

Conception de supports hypermédias pour une exploitation pédagogique : modèle et expérience.

Stéphane Crozat, Philippe Trigano

UMR CNRS 6599 HEUDIASYC

Université de Technologie de Compiègne

Email : Stephane.Crozat@utc.fr, Philippe.Trigano@utc.fr

Résumé. L'usage des supports hypermédia dans la formation est aujourd'hui en pleine expansion. Cette expansion invite les pédagogues et les informaticiens à réfléchir sur la conception de tels supports. Nous proposons, au travers de cet article une méthode de conception fondée d'une part sur les propriétés originales du support et d'autre part sur l'exploitation de ce support dans un cadre de formation. Notre approche est basée sur un modèle de représentation de l'information (les Unités Logiques) et sur une logique de conception permettant effectivement de représenter l'information sous une telle forme. Nous présentons également une expérience qui nous a permis de mettre en œuvre et de commencer à évaluer nos travaux

Abstract. Instructional software is more and more used in education. This drives pedagogy and computer science toward research on its own design. We submit in this paper a design method which is on the one hand based on the original properties of numeric information, and on the other hand on the pedagogical management of this information. Our method is founded on a model of information's representation (the Logical Units) along with a design approach that actually allows the representation of the information according to the model. We finally describe an experiment we completed, in order to apply and evaluate our works.

Mots clés. Support numérique, multimédia, conception, modèle, structuration de l'information.

Keywords. Numeric information, multimedia, design, model, information structuring

1. INTRODUCTION

L'arrivée en force des supports hypermédia (*i.e.* numériques et multimédia) dans notre société, le Web en tête, pose le problème de leur usage dans la formation, en introduisant de nouvelles formes d'inscription et de nouveaux modes de réappropriation de l'information. La conception et l'exploitation pédagogique des supports traditionnels (papier, exposé oral, ...) s'appuient sur une large expérience. Pour les supports numériques, ni la conception ni l'exploitation pédagogique ne peuvent reposer sur une telle expérience : or il n'est pas possible de reproduire, en ce qui les concerne, les schémas adaptés à d'autres formes de supports [Stiegler 99]. L'objet de notre travail est la recherche d'une approche originale, qui, à partir d'une réflexion sur les spécificités du support, permet de proposer une démarche adaptée à l'exploitation de supports numériques dans la pratique pédagogique. En tant qu'informaticiens, notre propos n'est pas de présenter une innovation de nature pédagogique, mais bien des concepts

technologiques permettant à des pédagogues d'appliquer leur expertise dans le cadre de la conception de supports numériques. Néanmoins, la conception du support prédéterminant l'usage qui en sera fait, la réflexion sur la conception ne peut être dissociée de la réflexion sur l'exploitation pédagogique. Nous proposons au travers de cet article d'introduire une démarche de conception permettant en même temps de :

- concevoir le support numérique,
- prescrire les usages pédagogiques qui vont en être fait.

Nous aurons pour cela recours à la notion d'Unité Logique, modèle de structuration permettant de prendre en compte les spécificités du support (calcul, multimédia, ...) ainsi que les spécificités de son exploitation pédagogiques (association du contenu à des activités pédagogiques). Nous présenterons ensuite une méthode permettant de concevoir des supports en respectant l'hypothèse de structuration propre aux Unités Logiques. Enfin nous présenterons une application de cette méthode, mise en oeuvre pour la conception d'un support hypermédia pour l'enseignement des bases de l'algorithmique (XF01), ayant été testé pendant deux semestres en situation réelle auprès d'étudiants de première année après le BAC à l'UTC (Université de Technologie de Compiègne, France).

2. L'UNITE LOGIQUE : UNE UNITE DE STRUCTURATION DOCUMENTAIRE ET PEDAGOGIQUE

2.1. UN NOUVEAU SUPPORT PEDAGOGIQUE

Alors que la raison d'être des documents papiers est la représentation spatiale d'informations [Goody 79], la raison d'être des documents numériques est le calcul que l'ordinateur effectue sur ces documents [Bachimont 99] : « Non seulement les informations numériques sont calculables, mais elles ne sont que calculables ». En effet l'ordinateur ne traite que des séquences binaires qui, par le calcul, deviennent des signes sur un support tel que l'écran.

Le support papier a permis de représenter l'information dans l'espace et de rendre l'information permanente dans le temps. Grâce à ces possibilités nouvelles, de nouvelles connaissances ont pu émerger, liées à l'émergence de représentations qui ne peuvent être formulées oralement (par exemple la présentation de données dans un tableau permet de mettre en relief des relations qui ne pourraient émerger par la description orale du tableau).

Le numérique, lui, est intéressant du point de vue de l'enseignement en tant que support proposant de nouvelles possibilités d'inscription et de manipulation de l'information, basées sur le calcul. Ces nouvelles possibilités induisent la constitution de modes de représentation nouveaux. L'enjeu est de comprendre comment manipuler ces nouvelles représentations afin de faire émerger des formulations pédagogiques nouvelles et d'enrichir le panel actuellement disponible.

2.2. UNE UNITE DE STRUCTURATION DU SUPPORT

Le support numérique étant un support à accès aléatoire, l'information stockée dans un ordinateur est délinéarisée. On propose de représenter l'information contenue dans un hypermédia sous la forme d'un graphe (*i.e.* un ensemble de nœuds d'information et d'arcs permettant de relier conceptuellement ces nœuds). L'unité de lecture est le nœud du graphe. Or étant donné la non-linéarité de ce graphe, il est difficile, voire impossible,

de faire des hypothèses valides sur les antécédents et les successions de la lecture en cours. Sur un support linéaire, par exemple un livre, il est facile de faire de telles hypothèses, ainsi on pose récursivement que lors de la lecture de la page N, la page N-1 a déjà été lue et que la page N+1 sera lue ensuite. Bien entendu, cette hypothèse n'est que partiellement exacte dans la mesure où le lecteur peut recomposer partiellement son parcours (en sautant des passages, revenant en arrière, accédant à des index, etc.) mais elle reste néanmoins la règle dominante. Lors de la lecture d'un nœud d'un graphe, cette règle ne s'applique plus car on ne peut présupposer facilement des nœuds lus précédemment et des nœuds qui seront lus ensuite. On propose donc une solution adaptée, le recours à une unité d'information correspondant à l'unité de calcul.

On entend par unité d'information un nœud du graphe, dont la lecture est **nécessaire** et **suffisante** pour la compréhension d'un concept. La nécessité implique la rédaction d'unités minimales (par exemple aucune commande de navigation (hyperlien) ne doit intervenir avant la fin de la lecture de cette unité). La suffisance implique la rédaction d'unités autonomes (par exemple aucune hypothèse ne doit être faite sur les unités précédentes et suivantes). Ce concept nous fournit une base pour gérer le problème de délinéarisation de l'information.

2.3. DE NOUVELLES PRATIQUES PEDAGOGIQUES

Le support tient une place fondamentale dans le processus pédagogique. Il est la médiation de la connaissance entre un enseignant et un apprenant. Or le support n'est pas neutre vis à vis de l'information qu'il véhicule, il détermine la forme selon laquelle cette information est inscrite et la façon dont l'utilisateur se la réapproprie. Le fait d'introduire un nouveau support est donc un changement profond qui conduit à l'émergence de nouvelles pratiques. Nous pouvons notamment énoncer deux problèmes clés :

Quels processus pédagogiques associer au support numérique ?

