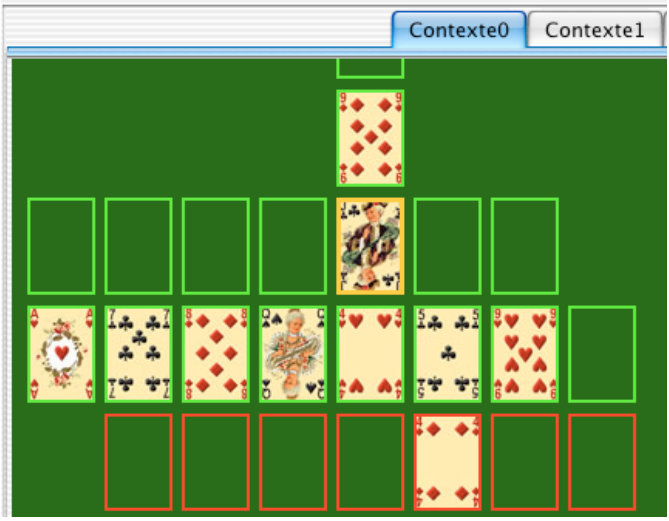
Cette architecture est réalisée sur un plateforme Multi-Agents fondée sur la notion d'institution régentée par des normes.

3 Eleusis

Eleusis est un jeu de cartes inventé en 1956 par Robert Abbott qui simule l'activité de découverte scientifique. Ce jeu a été promu en 1959 par Martin Gardner qui écrivit le premier article en français sur ce jeu dans *Problèmes et Divertissement mathématiques* (Dunod, 1965). Ce jeu fut amélioré par Martin Kruskal en 1962, il produisit de nouvelles règles *Delphi : un jeu de raisonnement par induction*. Ce jeu a été amélioré en 1973 par Robert Abott et John Jaworsky. Nous en proposons une nouvelle version dans laquelle les hommes peuvent se faire aider par des machines pour produire des théories. Les joueurs doivent découvrir une règle cachée qui contrôle le droit de jouer de manière licite une carte dans un contexte donné (par exemple si la règle est l'alternance rouge/noire deux cartes successives doivent avoir deux couleurs différentes). Un joueur gagne des point s'il est capable de prédire si une carte est valide ou non. Il gagne également quand il publie sa théorie sur la règle cachée ou encore s'il réfute la théorie publiée par un autre joueur.

L'environnement expérimental permet aux acteurs d'avoir un comportement rationnel. Ils agissent et leur enchaînement d'action est évalué par des institutions. Un contexte est donné par un ensemble de cartes jouées jugé cohérent par une institution. Un contexte est divisé en trois zones. Les cartes jouées et valides pour les institutions forment une

ligne. Les cartes jouées invalides pour les institutions forment des colonnes au dessous de la position ou elles ont été refusées. Les cartes qui sont jouées à la place d'une carte déjà jouée, de manière à confirmer ou infirmer une hypothèse, sont situées au dessus de la carte en question. Quand une hypothèse est invalidée dans un contexte donné, le système engendre nécessairement un nouveau contexte cohérent pour cette hypothèse.



- On entend par "séquence verte", une séquence de cartes encadrées en vert respectant les lois de la nature.
- On entend par "carte rouge", une carte terminant une séquence verte ne respectant pas les lois de la nature.
- On entend par "carte orange", une carte verte qui substituée à une carte dans une séquence est compatible avec les cartes précédentes et pas avec les cartes suivantes.

Examinons comment le jeu Eleusis illustre les problèmes qu'il faut résoudre quand on veut publier un résultat scientifique.

L'objectif du jeu est de découvrir la règle secrète de la nature de manière à gagner car on peut bien prédire, bien expliquer donc bien publier la règle cachée. Pour publier la règle cachée, comme elle porte sur des séquences de cartes, il faut arriver à les décrire correctement. Si le joueur ne décrit pas correctement les cartes, il ne pourra pas formuler la règle cachée. Par exemple, une règle comme une alternance rouge/noire sera plus facile à trouver qu'une règle paire/impaire quand les joueurs n'ont pas pensé à cette possibilité de description.

