

Évaluer l'apprenant à l'aide de cartes conceptuelles

Fabien DELORME, Nicolas DELESTRE, Jean-Pierre PECUCHET

Laboratoire PSI – INSA de Rouen

{fabien.delorme, nicolas.delestre, jean-pierre.pecuchet}@insa-rouen.fr

Résumé

Pour être efficace, l'adaptation d'hypermédias visant à l'apprentissage de connaissances déclaratives nécessite une modélisation de l'apprenant riche, basée sur une réelle évaluation diagnostique. Après avoir présenté les méthodes classiquement utilisées pour l'évaluation du savoir, nous proposons dans cet article une méthode basée sur la comparaison entre des cartes conceptuelles construites par l'enseignant et l'apprenant. Une première expérimentation, mise en oeuvre au cours de l'année 2002, est alors présentée. L'échec de celle-ci nous a amenés à mettre en place une méthodologie, basée sur les travaux de Barth. Deux nouvelles expérimentations nous permettant de vérifier son efficacité, ont alors été menées. Après avoir présenté ces différentes expérimentations, nous présentons un logiciel de création de cartes conceptuelles, baptisé *DIOGEN*, que nous avons développé pour l'occasion.

Mots-clés : hypermédia adaptatif, évaluation, ITS, carte conceptuelle, outil auteur, connaissance déclarative.

Abstract

An efficient hypermedia adaptation process requires a rich learner modeling based on a real diagnostic evaluation. In this article, classical knowledge evaluation methods are first introduced. Then an evaluation method based on comparison between concept maps is proposed. An experimentation we led in the year 2002 and based on the comparison between concept maps made by a teacher and by a learner is then presented. As this experimentation failed, a method based on works from Barth was set up. Two more experimentations based on this method are then introduced. Finally, a software called *DIOGEN* and designed to let a learner build concept maps is presented.

Keywords: adaptive hypermedia, evaluation, ITS, concept map, authoring tool, declarative knowledge

Introduction

En pédagogie, on distingue habituellement savoirs *déclaratifs* (ou *savoirs*) et savoirs *procéduraux* (ou *savoir-faire*), bien que cette distinction soit parfois controversée [1].

La plupart des EIAH sont basés sur l'apprentissage de savoir-faire. Toutefois, il nous semble important de ne pas négliger les savoirs déclaratifs, qui ne se limitent pas à l'apprentissage « par coeur » d'un ensemble d'informations isolées, pour peu que l'on vise l'acquisition de concepts et non de simples faits [2]. Une prise en compte de ce type de savoirs nous semble d'autant plus importante aujourd'hui que le nombre de cours disponibles sur Internet croît fortement, qu'ils

proviennent de formations à distance ou d'enseignants proposant un accès libre à leurs supports de cours. Nous souhaitons donc proposer aux enseignants un outil leur permettant de concevoir des cours en ligne, sans toutefois nous limiter à la méthode d'apprentissage dite *transmissive*. Apprendre ne se réduit pas à recevoir passivement un contenu statique, c'est pourquoi l'outil informatique doit proposer à l'apprenant un contenu adapté notamment à ses connaissances et conceptions préalables [3]. Nous nous situons donc dans le contexte des hypermédias adaptatifs [4] et des outils d'aide à l'évaluation diagnostique. L'outil développé doit permettre non seulement une adaptation du contenu, mais doit en plus être configurable par un enseignant, quelle que soit sa discipline. Nous nous situons donc également dans le cadre des outils auteurs.

De tels outils existent. Citons, parmi d'autres, [5 ; 6]. L'un des points noirs de ces systèmes est néanmoins leur mécanisme d'adaptation, basé sur une représentation du domaine simpliste et modélisant l'apprenant selon la technique de l'Overlay. C'est ce mécanisme d'évaluation et d'adaptation que nous nous proposons de dépasser notamment grâce à l'utilisation de cartes conceptuelles. Grâce à cet outil, il est possible de proposer une évaluation plus profonde des connaissances de l'apprenant, et donc de proposer une adaptation plus fine.