Le nouveau support introduit une nouvelle temporalité dans le processus d'apprentissage. On entend ici processus d'apprentissage au sens de déroulement temporel de la formation (vitesse, retours en arrière, bifurcations, ...). La nature d'un support contribue à déterminer la pratique pédagogique : lors d'une exposition orale l'enseignant gère le déroulement temporel en fonction d'un temps de parole, d'un ensemble d'informations à communiquer, des retours que lui donne l'assistance. Lors de la lecture d'un livre, un apprenant auto-gère son temps en fonction de sa compréhension, de ses impératifs. En ce qui concerne le support numérique, la question pour l'enseignant est d'une part de définir quelles formes peuvent revêtir les scénarii associés à la manipulation des contenus, et, d'autre part, de pouvoir inscrire ces scénarii au sein du support afin de rendre possible le déroulement de ce processus pédagogique.

Quelles actions de réappropriation associer au support numérique ?

Alors qu'un apprenant (du moins au niveau universitaire) sait implicitement quelles activités mener avec un livre (annoter, synthétiser, résumer, ...) ou un discours oral (prendre des notes, poser des questions, ...), la pratique habituelle ne lui dicte pas ce qu'il doit faire d'un support numérique. Il ne sait pas ce qui est **possible** (annoter ? poser des questions ? synthétiser ? dans quel cadre ? au sein du support ? via un autre support ? de quelle façon ? etc.) et il ne sait pas ce qui est **souhaitable**. Un travail d'explicitation doit donc être mené par l'enseignant afin de guider la manipulation du support par l'apprenant et ce travail doit être fait dès la conception.

2.4. UNE UNITE DE STRUCTURATION DU PROCESSUS PEDAGOGIQUE

Pour répondre à ces deux questions, nous nous inspirons des travaux de Franck Ghitalla [Ghitalla 00], qui propose un modèle de discrétisation du processus pédagogique en actes pédagogiques. Nous proposons donc de représenter le processus pédagogique comme un graphe d'étapes (*i.e.* un ensemble de nœuds représentant des étapes pédagogiques et d'arcs représentant le passage d'une étape à une autre).

Suivant cette hypothèse de représentation, on peut définir un processus pédagogique comme :

- un ensemble partiellement ordonné d'étapes autonomes, chaque étape correspondant à un ensemble de contenus qu'il est nécessaire et suffisant d'étudier ensemble
- un ensemble nécessaire et suffisant d'actions pédagogiques explicites à réaliser afin de construire les connaissances associées à l'étape et ainsi permettre le passage aux étapes suivantes.

La nécessité implique que toutes les actions prescrites doivent être réalisées tandis que la suffisance implique qu'aucune autre action n'est nécessaire à la compréhension. Notons enfin que l'exécution des actions pédagogique peut se faire via le support (annoter directement le contenu) ou non (poser une question à l'oral).

Ce modèle est, par définition, réducteur par rapport à la réalité, son objectif n'est pas de décrire parfaitement le processus pédagogique, mais d'en proposer une représentation formalisable, que nous exploitons dans la partie suivante.

2.5. L'UL : UNE UNITE DE STRUCTURATION COMMUNE

2.5.1 Définition

Nous concluons de nos réflexions préalables qu'un des moyens de prendre en compte la nature du support numérique ainsi que la nature des pratiques qui l'accompagnent est de concevoir le support de telle façon que l'information soit représentée sous un schéma non linéaire et tel que l'information soit associée à ses modes de réappropriation.

On définit une unité logique (UL) comme une unité minimale de structuration documentaire et pédagogique, telle qu'elle est nécessaire et suffisante pour la lecture dans un contexte pédagogique. Elle permet de représenter des contenus non linéaires sur un support numérique et de penser leur relinéarisation (*i.e.* le parcours du graphe d'information) selon un scénario pédagogique, à travers l'acquittement d'un certain nombre d'actions pédagogiques.

2.5.2 Caractéristiques

Une unité logique est caractérisée par un type, une structure interne, une structure externe et un ensemble d'actions associées.

Type

Une UL est associée à un type, ou modèle, qui définit sa forme pédagogique (exemple : cours, exercice, QCM, travaux pratique, ...). Chaque type est défini a priori (voir partie suivante) et permet de contrôler que les UL ayant même la forme pédagogique ont un comportement similaire. Ainsi toutes les UL d'un même type auront la même structure interne et les mêmes actions associées.

Structure interne

L'information représentée au sein d'une UL est structurée, c'est à dire qu'elle répond à une structure prédéfinie par son type. Par exemple l'on dira qu'un exercice est composé d'un énoncé, de plusieurs questions et de consignes de résolution. Cette structure définit toute UL de type exercice.

Structure externe

Nous définissons la *scénarisation* ou structure externe comme la programmation des liens entre les UL composant l'hypermédia, c'est à dire la définition d'arcs pertinents du graphe pour un contexte d'apprentissage donné. La structure externe d'une unité d'information reflète donc son interaction conceptuelle avec les autres unités d'information composant l'hypermédia. Par exemple on dira que l'UL de « définition du théorème de Thalès » est associée aux UL « exercice de base sur le théorème de Thalès » et « exercice avancé sur le théorème de Thalès ».

Actions associées

Comme nous l'avons déjà exprimé l'information est associée à ses modes de réappropriation, nous associons donc à chaque UL un ensemble d'actions pédagogiques qui prescrivent ce qui doit être fait pour assimiler cette UL. Par exemple on définira qu'une unité de cours est associée aux actions lecture, annotation, synthèse et qu'une UL d'exercice est associée aux actions lecture, résolution.

2.5.3 Illustration

La Figure 1 présente un exemple d'hypermédia pédagogique modélisé sous forme d'unités logiques. Le scénario pédagogique nous dit que nous devons commencer par l'UL de cours 1, puis faire soit l'UL d'exercice 2 soit la 3, puis l'UL de cours 4 et enfin l'UL d'évaluation 5. A chaque UL sont associées les actions pédagogiques à accomplir.

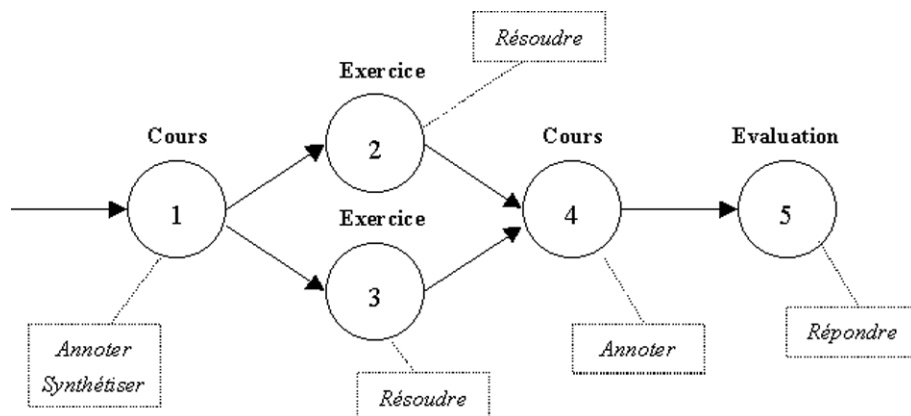


Figure 1: Illustration d'un modèle basé sur les UL

3. DEMARCHE DE CONCEPTION

3.1. L'ARTICULATION DE QUATRE EXPERTISES

Nous venons de présenter l'unité logique, un outil conceptuel permettant de représenter contenu et processus pédagogique ensemble. Nous proposons à présent une approche de conception permettant de réaliser une formation à partir de ce principe de structuration.