L'information est fournit par une institution qui a deux rôles. Le premier rôle est de dire si une nouvelle carte est viable dans un environnement. Le second rôle est celui de déterminer la fiabilité d'une hypothèse en modifiant une carte déjà jouée. Cette seconde opportunité permet faire une conjecture identifiant une paire de contextes différents.

On voit alors intervenir une possibilité de découverte. Le joueur ayant eu la chance de faire cette hypothèse malheureuse peut analyser cette nouvelle régularité et produire une nouvelle théorie. La sagacité du joueur est alors sollicitée s'il veut fusionner ces deux règles et produire une nouvelle théorie.

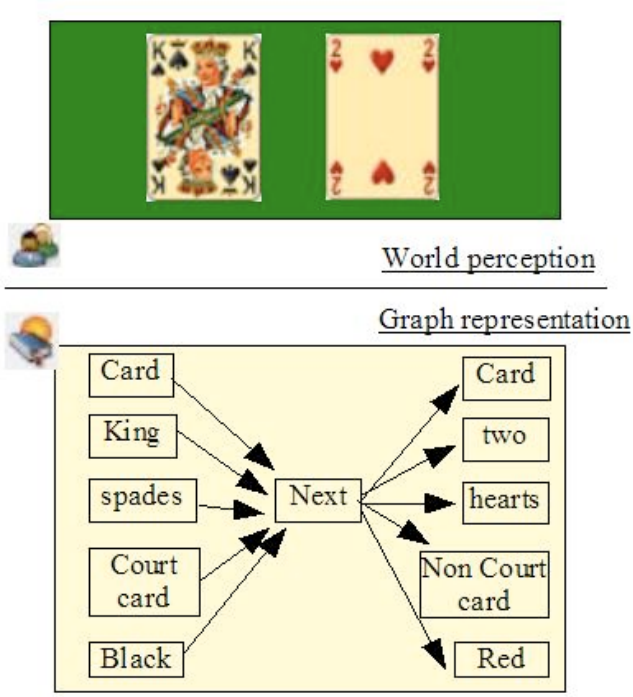
L'utilisation de ce jeu permet d'illustrer les capacités d'un agent qui sont sollicitées dans un contexte de découverte scientifique. Le chercheur dispose d'outils pour accéder aux données et aux résultats déjà trouvés. Il va engager des actions qui produiront des résultats à évaluer, à sauvegarder et à interroger. Il aura à calibrer, éliminer et faire évoluer les outils qu'il utilise et gérer ses préférences sur leur enchaînement pour la résolution d'une classe de problèmes.

Le problème de la description se présente à plusieurs niveaux :

– Comment décrire une carte ?
– Comment décrire une séquence de cartes ?
– Comment produire une théorie à partir de ces descriptions ?

En décrivant son environnement et les objets de son environnement notre agent apprend à analyser les résultats expérimentaux, faire des hypothèses et en particulier prédire la carte suivante.

La description de l'environnement est changée dans deux cas : quand une prédiction est erronée, la description doit être spécialisée par introduction de nouveaux termes expliquant pourquoi le résultat est erroné et quand des exemples ne sont pas à distinguer la description peut être généralisée de manière à pouvoir regrouper ces objets sous une même caractéristique.



Dans notre exemple, la notion de couleur a dû être découverte et introduite dans l'ontologie par le groupe de travail. L'interaction permet de décrire de nouvelles catégories, de généraliser des catégories partagées par des exemples ou de spécialiser des catégories sans signification.