Dans cet article, nous présentons dans un premier temps un état de l'art des méthodes classiques d'évaluation du savoir telles que les QCM ou les questions ouvertes, méthodes pouvant être développées par un enseignant non informaticien, quelle que soit sa discipline. Puis nous présentons une approche basée sur l'analyse de cartes conceptuelles, afin de pallier certaines limites des systèmes existants. Une première expérimentation basée sur cette technique est ensuite présentée, expérimentation qui s'est soldée par un échec. Nous proposons alors une méthode complète d'évaluation basée sur l'analyse de cartes conceptuelles, avant de présenter les résultats de deux expérimentations supplémentaires que nous avons menées récemment, à l'aide d'un logiciel de création de cartes conceptuelles baptisé *DIOGEN*.

Évaluation du Savoir Déclaratif Dans les EIAH

Nous présentons dans cette section des méthodes d'évaluation classiques, indépendantes de la matière enseignée et basées sur la réalisation par un enseignant de QCM ou de questions ouvertes. Nous présentons également succinctement des méthodes de génération automatiques de tels exercices basées sur un modèle du domaine enseigné.

Ces méthodes sont la plupart du temps utilisées conjointement avec une modélisation par recouvrement. Les raisons nous ayant amenés à rejeter ce type de modélisation sont alors évoquées.

Cette section s'achève sur une présentation des cartes conceptuelles en tant qu'outil d'évaluation dépassant les inconvénients des autres méthodes.

QCM et Questions Ouvertes Dans les EIAH

Parmi les méthodes utilisées classiquement pour l'évaluation du savoir déclaratif, nous distinguerons les questions fermées (ou QCM) et les questions ouvertes, où l'apprenant dispose d'une plus grande liberté pour s'exprimer.

Les QCM sont une méthode d'évaluation très répandue dans le domaine des EIAH. Il est en effet très simple, pour un enseignant, de rédiger un grand nombre de questions à choix multiples, puis de laisser le système en proposer un certain nombre à l'apprenant et corriger automatiquement ses réponses. Un grand nombre d'exercices différents de type QCM peuvent être imaginés, exercices dont le nombre total de réponses possibles pour une question donnée est dénombrable, que ce soient des questions avec une ou plusieurs réponses à choisir dans une liste, ou des exercices plus complexes du type « sélectionner les bons éléments sur le schéma ». Étant donné que toutes les réponses possibles sont déterminables *a priori*, une analyse automatique des réponses par le système est très aisée.

Les questions ouvertes sont des questions où le nombre de réponses pouvant être données par l'apprenant est quasi infini : l'apprenant n'est plus obligé de choisir sa réponse parmi une liste d'items, ce qui lui permet de s'exprimer beaucoup plus librement, et limite le nombre de réponses qu'il donne au hasard. L'évaluation est donc potentiellement beaucoup plus riche. Les réponses attendues peuvent être un simple mot, une phrase complète, ou un dessin sur une figure géométrique par exemple. Ces questions sont en revanche plus difficiles à corriger automatiquement.

PÉPITE [7] est un système relativement récent proposant des exercices de divers types afin d'évaluer des élèves en fin de collège dans le domaine des mathématiques. Le système propose un vaste panel d'exercices. Certains sont de simples QCM du type « Vrai ou faux ? », les exercices les plus complexes étant des questions ouvertes du genre : « Justifiez votre réponse ». Ce système est à usage unique, puisqu'il ne sera utilisé qu'une seule fois par un apprenant donné, est limité à une seule discipline, et a demandé un effort de développement colossal. C'est pourquoi il peut sembler préférable de générer automatiquement les exercices proposés à l'apprenant en fonction d'un modèle du domaine.

Génération Automatique d'Exercices

En se basant sur le modèle du domaine à enseigner, il est parfois possible de générer automatiquement des exercices, ce qui allège d'autant la charge de travail de l'enseignant, mais implique un surplus d'information lors de la modélisation du cours. Citons par exemple [8 ; 9].

Ces méthodes présentent cependant l'inconvénient d'être relativement dépendantes de la matière enseignée. Par exemple, un exercice basé sur une phrase à trous n'a pas forcément d'intérêt en mathématiques. Nous souhaitons donc trouver une méthode d'évaluation réellement indépendante de la matière et qui ne demande pas une charge de travail trop conséquente à l'enseignant concevant son cours.

Les cartes conceptuelles, présentées à la section 2.4, répondent à ces besoins.

Limites de la Modélisation par Recouvrement

La modélisation par recouvrement a été initialement proposée dans [10]. Cette méthode étant facile à implémenter, elle est très fréquemment utilisée.