Cette approche repose sur quatre fonctions essentielles qui se complètent pour réaliser un hypermédia pédagogique :

- La fonction d'expertise pédagogique est première dans la mesure où cette expertise est la base indispensable à la réalisation du type de système d'information que nous avons décrit. Son rôle est d'explicitier la relation pédagogique dans laquelle intervient l'hypermédia.
- La fonction de modélisation propose, à partir des données explicitées au cours de l'expertise pédagogique, une structure d'information logique utilisable par les auteurs et les éditeurs.
- La fonction de rédaction a en charge le renseignement du système d'information structuré.
- La fonction d'édition a en charge la programmation des actions de réappropriation (et en particulier celle prépondérante d'affichage à l'écran).

Nous pouvons résumer le processus de conception selon ces quatre étapes sur le schéma ci-dessous (Figure 2). Nous illustrons brièvement ces quatre étapes dans les paragraphes ci-après.

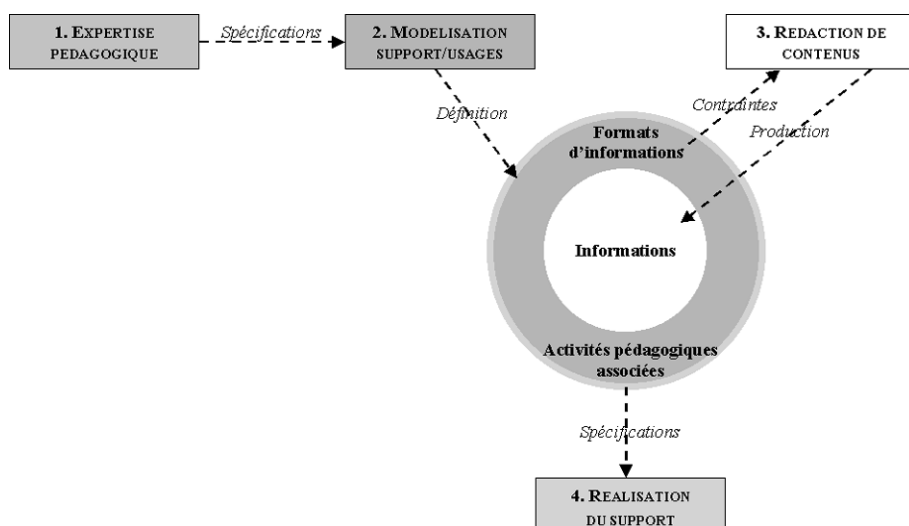


Figure 2 : Une approche de conception reposant sur quatre étapes

Notons que cette approche de conception est plus proche d'une chaîne éditoriale (analyse de contenus, modèle documentaire, rédaction, édition) que d'une approche de génie logiciel classique (modèles en V ou Spirale par exemple, basés sur séquences itératives de spécification, réalisation et validation). Elle permet de clairement séparer les métiers impliqués, en conservant les pédagogues à l'origine de la conception, en permettant aux experts du contenu de maîtriser la rédaction sans compétences informatiques, aux éditeurs de réaliser des IHM sans maîtriser le contenu, ...

Remarquons enfin que les mécanismes de rétroaction n'apparaissent pas sur le schéma mais existent nécessairement (par exemple les remarques des modélisateurs peuvent amener à préciser l'expertise pédagogique, les remarques des rédacteurs peuvent amener à modifier le modèle, ...)

3.2. ILLUSTRATION

Afin d'expliciter le processus pédagogique, nous décrivons la relation pédagogique à partir des actes discrets qui la composent.

- L'enseignant définit un concept
- Les étudiants annotent le cours
- L'enseignant donne des exemples
- L'enseignant donne un exercice

Puis nous pouvons définir les formats d'UL permettant de modéliser l'interaction pédagogique décrite au cours de la phase précédente (structure interne, externe et actions).

Type : **UL_Exposition**
Structure interne : est composée d'une **Définition**, et d'une liste d'**Exemples**.
Structure externe : est liée à une liste d'**UL_Exercices**, et à une liste d'**UL_Expositions**.
Actions associées : **Lire**, **Annoter**.

Ensuite nous pouvons produire les contenus dans le cadre des formats posés par la phase de modélisation (le formalisme utilisé ici est le formalisme XML [Michard 99]).

```
Exposition1.xml  
<UL_Exposition>  
<Definition>Un algorithme est ...</Definition>  
<Exemple>Le calcul du PGCD ...</Exemple>  
<Exemple>La fonction factorielle ...</Exemple>  
<Lien>Exposition2.xml</Lien>  
<Lien>Exercice1.xml</Lien>  
<Action>Annoter</Action>  
</UL_Exposition>
```

Enfin il est possible de réaliser une interface homme-machine afin de donner accès aux contenus et aux actions associées (travail de programmation informatique).

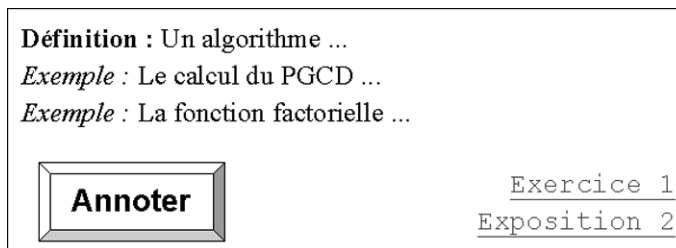


Figure 3 : Exemple d'IHM résultant de la phase d'édition

4. EXEMPLE DE REALISATION

4.1. CONTEXTE DE CONCEPTION

Dans cette partie nous décrivons pas à pas la conception d'un hypermédia pédagogique pour l'enseignement des bases de l'algorithmique. Cette conception a été menée selon le processus précédemment décrit et a conduit à un produit utilisé en situation réelle depuis deux semestres (voir partie 5).

4.2. EXPERTISE PEDAGOGIQUE

Nous présentons ci-dessous le résultat de l'expertise pédagogique. Le tableau (Tableau 1) est organisé autour de la liste des activités pédagogiques pratiquées ou désirées dans le nouveau processus pédagogique associé à l'hypermédia. Ces activités sont regroupées en méta-activités (qui correspondront à un type d'UL) et associées à un acteur (professeur ou étudiant). Chaque activité est ensuite annotée, de façon à déterminer si oui ou non elle fera intervenir l'hypermédia. Notons que ce choix est dicté par le contexte, et l'on peut notamment décider de ne pas associer certaines activités à l'hypermédia, afin de les traiter à l'aide d'un autre support, alors qu'il est techniquement possible de la faire (par exemple on peut décider de laisser les questions se dérouler à l'oral bien que le courrier électronique permette de poser des questions). Chaque fois que l'on définit qu'une activité fait intervenir l'hypermédia on ajoute une information supplémentaire déterminant si celle-ci aura une influence sur la structure externe, la structure interne et/ou les actions pédagogiques de l'UL qui la prendra en charge.