Nos outils permettent à l'utilisateur d'annoter les objets qu'il manipule et les résultats qu'il obtient de manière à former la description qui est utilisée par son assistant. Le processus d'apprentissage est utilisé pour extraire des régularités à partir des exemples. Ces régularités se présente sous la forme de nouvelles expressions du langage qui interviendront dans les raisonnements inductifs (produire des généralités à partir d'exemples), abductifs (produire des théories) et déductifs (inférer dans un système formel). Dans le cas d'Eleusis, une alternance noire/rouge est un nouveau terme qui sera présent dans certains environnements et pourra être induit comme étant une règle. Un environnement peut (par abduction) devoir vérifier une théorie intégrant de telles règles de telle manière que sa "non vérification" produit une contradiction. L'agent rationnel aide un groupe de travail en détectant des décisions qui sont selon lui contradictoire. L'utilisateur disposant des résultats des autres groupes de travail est capable de faire évoluer les règles apprises par l'agent rationnel ou de produire une synthèse des théories des deux groupes en faisant ainsi émerger une théorie unifiée.

L'interaction dans le jeu est organisée en trois niveaux :

- La communauté scientifique gère des environnements normés par une règle cachée.
- Le groupe de travail regroupe des chercheurs partageant un même environnement expérimental qu'ils utilisent pour découvrir une règle cachée.
- L'utilisateur a des assistants qui réalise ses actions dans le groupe de travail. Il peut former son assistant de manière à ce que ce dernier l'informe quand arrive certains évènements où encore qu'il se substitue à lui pour réaliser certaines actions.

3.1 Eleusis : jeu contre la nature

L'objectif de ce jeu est de simuler l'accélération de la progression de la découverte scientifique venant de ce que la nature ne trompe pas, et que ses réponses sont définitives et immédiates.

Dans ce contexte idéal, les joueurs publient des lois partielles vérifiées dans leurs environnements. Comme les lois sont universelles, les joueurs améliorent toujours leurs théories en intégrant les résultats des autres joueurs.

Les joueurs constituent des groupes de travail dans lesquels ils collaborent. Un agent rationnel est le greffier d'une connaissance partagée par un groupe de travail, il signale les incohérences, il prédit les cartes, il explique les raisons du refus d'une carte, il évolue chaque fois que la théorie change et que le nombre d'exemples se modifie.

La démarche de travail est réductioniste. Un groupe de travail, incapable de produire une théorie car son environnement est trop foisonnant en exemples disparates, est cependant capable de tirer parti de théories erronées publiées pour, d'une part les réfuter, et d'autre part en tenir compte pour réorganiser son propre environnement de travail en le découpant en contextes cohérents.

3.2 Bongard : jeu contre un oracle viable

L'objectif de ce jeu est de simuler la situation de découverte face à un instructeur viable fixant les normes d'une institution. [Sallantin, 1997]

Dans le jeu, l'apprenti doit apprendre à répondre correctement à une question posée dans une langue qu'il ne comprend pas. Le travail de l'instructeur consiste à faire construire par l'apprenti un environnement de résolution de problème. A cette fin, il doit tout d'abord lui faire trouver le vocabulaire minimal lui permettant de répondre, puis des normes fixant son comportement. L'apprenti apprend alors une théorie dans cet environnement.

L'instructeur fait varier le contexte de telle manière que l'apprenti puisse trouver une loi générale demeurant vraie pour tout contexte. L'apprenti apprend ce qu'il doit faire sans pour autant comprendre le sens de ce qu'on lui demande. L'instructeur habile apprend à l'apprenti dans cet ordre qu'il n'est pas malicieux, qu'il est fiable et viable.

L'apprenti à terme ne se trompe plus sans pour autant avoir décripté la théorie de l'instructeur.

3.3 fid@ct : jeu contre un oracle fiable

L'objectif de ce jeu est de simuler la situation de découverte de théorie sous la supervision un professeur : oracle fiable fixant les normes d'une institution. [L.F. Marins & Sallantin, 2003]

4 NOBEL

Nobel est un jeu inventé par David Chavalarias à la suite de son stage de DEA. Il est un protocole de jeu à n-joueurs permettant de reproduire une situation de recherche collective. Son objectif scientifique est de recueillir des données sur les comportements humains dans de telles situations de recherche sous différentes conditions. Ce jeu s'appuie sur une conception poppérienne de la recherche scientifique selon laquelle, l'activité d'une communauté de chercheurs consiste en la formulation de conjectures et la pratique de la réfutation.