Dans le cadre d'une telle modélisation, la procédure d'évaluation doit déterminer, pour chaque unité de connaissance, si l'apprenant la maîtrise totalement, partiellement ou pas du tout. On parle également d'*expertise partielle*, puisque l'apprenant est vu comme un expert en devenir.

Cette modélisation se base donc exclusivement sur ce que l'apprenant sait ou ne sait pas, mais elle ne prend pas en compte les raisons pour lesquelles il ne sait pas : un diagnostic avancé des connaissances de l'apprenant est impossible. Une telle modélisation n'est pas assez riche pour atteindre notre objectif ; pour obtenir suffisamment d'informations afin d'adapter l'hyperdocument, nous devons mettre en oeuvre une procédure d'évaluation diagnostique, et non une simple procédure d'évaluation sommative comme c'est le cas la plupart du temps dès lors qu'une telle modélisation est mise en oeuvre.

Encore une fois, les cartes conceptuelles peuvent répondre à nos besoins. Elles sont présentées à la prochaine section.

Les Cartes Conceptuelles, un Outil Pour l'Évaluation Diagnostique

Les cartes conceptuelles ont été initialement proposées par Novak et Gowin [11]. Ce sont des graphes sur lesquels sont représentés les concepts d'un domaine de connaissance donné, et les liens existant entre ces concepts (voir la figure 1).

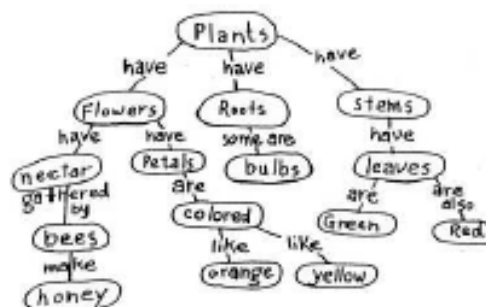


Figure 1- Un exemple de carte conceptuelle, extraite de (Novak, Gowin, 1984).

Tribollet *et al.* [12] proposent différentes utilisations des cartes conceptuelles :

- la carte peut être construite par l'enseignant et lui servir ensuite à organiser son cours,

- elle peut être construite par l'enseignant et présentée aux apprenants comme une représentation non linéaire du domaine,
- elle peut être construite par un groupe d'apprenants, les divergences de points de vue entre participants pouvant générer des conflits sociocognitifs,
- elle peut être construite par un apprenant seul, cette carte pouvant alors être analysée par l'enseignant qui en déduira les conceptions et incompréhensions de l'apprenant.

Des utilisations proposées ci-dessus, ce sont la première et la dernière qui nous intéressent. Dans un premier temps, l'enseignant est amené à modéliser les notions qu'il souhaite aborder, modélisation qui peut se faire à l'aide d'une carte conceptuelle. Cette dernière est ensuite utilisée comme référence pour analyser la carte d'un apprenant. Les différences entre les deux cartes sont alors autant d'éléments permettant de diagnostiquer une incompréhension.

Il existe de nombreux usages des cartes conceptuelles en tant qu'outil permettant de connaître les conceptions d'un apprenant, qu'ils se basent ou non sur l'utilisation d'un outil informatique. Citons, parmi les plus récents, [12 ; 13 ; 14].

Une démarche intéressante est proposée dans [12]: après avoir réalisé leur carte, les apprenants doivent répondre à un questionnaire, ce qui permet à l'enseignant d'obtenir un supplément d'informations. En effet, la carte réalisée par un apprenant peut être ambiguë, et il est parfois nécessaire de disposer d'un autre outil afin d'obtenir un diagnostic fiable.

La section suivante propose une première utilisation des cartes conceptuelles dans notre contexte.

Première Expérimentation

Dans cette section, nous présentons une première expérience que nous avons menée au cours de l'année scolaire 2002-2003, et dont les résultats ont été en deçà de nos espérances. Après avoir indiqué le protocole mis en oeuvre, nous précisons les résultats obtenus et les raisons de cet échec.

Protocole Mis en Oeuvre

Au sein du département ASI de l'INSA de Rouen, les étudiants en 4^e année d'école d'ingénieur suivent une formation en informatique répartie, et ont notamment un cours sur *Java RMI*. Nous avons profité de ce cours pour mettre en place notre expérimentation. Quinze étudiants y ont participé.