Méta-activités	Activités	Acteur	Intervention de l'hypermédia	Structure Externe	Structure interne	Actions
Organisation des séances en étapes	Introduire une nouvelle séance	Professeur				
	Résumer une séance précédente	Professeur				
	Planifier les séances	Professeur				
	Regrouper tous les types de contenus par étape	Professeur	X	X		
	Énoncer les objectifs d'une étape	Professeur	X		X	
	Énoncer un résumé	Professeur	X		X	
	Conclure une partie	Professeur				
Exposition des concepts	Lire le cours	Étudiant	X			X
	Annoter le cours	Étudiant	X			X
	Mettre en valeur un concept	Étudiant	X			X
	Expliquer un concept	Professeur				
	Copier	Étudiant				
	Définir un concept	Professeur	X		X	
	Donner une approche méthodologique	Professeur	X		X	
	Donner un exemple	Professeur	X		X	
	Référencer un concept	Professeur				
	Approfondir, compléter un concept	Professeur	X		X	
	Reformuler un concept	Professeur	X		X	
	Répondre à une question sur ce concept	Professeur		X		
	Simplifier un concept	Professeur				
	Situer un concept par rapport au plan	Professeur	X			X
	Situer un concept par rapport à une évaluation	Professeur				
	Situer un concept par rapport à une culture générale	Professeur				
Renvoyer à une autre partie du cours	Professeur	X	X			

Méta-activités	Activités	Acteur	Intervention de l'hypermédia	Structure Externe	Structure interne	Actions
	Suivre le parcours d'un étudiant	Professeur				
	Renvoyer à un exercice d'application	Professeur	X	X		
Pratique des concepts	Donner un énoncé d'exercice	Professeur	X		X	
	Résoudre un problème	Etudiant	X			X
	Situer l'exercice par rapport à un niveau de difficulté	Etudiant et professeur	X		X	
	Situer l'exercice par rapport à une évaluation	Professeur				
	Situer l'exercice par rapport à un temps de résolution	Professeur	X		X	
	Renvoyer au cours traitant du problème	Professeur	X	X		
	Accompagner à trouver la solution (fournir des indices)	Professeur	X		X	X
	Donner une solution	Professeur	X		X	X
	Auto-évaluer sa capacité à résoudre les exercices	Etudiant	X			X
	Evaluer et commenter une solution (correcte ou non)	Professeur				
Expérimentation des concepts	Créer (écrire un programme)	Etudiant				
	Expérimenter, simuler (voire des exécutions de programme)	Etudiant				
	Ecrire un compte rendu d'expérience	Etudiant				
	Aider à la manipulation	Professeur				
Discussion des concepts (Questions / Réponses)	Poser une question	Etudiant	X		X	
	Répondre à une question	Professeur	X		X	
	Deviner une question	Professeur				
	Reformuler une question	Etudiant				
	Gérer la communication	Etudiants et Professeur				
	Conserver une mémoire des questions et réponses	Etudiants et Professeur	X			X
Évaluation des connaissances	Poser des questions	Professeur	X		X	
	Répondre aux questions	Etudiants	X			X
	Proposer des réponses	Professeur	X		X	
	Corriger des réponses	Professeur	X			X
	Donner les bonnes réponses	Professeur	X		X	
	Evaluer des connaissances antérieures (pré-évaluation)	Professeur				
	Vérifier la compréhension de ce qui vient d'être exposé (évaluation immédiate)					
	Donner une évaluation à la fin d'une étape (évaluation continue)	Professeur	X			X

Méta-activités	Activités	Acteur	Intervention de l'hyper média	Structure Externe	Structure interne	Actions
	Donner un examen (évaluation sommative)					
	Apprécier une évaluation	Professeur				
	Positionner une évaluation par rapport à une certification ou un niveau académique	Professeur				
	Enoncer les critères d'évaluation	Professeur				

Tableau 1 : Description annotée du processus pédagogique

4.3. MODELISATION

L'enjeu de cette seconde phase est donc d'utiliser l'expertise pédagogique comme une spécification afin de définir les modèles d'UL. La première étape de définit les différents modèles d'UL : on décide de créer un modèle d'UL pour chaque méta-activité recensée. Ainsi dans notre cas on définit les modèles Etape, Exposition, Pratique, Question et Evaluation, correspondant respectivement aux cinq méta-activité faisant intervenir le support. Puis pour chaque modèle d'UL, on définit les modèles de structure externe, de structure interne et les actions associées.

Le modèle de structure externe est déduit a partir des activités influençant la structure externe, par exemple pour le modèle Exposition, on déduit des trois activités (« répondre à une question sur ce concept », « renvoyer à une autre partie du cours » et « renvoyer à un exercice d'application ») que les UL de type Exposition peuvent être liées aux UL Question, Exposition et Application.

Le modèle de structure interne est déduit de la même façon, en utilisant les activités associées à la structure interne. Par exemple pour le modèle Evaluation, les activités (« Poser des questions », « Proposer des réponses », « donner les bonnes réponses ») nous permettent de définir que les UL de type Question sont composées des informations « Question », « Proposition de réponse » et « Réponses correctes ».

Enfin, on recherche les actions associées, ainsi par exemple pour le modèle Pratique, les activités (« Résoudre un problème », « Fournir des indices », « Donner une solution », « Auto-évaluer sa capacité à résoudre les exercices ») permettent de définir les actions « Résoudre », « Regarder un indice », « Regarder une solution », « S'auto évaluer ».

Le tableau ci-dessous propose la liste des modèles définis dans le système à partir de l'expertise pédagogique.

	Structure externe	Structure interne	Actions pédagogiques associées
<i>Etape</i>	Contient des Expositions Contient des Pratiques Contient des Questions Contient des Evaluations	Résumé Objectifs	Aucunes
<i>Exposition</i>	Est suivi d'Expositions Requiert des Pratiques Est liée à des Questions	Définition Exemple Approfondissement Méthodologie Reformulation	Lire Annoter Mettre en valeur Donner le sommaire
<i>Pratique</i>	Est traité par des	Enoncé	Résoudre

	Expositions	Indices Solution Temps Difficulté	Regarder un indice Regarder une solution S'auto évaluer
<i>Question</i>	Aucune	Question Réponse	Regarder les questions et réponses déjà posées
<i>Evaluation</i>	Aucune	Questions Propositions de réponses Réponses correctes	Répondre Corriger ses réponses Etre évalué

Tableau 2 : Structure interne et actions associées

4.4. REDACTION

A partir du modèle, les contenus ont pu être rédigés en suivant les contraintes de structure interne et reliés entre eux (*i.e.* scénarisés) en suivant les contraintes de structures externes. Nous proposons à travers la Figure 4 d'illustrer un exemple d'UL instanciées et scénarisée.

Le modèle a été respecté puisque les informations correspondent aux contraintes de structure interne et les liens aux contraintes de structure externe. Si l'on déroule le scénario exprimé par les liens, on observe qu'il faut passer par l'UL Etape1 pour ensuite aller à l'UL Exposition1. Dans cette UL il est possible d'exécuter les actions associées (lire, annoter, ...), et de consulter les UL Question1, Pratique1, Pratique2. Une fois l'UL traitée, l'utilisateur peut passer soit l'UL Exposition3 (de rappel) soit aller directement à l'UL Exposition2, et ainsi de suite.