Un protocole consiste en :

- un ensemble de lois et un mode d'organisation de joueurs regroupés en équipes (m-joueurs, $m \geq 1$) en compétition entre elles pour deviner un ensemble de 'lois'. Ces lois sont des énoncés formulés dans un langage L connus des joueurs. Ceux-ci peuvent faire des expériences pour tester leur théorie courante relative à une loi. Chaque expérience fournit un résultat positif ou négatif selon que le test est ou non conforme à la loi.
- Chaque équipe peut à tout moment publier sa théorie courante relative à une loi ou encore un exemple falsifiant une loi publiée. Ces deux types de publication deviennent alors connaissance commune. Celles-ci peuvent alors être réutilisées par chacun des agents dans leurs recherches.
- Un ensemble de récompenses/pénalités : G pour chaque théorie qui n'est pas falsifiée à la fin du jeu, -F pour une théorie qui a été falsifiée au cours du jeu et +F pour un exemple qui falsifie une théorie proposée. L'équipe qui a obtenu le gain maximum au bout d'un temps fixé, connu des joueurs, partage équitablement le prix 'Nobel' P.

Quelques remarques a priori peuvent être faites sur la structure des gains de ce jeu. Maximizer les gains totaux (y compris le prix final) équivaut logiquement à maximiser les gains de la partie. Il s'ensuit que les comportements ne changent pas avec la valeur de P et dépendent seulement de G et F. Ensuite, les comportements ne sont pas modifiés si l'on multiplie G et F par une même valeur et ne dépendent donc que du seul rapport G/F. Il suffit donc de faire varier ce seul paramètre.

Ce rapport G/F a une autre signification fondamentale : il régule le compromis entre explorer les théories possibles en continuant à expérimenter ou exploiter les résultats déjà obtenus pour publier. Cette question se pose au niveau de chaque équipe qui doit ainsi arbitrer entre le nombre de ses publications et leur fiabilité.

Différents modes d'organisation des joueurs sont possibles. Le mode le plus simple consiste à faire jouer chacun individuellement. Un second mode permet aux joueurs de former des équipes où l'on échange, par message, les théories courantes de chacun et les contre-exemples : l'avantage essentiel de ce mode est de permettre une observation des hypothèses de théories de chacun même lorsqu'il n'est pas suffisamment sûr pour publier. Ces deux modes sont relatifs à un petit nombre de sujets et peuvent être expérimentés en laboratoire. Un troisième mode consiste à faire jouer un grand nombre d'individus sur le web en leur laissant la possibilité de former des équipes.

Il n'y a pas de limitation dans les situations de recherche. Pour rendre possible l'interprétation de ce type d'expériences, il est préférable d'avoir des protocoles relativement simples comme celui du jeu primitif d'Eleusis. Mais si l'on veut se rapprocher de l'activité scientifique, on peut aussi souhaiter expérimenter des protocoles plus compliqués avec ou sans l'assistance d'un oracle pour aider les joueurs à abduire leurs théories ou à concevoir des expériences cruciales. Il serait même parfaitement possible d'expérimenter de la même manière des situations de recherche réelle, conduisant à de vrais résultats scientifiques.

5 Conclusion

L'environnement E+N a été conçu pour expérimenter les conditions de découvertes scientifiques. Le jeu de cartes d'Eleusis a pour fonction de permettre d'expérimenter les conditions de découverte de règles cachées sans imposer aux chercheurs d'acquérir les connaissances du domaine. Ainsi les mécanismes ne sont pas masqués sous la complexité inhérente à un savoir spécialisé.