Dans un premier temps, les étudiants ont suivi un cours. Ils ont ensuite été amenés à construire une carte conceptuelle autour de *Java RMI*, à l'aide d'un prototype logiciel basique développé pour l'occasion.

Une liste de concepts était proposée, et les étudiants pouvaient n'utiliser qu'une partie de ces concepts, mais ne pouvaient pas en rajouter. De même, une liste de types de liens était proposée, et les étudiants pouvaient utiliser tous les types proposés, ou seulement une partie.

Les concepts et types de liens proposés étaient issus de la carte de référence que nous avons préalablement

réalisée, carte à laquelle les productions des apprenants devaient ressembler.

Protocole d'Analyse des Cartes

Nous avons conçu avant l'expérimentation un protocole d'analyse des cartes reposant sur une comparaison entre la carte de référence et la carte à analyser.

Un graphe tel qu'une carte conceptuelle peut être modélisé sous la forme d'une liste de triplets (*sujet, lien, objet*) [15]. Nous avons donc considéré trois cas de figure pour la comparaison de la carte d'un apprenant, notée *Ca*, avec la carte de référence, notée *Cr*:

1. un triplet se retrouve sur les deux cartes (il fait partie de *Ca inter Cr*),
2. un triplet est présent sur la carte de référence, pas sur celle de l'apprenant (il fait partie de $Cr - Ca$):
 - soit l'apprenant n'a pas jugé nécessaire de représenter ce lien,
 - soit quelque chose lui a échappé dans le cours,
3. un triplet de la carte de l'apprenant est absent de la carte de référence (il fait partie de $Ca - Cr$):
 - soit l'apprenant a mal compris quelque chose,
 - soit le lien proposé n'est pas faux mais n'a pas été jugé important par l'enseignant.

Chaque différence entre les deux graphes peut donc être le signe d'une erreur de l'apprenant, ou le signe que soit l'apprenant, soit l'enseignant n'a pas jugé nécessaire de relier deux concepts donnés, bien que leur association soit pertinente. Dans ces cas-là, un questionnaire supplémentaire est nécessaire pour lever les ambiguïtés, comme indiqué ci-dessus.

Résultats

La méthode décrite ci-dessus suppose que les deux cartes soient relativement semblables : *Ca inter Cr* doit comprendre un grand nombre d'éléments. Dans le cas contraire, l'utilisation de cartes conceptuelles ne nous apporte que très peu d'information, ce qui rend l'outil peu rentable étant donné le temps qu'il demande à l'apprenant.

Or l'analyse des cartes nous a montré que les points communs entre les cartes des apprenants et la référence étaient d'une manière générale très peu nombreux. Parmi les quinze cartes réalisées, la proportion de liens communs avec la carte de référence était au minimum de 8%, au maximum de 31%, et en moyenne de 16%.

En fait, le principal problème est que l'enseignant n'avait aucun repère pour savoir comment construire sa carte, décider quels concepts y placer, comment les relier, ou savoir que la carte était complète.

La nécessité de mettre au point une méthodologie nous est alors apparue comme une évidence. Une telle méthodologie est décrite à la section suivante.

Vers une Méthodologie de Construction des Cartes Conceptuelles

Puisque l'on ne se place pas dans une vision transmissive du savoir, il est très difficile de construire une carte de référence : chaque apprenant ou enseignant du domaine construit une carte différente, sans qu'il soit possible de déclarer l'une d'entre elles comme étant «

juste ». Il est en outre très difficile de savoir à quel moment une carte est finie lors de sa réalisation, étant donné qu'il est toujours possible d'ajouter un lien pertinent.

Dans cette section, nous allons donc préciser ce que nous entendons par *carte conceptuelle de référence*, et comment la construire.

La Structure Opératoire du Concept

[16] Barth propose une définition du concept, définition issue des travaux de Bruner *et al.* [17].

Un concept est défini à l'aide d'une liste d'attributs, qui sont autant de conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un phénomène donné relève de ce concept. Pour Barth, connaître un concept, c'est connaître la liste de ses attributs, ce qui permet ensuite, face à un phénomène jamais rencontré auparavant, de déterminer si c'est ou non une instance du concept. Dans ce cadre, le but d'une procédure d'évaluation est donc de vérifier que l'apprenant connaît la liste des attributs qui composent le concept.