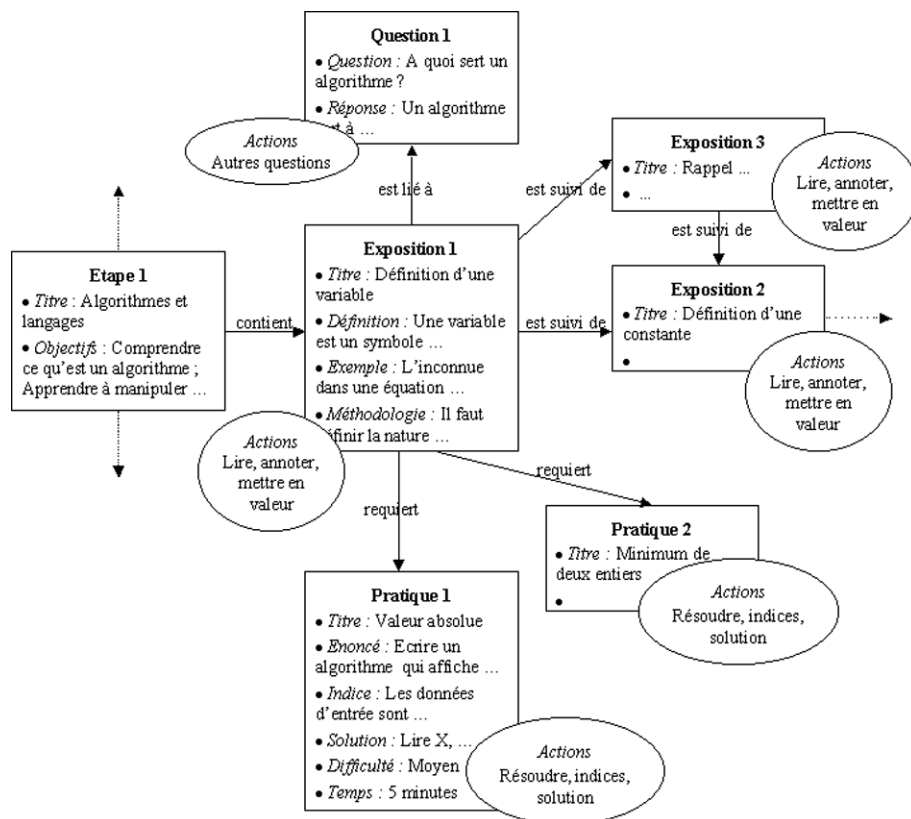


Figure 4: Exemple d'instances d'UL

4.5. EDITION

Un prototype a ensuite été réalisé afin de permettre la visualisation effective des contenus et l'exécution des actions. Nous proposons ci-dessous d'illustrer cette réalisation à travers quelques écrans clés du logiciel correspondants aux UL Etape1, Exposition1 et Pratique1 de la Figure 4).

L'écran d'étape (Figure 5) permet de choisir l'étape à traiter (bandeau supérieur) et à partir de cette étape de naviguer vers : le cours, les exercices, l'évaluation ou les questions-réponses associées (l'image de fond est réactive).

L'écran d'exposition (Figure 6) permet la consultation du contenu et l'exécution des actions associées à travers une fenêtre mobile (visible sur la copie d'écran à droite). On note également que le contenu est multimédia et peut renvoyer vers des fichiers exécutables externes, telles que des simulation interactives (ici en cliquant sur l'icône "Formes algorithmiques" en bas à droite). Enfin on peut naviguer depuis l'unité logique en cours vers les unités logiques associées par la structure externe (barre de navigation en bas de l'écran).

L'écran de pratique (Figure 7) permet d'afficher les énoncés, tandis qu'une fenêtre mobile (en bas à droite) supplémentaire permet de saisir la résolution, de visualiser des indices et la solution une fois l'exercice résolu.

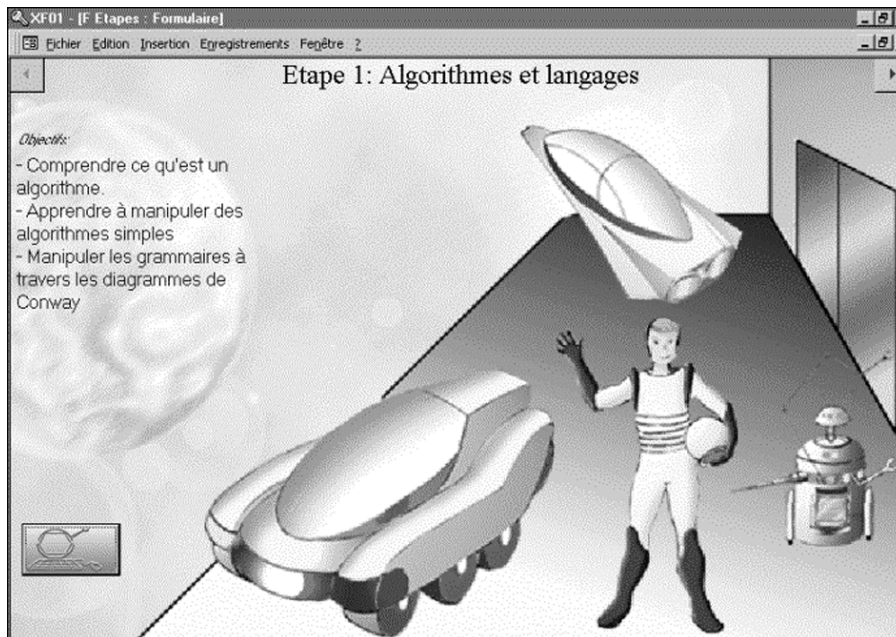


Figure 5 : Ecran d'étape

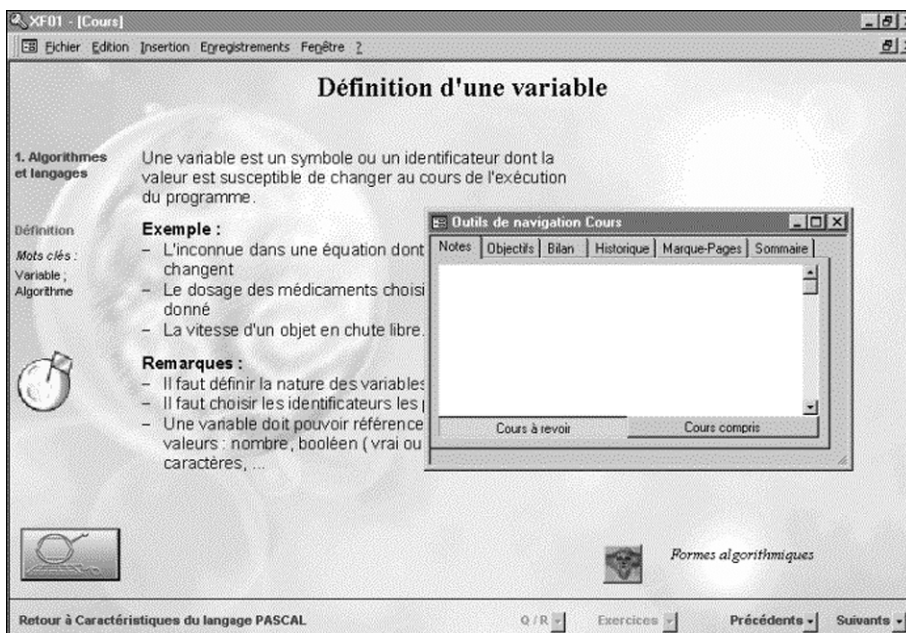


Figure 6: Ecran d'exposition

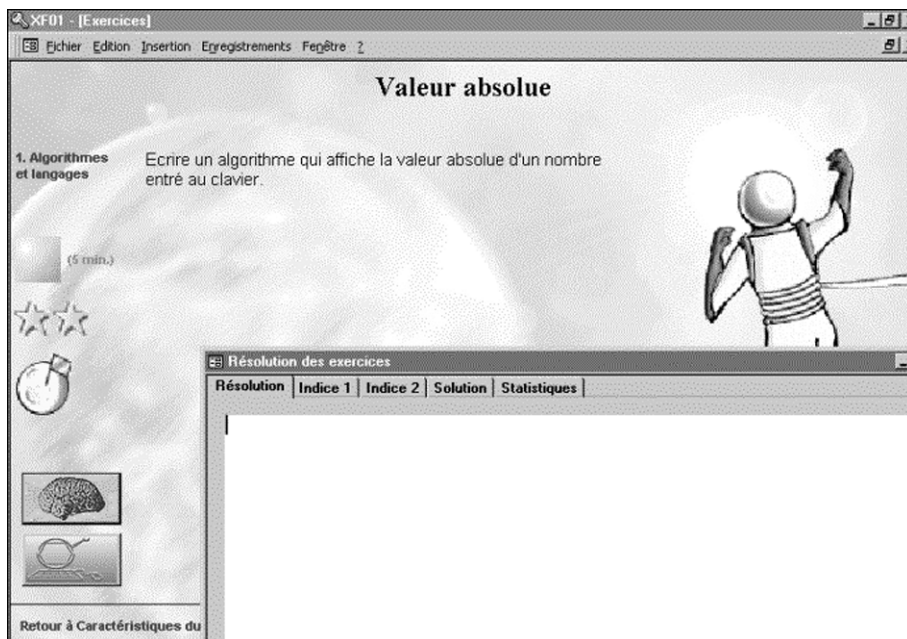


Figure 7 : Ecran de pratique

5. RESULTATS D'UTILISATION

5.1. CONTEXTE INITIAL

L'hypermédia décrit en partie 4, réalisé selon la méthode exposée en partie 3, a été utilisé en situation réelle. Le support a été utilisé pour l'enseignement des bases de l'algorithmique et de la programmation, à l'Université de Technologie de Compiègne, en Tronc Commun (cycle de préparation au cycle ingénieur, équivalent au DEUG).