Du point de vue de la cognition individuelle, le jeu 'Nobel' permet d'une part d'étudier les mécanismes d'abduction avec révision séquentielle des théories et d'autre part d'étudier la façon dont les joueurs résolvent le compromis exploration/exploitation auquel ils sont confrontés lorsqu'ils doivent estimer le nombre de tests nécessaires avant publication. Ce compromis est fonction du paramètre G/F. En laissant les coalitions se former, ce jeu permet aussi mieux comprendre la formation de réseaux de collaborations scientifiques. Cette compréhension est à son tour essentielle car les réseaux scientifiques constitue le support de la cognition sociale à l'oeuvre dans l'invention scientifique.

Du point de vue de la cognition sociale, ce type de jeu met en évidence à nouveau l'influence du paramètre G/F sur les dynamiques des processus de découverte collective. Il est alors possible d'étudier en laboratoire le compromis exploration/exploitation

au niveau de la communauté entre vitesse de découverte d'un ensemble de 'lois' et fiabilité du corpus des théories acceptées. Par ailleurs, ce protocole met également en évidence les processus d'émergence de normes dans la pratique scientifique comme la détermination des temps moyens de recherche et importance accordée à la vérification de théories publiées. L'influence du paramètre G/F sur ces processus peut alors être étudiée expérimentalement.

Toute cette approche expérimentale peut se diversifier de manière considérable soit en variant les situations de recherche, soit en variant les systèmes d'assistance à la découverte scientifique.

Dans le jeu Nobel, les lois préexistent réellement à l'activité de recherche et il s'agit pour les joueurs de découvrir ces lois préexistantes. Dans le vrai jeu scientifique face à la nature, la question de la préexistence des lois, tout particulièrement pour les systèmes adaptatifs complexes, n'est pas épistémologiquement tranchée. La production de théories à propos des phénomènes complexes est alors davantage une reconstruction et il vaut mieux parler d'invention scientifique plutôt que de découverte scientifique.

Mais toute l'approche développée dans cet article pourrait être précieuse dans des situations réelles de recherche collective et aurait en outre le mérite pour la communauté scientifique de jeter un regard explicite et épistémologique sur ses propres processus de recherche.

Références

BOURGINE P. (2003). What is cognitive economics ? In P. BOURGINE & J.-P. NADAL, Eds., *Cognitive Economics – an interdisciplinary approach*. Springer-Verlag.

CHOMSKY N. (1981). *Réflexions sur le langage*. Champs. Flammarion.

DA NOBREGA G. M. (2002). *Une approche dialectique à la formation de théories : aspects conceptuels, formels et pragmatiques dans le cadre de l'apprentissage humain*. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2 (F).

DE LEDESMA L., PÉREZ A., BORRAJO D. & LAITA L. M. (1997). A computational approach to george boole's discovery of mathematical logic. *Artificial Intelligence*, **91**(2), 281–307.

LANGLEY P., SIMON H. A., BRADSHAW G. & ZYTKOW J. (1987). *Scientific Discovery : Computational Explorations of the Creative Process*. MIT Press.

L.F. MARINS, E. FERNEDAA G. D. N. & SALLANTIN J. (2003). A discovery support system based in interactive asynchronous reasoning. In *Advances in Intelligent Systems and Robotics Laptec 2003 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, volume 101, p. 87–93. IOS Press.

RICH E. & KNIGHT K. (1991). *Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, 2nd edition.

SALLANTIN J. (1997). *Les agents intelligents essai sur la rationalité des calculs*. Hermès.

SALLANTIN J., QUINQUETON J., BARBOUX C. & AUBERT J.-P. (1991). Théories semi-empiriques : éléments de formalisations. *Revue d'intelligence artificielle*, **5**(1), 69–92.

J. SALLANTIN & J. J. SZCZECINIARZ, Eds. (1999). *Le concept de preuve à la lumière de l'intelligence artificielle*. Presses Universitaires de France.

SIMON H., VALDES-PEREZ R. E. & SLEEMAN D. H. (1997). Scientific discovery and simplicity of method. *Artificial Intelligence*, **91**, 177–181.

VALDÉS-PÉREZ R. E. (1999). Principles of human computer collaboration for knowledge discovery in science. *Artificial Intelligence*, **107**(2), 335–346.