L'auteur insiste sur le fait que la définition ainsi obtenue ne doit pas nécessairement être la définition « exacte » du concept visé, mais une définition qui est satisfaisante par rapport au niveau des apprenants. En outre, la méthode proposée, et c'est cela qui la rend particulièrement intéressante, permet d'utiliser la même structure, non seulement pour les concepts, mais aussi pour tous les types d'objets de connaissances : procédures, règles de grammaire, théorèmes, etc. Ce qui fait que cet outil est particulièrement indiqué pour une approche telle que la nôtre qui se veut indépendante de la discipline enseignée.

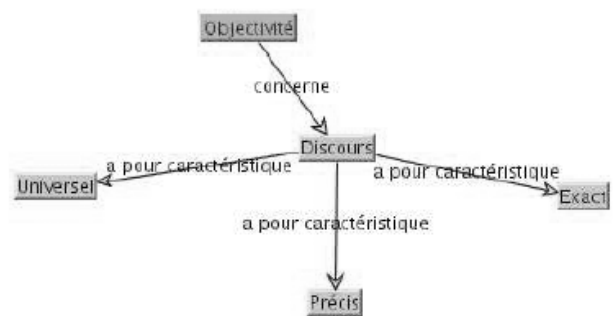
Définition d'un Concept par l'Enseignant

L'enseignant dispose désormais d'une marche à suivre pour décrire les concepts qui l'intéressent : il doit associer à chacun la liste des attributs qui le définissent. Prenons l'exemple de la définition du concept d'*objectivité*, issue de Barth [16]. L'*objectivité* :

- qualifie un *discours*,
- ce *discours* est *exact* et *précis*,
- ce *discours* est *universel*.

Dans cette définition, apparaissent explicitement d'autres concepts, en italique ci-dessus : *discours*, *exact*, *précis*, *universel*. Chacun de ces concepts doit également être défini à l'aide d'attributs, à moins qu'il ne soit déjà acquis par l'apprenant.

On sait d'ores et déjà que le concept d'*objectivité* est associé aux concepts *discours*, *exact*, *précis* et *universel*, reste à ajouter des étiquettes aux liens. Ce qui nous donnera la carte suivante :



Cette carte peut être considérée comme la référence parce que tous les attributs de la définition y sont présents. L'enseignant a désormais une aide pour construire sa carte : elle est complète dès lors que tous les attributs y sont présents, et eux seuls doivent y apparaître.

Utilisation de la Carte Comme Carte de Référence

Lors de l'analyse de la carte d'un apprenant, l'enseignant vérifiera donc, pour chacun des attributs, s'il est présent ou non.

Si un attribut donné n'est pas présent, c'est que l'apprenant n'a pas compris la définition *parce qu'il* n'a pas compris que cet attribut est important. Par exemple, un apprenant qui n'a pas représenté l'attribut « ce discours est universel » risque de considérer que n'importe quel « discours exact et précis » est objectif.

De même, si un attribut est en trop, rendant la définition fautive, l'enseignant peut indiquer que l'apprenant n'a pas compris la définition *parce qu'il* considère cet attribut comme en faisant partie. Un apprenant qui considérerait, par exemple, qu'un discours objectif est nécessairement à la voix active risque de ne pas reconnaître un discours objectif tourné à la voix passive.

L'enseignant vérifiera enfin si des attributs appartenant à la définition d'un autre concept se trouvent sur la carte de l'apprenant. Ainsi, si l'attribut « ce discours dépend de la personne qui le prononce » est présent sur la carte, l'enseignant le relèvera également, car il est le signe d'une probable incompréhension, ou d'une confusion entre les termes *objectivité* et *subjectivité*. En effet, cet attribut fait partie de la définition de ce dernier concept : il est possible que l'apprenant confonde les deux termes.

Bien sûr, une telle analyse est une charge de travail non négligeable pour un enseignant. Cette approche gagnerait à être automatisée. Nous développons à l'heure actuelle des mécanismes d'analyse automatique des cartes. Étant donnée l'absence de maturité de ces travaux, ils ne seront pas présentés ici.

Seconde et Troisième Expérimentations

Dans cette section, nous présentons deux expérimentations récentes qui se sont déroulées en novembre 2003 et mars 2004. Après avoir décrit le protocole de ces nouvelles expérimentations, nous présentons le logiciel *DIOGEN* que nous avons

développé pour l'occasion, puis nous évoquons les résultats encourageants que nous avons obtenus.