Traditionnellement ce cours concerne 150 à 250 étudiants. Le dispositif d'enseignement est classiquement composé :

- d'une heure et demi de cours magistral en amphithéâtre
- de deux heures de travaux dirigés en groupes réduits (24 étudiants)
- d'une heure de travaux pratiques sur machines en demi-groupe (12 étudiants)

Face aux problèmes, également classiques, rencontrés au cours de cet enseignement (tels que la fidélisation des étudiants au cours, la séparation entre théorie et pratique ou l'autonomisation des étudiants), certains aménagements ont été recherchés. Ainsi le cours magistral a tenté de laisser plus de place à l'interaction avec les étudiants, sans beaucoup de succès, l'effectif trop important étant peu adapté à ce modèle. C'est dans ce contexte que l'expérience a été menée, afin d'observer ce qu'un dispositif pédagogique innovant, centré autour d'un hypermédia, pouvait apporter.

5.2. L'EXPERIENCE XF01

Cette expérience a été menée durant deux semestres d'enseignement, à l'automne 1999 et au printemps 2000. 230 étudiants suivaient le cours lors du premier semestre et 130 lors du second. Dans les deux cas 20 étudiants ont été isolés (au hasard) pour suivre

l'expérience (intitulée XF01), tandis que les autres continuaient de suivre le cours selon le schéma classique.

Le dispositif pédagogique de XF01 est le suivant :

- 3 heures par semaine de séances tutorées autour de l'hypermédia (en remplacement des cours et TD)
- 1 heure de travaux pratique (identique au schéma classique)

La séance tutorée regroupait cours et exercices selon le déroulement suivant :

- Les étudiants préparent chez eux le cours et les exercices à partir d'un support papier
- Au début de chaque séance les étudiants posent des questions au tuteur afin de préciser les points mal compris
- Les étudiants travaillent en binôme de façon autonome avec l'hypermédia : lecture/annotation du cours, résolution des exercices (avec accès à des indices et aux solutions)
- Le tuteur répond à des questions des étudiants, reprend l'attention de l'ensemble de la classe pour exposer un point ardu, interroge des étudiants pour les guider
- Les étudiants participent à un ensemble de travaux de restitution (synthèse des questions et réponses posées, résolution d'exercices au tableau, réponse à des QCM)

Dans le schéma classique un enseignant expose l'information aux étudiants qui l'apprennent. Le modèle appliqué en XF01 change assez profondément la relation pédagogique, dans la mesure où l'exposition de l'information est assurée par l'hypermédia, ce qui modifie le rôle de l'enseignant (renommé tuteur). Ainsi les étudiants travaillent de façon plus autonome, grâce aux possibilités offertes par l'hypermédia, et le tuteur les accompagne.

Quatre modes d'évaluations ont été menés aux cours de ces deux expériences :

- Une évaluation par questionnaire de l'appréciation des étudiants
- Une évaluation de l'appréciation des tuteurs
- Une évaluation par comparaison de résultats aux examens avec les étudiants suivant l'approche classique

Nous traiterons également succinctement des coûts supplémentaires engendrés par le recours à une telle approche pédagogique.

5.3. EVALUATION DE L'APPRECIATION DES ETUDIANTS

A la fin de chacune des deux expériences, les étudiants ont été soumis à un questionnaire individuel, portant sur leur appréciation de l'enseignement expérimental. Nous proposons d'en résumer ici les résultats les plus significatifs :

Questions	Réponses Positives (1ère expérience)	Réponses positives (2ème expérience)
Avez-vous trouvé l'approche plus agréable qu'un cours normal ?	100%	85%
Avez-vous eu la sensation que l'enseignant s'est plus occupé de vous que dans un schéma classique ?	100%	100%
Cette approche vous a-t-elle semblé plus apte à adapter l'enseignement au cas de chacun ?	100%	100%
Le fait d'utiliser un logiciel comme support de cours vous a-t-il attiré ?	95%	85%
Pensez-vous que vous avez mieux appris au sein de cette expérience que vous ne l'auriez fait dans un cadre classique ?	85%	85%
Pensez-vous que vous allez réussir à l'examen, alors que vous pensez que vous auriez échoué sans cette approche ?	25%	15%
Souhaiteriez-vous étendre cette façon d'apprendre aux autres cours ?	85%	100%
Avez-vous eu l'impression de manquer de cours (du fait de ne pas avoir de cours oral construit) ?	10%	0%
Pensez-vous avoir plus travaillé que dans une approche classique ?	75%	100%
Cette approche vous a-t-elle permis de gagner en autonomie ?	85%	80%
Auriez-vous souhaité être plus dirigé dans votre apprentissage ?	40%	0%
Auriez-vous travaillé seul plutôt qu'en binôme ?	0%	15%
Etes-vous venus plus souvent que vous ne l'auriez fait pour un cours ou un TD classique ?	70%	65%

Tableau 3 : Réponses des étudiants au questionnaire d'évaluation de l'expérience

La conclusion principale que nous pouvons tirer de cette évaluation est que les étudiants sont massivement satisfaits de cette approche. Ils sont plus motivés, plus en confiance, et trouvent l'approche plus agréable. Ils sont peu déroutés (à part les 40% d'étudiants qui auraient souhaité être plus dirigés lors de la première expérience) et apprécient de travailler en binôme, avec un logiciel, et de façon autonome.

Il reste difficile de déterminer si c'est le logiciel qui est en cause, ou bien si c'est l'approche en elle-même : le fait d'être en groupe réduit pendant 3 heures au lieu de 2, le fait de ne pas avoir de cours magistral, le fait que l'enseignant et les étudiants se soient plus investis dans un cadre expérimental, etc.

5.4. EVALUATION DE L'APPRECIATION DES TUTEURS

Notons que lors de la première expérience le tuteur était aussi le réalisateur du support, tandis que lors de la seconde expérience, il s'agissait d'un autre enseignant. On peut résumer les appréciations concordantes des deux tuteurs :

5.4.1 Apports

- *Déplacement de l'exposition vers l'accompagnement* : l'hypermédia permet de ne pas faire le travail (plus mécanique) d'exposition du contenu mais plutôt un travail d'accompagnement (explications, guidage, etc.)
- *Soutien aux étudiants en difficulté* : il est plus facile de passer plus de temps avec les étudiants en difficulté, les autres pouvant avancer de façon autonome. De plus le dispositif permet aux étudiants en difficulté de travailler en aparté avec le tuteur, c'est à dire sans le poids constant du regard du reste de la classe.