Protocole de la Seconde Expérimentation

Cette expérimentation s'est déroulée pendant un cours d'algorithmique destiné à des étudiants en 3e année d'école d'ingénieurs, toujours au sein du département ASI de l'INSA de Rouen. C'est un cours sur les tris qui a été prétexte à l'expérimentation.

Dans les grandes lignes, le protocole utilisé a été le même que pour la première expérimentation : après leur avoir proposé un cours, nous avons demandé à tous les étudiants de construire 8 cartes, une pour chaque notion importante. Ils ne disposaient que de 45 minutes pour réaliser leurs cartes, sans pouvoir s'aider de leur cours. Les apprenants pouvaient cette fois-ci ajouter leurs propres concepts et types de liens, si ceux de la liste ne leur convenaient pas.

À la session suivante, nous avons également demandé aux étudiants de définir en français chacune des notions étudiées, afin de vérifier que la construction de cartes n'était pas un obstacle en soi pour les étudiants.

Protocole de la Troisième Expérimentation

La troisième expérimentation, qui s'est déroulée en mars 2004, avait à nouveau pour cadre un cours sur *Java RMI*. Le protocole mis en oeuvre a été le même que pour la seconde expérimentation, à ceci près que nous avons demandé aux étudiants de définir les concepts en langage naturel *avant* d'utiliser le logiciel de construction de cartes conceptuelles.

Ensuite, les 21 étudiants devaient réaliser les cartes de 10 concepts abordés dans le cours. Ils disposaient d'1 heure et 15 minutes. Cette fois, afin de faciliter l'analyse automatique, ils ne pouvaient pas ajouter de nouveaux concepts ou types de lien.

Le Logiciel *DIOGEN*

Étant donné qu'il est peu aisé de réaliser une carte conceptuelle à la main, nous avons développé un logiciel de création de cartes nommé *DIOGEN*, pour *Définition Interactive par une Organisation Graphique pour l'Enseignement* (<http://asi.insa-rouen.fr/cgi-bin/admasi/fdelorme/wiki.pl?CoursRMI>).

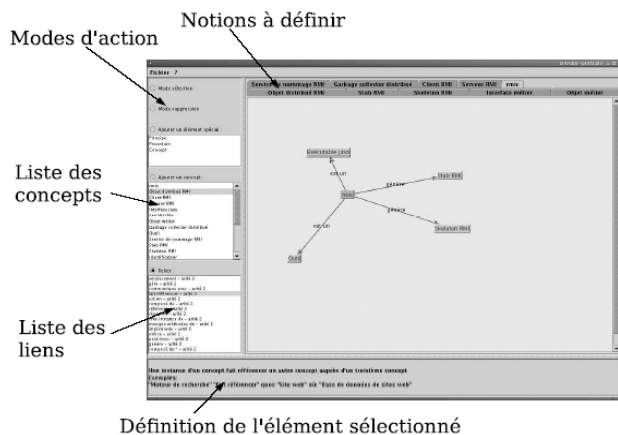


Figure 2 - Une carte réalisée par un apprenant avec DIOGEN

Le logiciel a été conçu de manière à laisser une grande liberté aux apprenants, tout en les incitant à respecter une certaine syntaxe. Pour cela, nous nous sommes partiellement inspirés de la méthode MOT (Modélisation par Objets Typés) développée au LICEF [18]. Dans cette méthode, on distingue entre autres trois types d'objets de connaissances : les concepts, les procédures et les principes. La méthode MOT propose en outre un certain nombre de catégories de liens, ces derniers étant typés : ainsi, un lien de type *I/P* (*intrant / produit*) relie forcément une procédure et un concept. Nous avons donc conservé cette taxonomie, les objets proposés à l'apprenant étant tous d'un de ces trois types. Nous avons également typé nos liens, de sorte que, lorsqu'il sélectionne un type de lien, et avant de relier plusieurs noeuds, l'apprenant voit lesquels il peut choisir : seuls les éléments respectant les contraintes de typage peuvent être sélectionnés.

En outre, les noeuds et liens proposés à l'apprenant sont documentés, ce afin de lever toute ambiguïté sur les termes utilisés.

Résultats de la Seconde Expérimentation

L'analyse s'est effectuée manuellement, le processus d'automatisation n'étant alors pas encore conçu.