- *Gestion des différences de niveau (personnalisation)* : il est possible d'ajuster l'enseignement à chacun, approfondissant certains points avec certains, survolant d'autres aspects avec d'autres.
- *Motivation* : il est plus facile de passer du temps pour motiver les étudiants, en expliquant les tenants et aboutissants du cours.
- *Autre relation pédagogique* : le support hypermédia permet (paradoxalement ?) l'établissement d'une relation humaine et plus riche entre le tuteur et les étudiants.

5.4.2 Contraintes

- Lors de la seconde expérience, le tuteur, qui n'était pas l'auteur de l'hypermédia, a ressenti des difficultés pour se réappropriier le support et l'adapter à sa propre approche d'enseignement. En effet l'enseignant perd une certaine liberté d'approche pédagogique, globalement imposée par le support hypermédia.
- Une telle approche requiert plus d'investissement lors des séances de cours que pour un enseignement classique. Il est en effet nécessaire de rester constamment à l'écoute de chacun des étudiants. Pour schématiser, il s'agit de travailler vingt fois avec chaque étudiant plutôt qu'une fois pour vingt étudiants.
- L'approche est plus difficile que dans un enseignement classique, en effet le déroulement pédagogique est moins contrôlable et plusieurs déroulements coexistent simultanément. Il est donc nécessaire d'avoir une très bonne maîtrise de l'ensemble du contenu.

5.5. COMPARAISON DE RESULTATS AUX EXAMENS

Tandis que 20 étudiants suivaient chaque semestre l'expérience XF01, le reste des étudiants (210 lors de la première expérience et 108 lors de la seconde) suivaient le mode classique d'enseignement de ce cours. Néanmoins les deux groupes (XF01 et classique) ont été soumis aux mêmes examens. Les résultats que nous exposons (Tableau 4) n'ont pas valeur de généralisation, ils restent statistiquement peu significatifs. Ils permettent néanmoins d'ajouter un indicateur supplémentaire aux autres formes d'évaluation. Notons que lors des deux semestres, deux modes d'évaluation différents ont été mis en œuvre. Un unique examen final (sous une forme de questionnaire à choix multiples autorisant les notes négatives) au premier semestre et deux examens, médian et final (sous une forme classique) au second semestre.

	Minimum		Moyenne		Maximum	
	XF01	Classique	XF01	Classique	XF01	Classique
1 ^{ère} expérience	3	-5	8,77	8,75	18	19
2 ^{ème} expérience (médian)	8	4	12,11	11,09	17	18
2 ^{ème} expérience (final)	6,5	4	12,11	11,64	17,5	19

Tableau 4 : Comparaison des résultats en moyenne

Les trois courbes de tendance ci-dessous (polynomiale d'ordre cinq) donne une image de la répartition des notes en fonction des deux populations (XF01 en trait plein et Classique en pointillé). Notons qu'en tant que courbes de tendance, ces dernières peuvent infidèlement traduire la réalité locale des chiffres bruts, mais en échange fournissent une vision générale de la répartition.

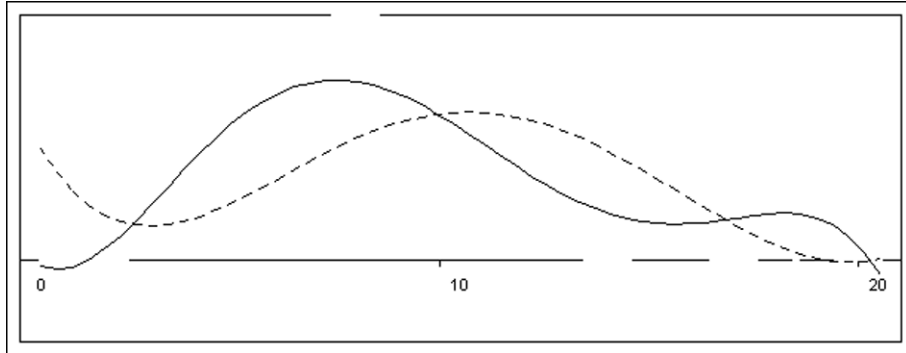


Figure 8 : Notes à l'examen final (1^{ère} expérience)

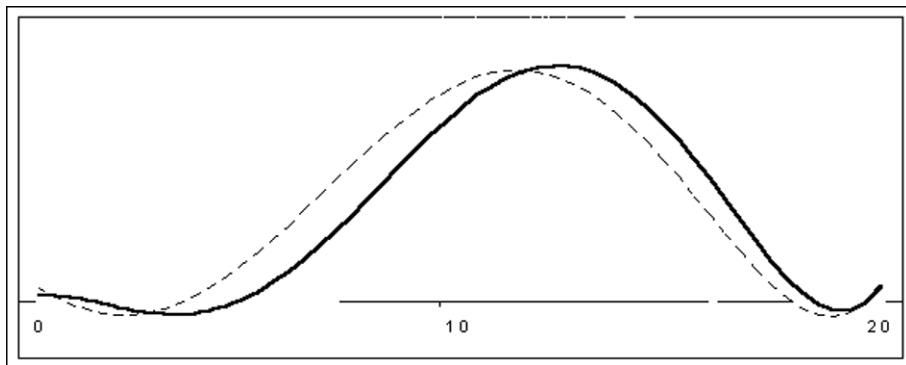


Figure 9 : Notes à l'examen médian (2^{ème} expérience)

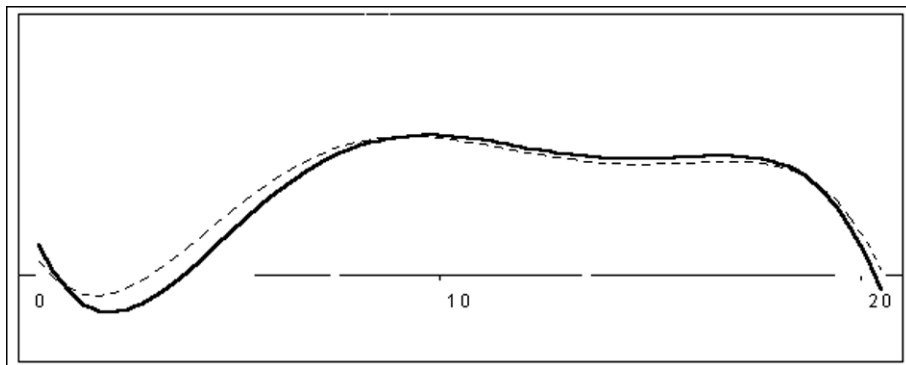


Figure 10 : Notes à l'examen final (2^{ème} expérience)

On observe les résultats suivants :

- La première expérience donne des résultats assez difficilement interprétables (l'examen atypique l'évaluant ajoutant un aléa). Les moyennes sont identiques pour les deux groupes, mais la répartition est chaotique. Pour le groupe XF01 les notes sont plus centrées autour de la moyenne (8,8) ou bien très bonnes. Pour le groupe classique les notes sont centrées au-dessus de la moyenne ou alors très mauvaises.
- Par contre, les notes sont visiblement meilleures dans le groupe XF01 pour la seconde expérience. On observe que les répartitions sont identiques (les courbes ont même allure dans les deux cas), mais décalées à droite pour XF01.

- Il y a moins de notes très basses dans le groupe XF01 pour les deux expériences, ce qui peut-être rapproché d’une plus grande motivation (pas d’abandon).

On observe que les résultats aux examens sont globalement meilleurs dans les groupes XF01, surtout concernant la seconde expérience. Rappelons enfin que les résultats ne sont pas statistiquement significatifs, mais uniquement indicatifs.