Malgré la quantité importante de cartes (48 étudiants réalisant chacun 8 cartes), cette analyse s'est effectuée assez rapidement. En effet, ayant lui-même dressé la liste des attributs pour chaque notion, l'enseignant sait ce qu'il doit chercher sur une carte donnée : il doit vérifier, pour chacun des attributs, si celui-ci est exprimé sur la carte ; il doit en outre vérifier si un attribut d'une autre notion apparaît sur la carte, ce qui serait le signe d'une probable confusion. Mais il n'est pas nécessaire d'entrer plus dans les détails d'une carte donnée : la marche à suivre est simple, c'est pourquoi nous pensons pouvoir l'automatiser sans grande difficulté.

La correction manuelle n'a pas posé de réel problème : seules 32 cartes parmi les 384 cartes du corpus ont posé des difficultés d'analyse du fait de leur ambiguïté, parce que ce que l'apprenant voulait exprimer ne semblait pas clair au correcteur. Il est cependant difficile de proposer un critère quantitatif tel que celui que nous avons utilisé au cours de la précédente expérimentation pour évaluer les résultats obtenus. En effet, le fait que les apprenants puissent ajouter des concepts ou des types de liens rend la méthode de comparaison de triplets caduque : deux cartes peuvent être sémantiquement équivalentes tout en n'ayant que très peu de triplets en commun.

Nous avons pu constater en outre que les apprenants ayant su répondre au questionnaire de la session suivante n'ont pour la plupart pas eu le moindre problème lors de la réalisation de leur carte, ce qui nous permet de supposer que la méthode et le logiciel utilisés ne sont pas des obstacles à l'expression des apprenants.

Résultats de la Troisième Expérimentation

L'analyse des cartes s'est dans un premier temps effectuée manuellement, mais un mécanisme d'analyse automatique est en cours de conception. Les apprenants n'avaient cette fois pas la possibilité d'ajouter leurs

propres types de liens ou de concepts, ce qui devrait faciliter l'automatisation du processus.

La correction manuelle a encore une fois donné de bons résultats, l'analyse étant d'autant plus aisée que le correcteur ne pouvait pas avoir de problème quant à la signification des concepts et liens utilisés, ceux-ci ayant été fixés préalablement.

Les deux modes d'évaluation utilisés (sur papier ou à l'aide du logiciel) ont donné des résultats à peu près équivalents. Dans de rares cas, la carte de l'apprenant n'était pas aussi riche que sa définition textuelle. À l'inverse, dans d'autres cas, la définition textuelle était ambiguë et n'a pas permis de déterminer si l'apprenant avait compris la notion qu'il définissait. Néanmoins, dans la majorité des cas, l'évaluation d'une carte et celle de la définition textuelle correspondante donnent des résultats équivalents.

Comme au cours de la première expérimentation, nous avons évalué la proportion de liens en commun entre la carte de référence et celle de l'apprenant, afin d'obtenir un critère précis de comparaison. Si nous rassemblons l'ensemble des liens des 10 cartes de l'apprenant et des 10 cartes de référence, afin d'avoir une carte unique comme au cours de la première expérimentation, nous obtenons une moyenne de 32% de liens en commun, avec un minimum de 8% et un maximum de 55%. Dans l'absolu, les résultats obtenus sont donc largement meilleurs dès lors que la méthodologie proposée à la section 4.1 est mise en oeuvre.

En outre, la décomposition de la carte unique en plusieurs cartes locales, centrées chacune sur une notion précise, facilite encore l'analyse : 6% des cartes correspondent exactement à la carte de référence attendue, ce qui montre que la notion concernée est acquise par l'apprenant. À l'inverse, environ 10% des cartes n'ont aucun point commun avec la carte de référence correspondante, montrant que la notion concernée n'est pas du tout acquise. Une fois ces cas triviaux pris en considération, quand la méthodologie est employée, l'évaluateur — fût-ce un enseignant ou un logiciel d'analyse automatique — sait ce qu'il doit faire pour évaluer chacune des cartes, ce qui n'était pas le cas lors de la première expérimentation.

Conclusion et Travaux à Venir

La méthode d'évaluation que nous avons mise en oeuvre semble correcte, étant donné qu'elle permet d'obtenir des résultats équivalents à ceux d'une méthode traditionnelle telle qu'un questionnaire sur papier dans le cas d'une correction manuelle.

Cependant, cette méthode présente l'avantage de pouvoir être en grande partie automatisée. En effet, nous avons pu constater que certaines des cartes réalisées par les apprenants sont identiques aux cartes de référence, ou du moins peuvent être obtenues à l'aide d'une simple opération de projection de graphes conceptuels [15]. En utilisant des opérations plus avancées de comparaison de graphes conceptuels, telles que celles évoquées dans [19], nous pensons pouvoir analyser automatiquement les cartes des apprenants. Des méthodes de classification des cartes, basées sur l'utilisation de réseaux bayésiens

[20] sont également en cours d'étude. Le manque de maturité de ces travaux ne permet cependant pas de les aborder ici.

Il est possible d'utiliser des exercices classiques de type QCM, comme nous l'avons évoqué à la section 2.4, afin d'obtenir un complément d'information permettant de lever les éventuelles ambiguïtés. Un tel logiciel est également en cours de développement.

Nous pensons également améliorer le logiciel *DIOGEN* afin de guider l'apprenant au cours de la construction de sa carte. Par exemple, nous avons pu constater au cours des trois expérimentations menées que les apprenants ont parfois du mal à orienter certains types de liens, du genre « x est une sous-procédure de y » ; il serait alors intéressant d'afficher en langage naturel la signification de l'association qu'ils viennent de tracer.

Nous envisageons enfin de tester notre méthode au sein d'autres disciplines, afin d'en éprouver la généralité.

Références

- [1] A. BENTOLILA : *Savoirs et savoir-faire*. Nathan, Paris, 1995.
- [2] D. P. AUSUBEL : *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Grune & Stratton, New York, 1963.
- [3] A. GIORDAN et G. de VECCHI : *Les Origines du savoir*. Delachaux et Niestlé, 1987.
- [4] P. BRUSILOVSKY : *Adaptative Hypertext and Hypermedia*, chapitre Methods and Techniques of Adaptative Hypermedias. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [5] N. DELESTRE : *METADYNE : un Hypermédia Adaptatif et Dynamique pour l'Enseignement*. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 2000.
- [6] S. IKSAL : *Spécification Déclarative et Composition Sémantique pour des Documents Virtuels Personnalisables*. Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Brest, 2002.
- [7] S. JEAN : *PEPITE : un système d'assistance au diagnostic de compétences*. Thèse de doctorat, Université du Maine, 2000.
- [8] T. SELVAT : Génération automatique d'exercices contextuels de vocabulaire. In TALN 2002, pages 185–194, Nancy, 2002.
- [9] C. MOULIN et J.-C. PAZZAGLIA : Création dynamique d'activités adaptées dans un environnement d'apprentissage à distance. In Actes du colloque international TICE'2002, Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, pages 179–183, 2000.
- [10] J. CARBONELL : Ai in cai : Artificial intelligence in computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11-4:190–202, 1970.
- [11] J. D. NOVAK et D. B. GOWIN : *Learning how to learn*. Cambridge University Press, 1984.
- [12] B. TRIBOLLET, F. LANGLOIS et L. JACQUET : Protocoles d'emploi des cartes conceptuelles au lycée et en formation des maîtres. *TREMA, IUFM de Montpellier*, (18):61, 2000.

- [13] C. MEYER : *Un Environnement d'Apprentissage Fondé sur les Métaphores, les Hypermédias et les Cartes de Concepts : Application aux réseaux informatiques*. Thèse de doctorat, École centrale de Lyon, 2001.
- [14] B. PUDELKO, J. BASQUE et D. LEGROS : Vers une méthode d'évaluation des cartes conceptuelles fondée sur l'analyse en systèmes. In *Conférence EIAH 2003*, pages 555–558, 2003.
- [15] J. SOWA : *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Addison-Wesley, 1984.
- [16] B.-M. BARTH : *L'apprentissage de l'abstraction*. Retz, Paris, 1987.
- [17] J. BRUNER, J. GOODNOW et G. AUSTIN : *A study of thinking*. John Wiley, New York, 1956.
- [18] G. PAQUETTE : La modélisation par objets typés : une méthode de représentation pour les systèmes d'apprentissage et d'aide à la tâche. *Sciences et Techniques Éducatives*, 3(1):9–42, 1996.
- [19] D. GENEST : *Extension du modèle des graphes conceptuels pour la recherche d'informations*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 2000.
- [20] S. L. LAURITZEN et D. J. SPIEGELHALTER : Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Methodological*, 50:157–224, 1988.