5.6. ETUDE DES COÛTS

Bien que l’objet de notre travail soit exclusivement pédagogique, et donc non lié à des recherches de rentabilité financière, nous souhaitons dans cette dernière partie donner un aperçu du coût qu’aurait l’extension de notre expérience. L’intérêt étant d’en mesurer la faisabilité dans le contexte de notre système d’enseignement. Contrairement à ce que l’on pourrait penser, l’introduction d’un hypermédia en classe ne réduit pas a priori les coûts. Dans notre cas, le dispositif XF01 était plus coûteux que le dispositif classique. Nous ne traitons ici que des coûts relatifs à l’enseignement, sans parler des coûts associés à la production et à la maintenance du support. Les tableaux ci-dessous (Tableau 5, Tableau 6, Tableau 7) expriment les coûts par semaine en fonction de différents dispositifs possibles, pour une population de 100 étudiants. Notons que dans la dernière colonne des tableaux nous présentons les coûts équivalents en heures de Travaux Pratiques (1 heure de cours vaut 2,25 heures de travaux pratiques et 1 heure de travaux dirigés vaut 1,5 heures de travaux pratiques). On étudie trois dispositifs :

- Le dispositif classique (avec cours magistral)
- Le dispositif du type de celui mis en œuvre pour XF01 (séances avec un tuteur tel que le temps de cours en séances tutorées est supérieur au temps de TD dans le dispositif classique, mais inférieur au temps de TD+cours magistral)
- Un dispositif de formation à distance tel qu’également expérimenté à l’UTC [Crozat, Trigano, 99] renvoyant à distance une partie de la formation (consultation libre de l’hypermédia et questions via email) et prévoyant des regroupements occasionnels (ici deux heures par mois).

	Heure par semaine et par étudiant	Nombre de groupes	Heures totales par semaine	Equivalent travaux pratiques
<i>Cours magistral</i>	2	1	2	4,5
<i>Travaux dirigés</i>	2	4	8	12
<i>Travaux pratiques</i>	1	8	8	8
			total	24,5

Tableau 5 : Dispositif classique

	Heure par semaine et par étudiant	Nombre de groupes	Heures totales par semaine	Equivalent travaux pratiques
<i>Séances tutorées</i>	3	4	12	18
<i>Travaux pratiques</i>	1	8	8	8
			total	26 (+6%)

Tableau 6 : Dispositif séances tutorées

	Heure par semaine et par étudiant	Nombre de groupes	Heures totales par semaine	Equivalent travaux pratiques
<i>Séances tutorées</i>	0,5	4	2	2
<i>Tutorat à distance</i>	0,1	100	8	10
<i>Travaux pratiques</i>	1	8	8	8
			total	20 (-18%)

Tableau 7 : Dispositif à distance

Si l'on projète ces coûts pour des populations supérieures et en supposant que le cours magistral concerne 200 étudiants au maximum, on obtient la courbe de la Figure 11.

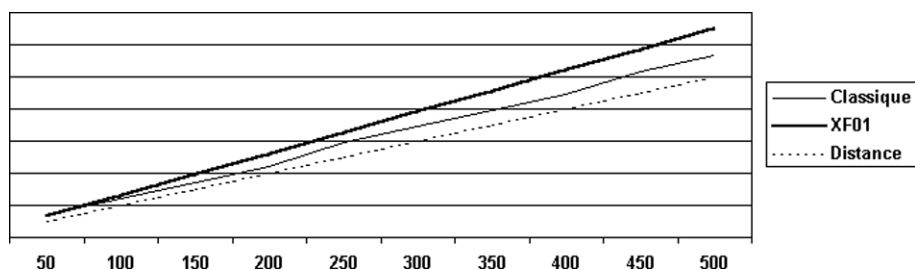


Figure 11: Coût en heures équivalent TP en fonction du nombre d'étudiants

On peut donc comparer ces dispositifs de formations en terme de coût et se rendre compte que la solution que nous présentons dans cet article est la plus coûteuse dans les configurations décrites. En effet plusieurs séances tutorées simultanées sont plus coûteuses qu'un seul cours magistral. Notons également que le travail personnel des étudiants n'est pas pris en compte dans cette évaluation. Il semble, même si cela n'a pas fait l'objet d'une étude rigoureuse, que le travail personnel à fournir est d'autant plus important que les heures d'encadrement sont réduites (donc la formation à distance demande plus de travail personnel que la formation type XF01, qui demande plus de travail que la formation classique).

5.7. BILAN

L'ensemble des résultats de ces évaluations montre que l'expérience est bien perçue par les acteurs (enseignants et apprenants) et que l'expérience donne des résultats plutôt positifs en terme de réussite. Il reste difficile de mesurer l'apport du support en tant que tel et l'apport de l'approche pédagogique (groupes restreints, implication des tuteurs, motivation liée au caractère innovant, ...). De même nous n'avons pas montré l'influence de la matière enseignée, qu'en serait-il avec des sciences humaines ? Reste néanmoins que cela prouve selon nous la faisabilité d'une telle innovation pédagogique moyennant la réalisation des conditions suivantes (les deux premières paraissant plus fondamentales que les deux autres) :

- Tuteurs qualifiés et motivés
- Réalisation d'un hypermédia structuré selon l'approche décrite ci-avant
- Investissement horaire supérieur
- Enseignement d'une matière technologique

6. CONCLUSION

La démarche de conception que nous avons élaborée et expérimentée est fondée sur une hypothèse documentaire : « Il est possible de structurer le contenu en unités logiques nécessaires et suffisantes » ; et sur une hypothèse pédagogique : « Il est possible d'exploiter un contenu ainsi structuré dans un cadre d'apprentissage ». Ce sont ces hypothèses, issues de l'étude de la nature du support, que nous avons explicitées dans une première partie, puis mises en œuvre dans le cadre de l'expérience XF01.

Il est important de noter qu'aucun autre postulat n'est fait quant à la nature du contenu et quant aux stratégies pédagogiques mises en œuvre. L'objet de notre travail est de pouvoir être exploité par des pédagogues et des experts du contenu afin qu'ils puissent

mettre en œuvre leur expertise dans le cadre de l'utilisation d'un support hypermédia. En d'autres termes nous n'apportons aucune expertise pédagogique, mais uniquement une approche pour mettre en œuvre une telle expertise pédagogique destinée à exploiter le numérique. Ainsi la stratégie pédagogique mise en œuvre dans le cadre de XF01 ne constitue qu'un exemple, et non un modèle, de ce qui peut être réalisé dans le cadre du modèle fondé sur les Unités Logiques.

Afin de continuer de développer notre modèle nous envisageons d'étendre son application à d'autres domaines, à la fois académiques (autres matières enseignées à l'université) et professionnels (une expérience est en cours pour l'application du modèle à des contenus destinés à la formation professionnelle pour le métier des assurances). Ces expériences nous permettront d'étendre la validité de notre modèle à des approches pédagogiques diverses, prouvant par là même son indépendance vis à vis de celles-ci. De même seule la répétition d'expériences de plus en plus larges permettra de valider réellement les apports et les conditions de l'introduction du support hypermédia dans le système pédagogique.

Nous étudions notamment la facilité de conception. En effet notre approche est basée sur une formalisation de l'information. Une dualité apparaît alors entre une formalisation poussée très contraignante mais permettant de mieux maîtriser la conception, et une formalisation plus souple, moins puissante, mais laissant plus d'espace d'expression aux auteurs. Les nouvelles expériences en cours tendent à nous montrer que les acteurs parviennent à adapter le modèle à leur contexte (public utilisateur, dispositif pédagogique, domaine, volumes, etc.) afin de trouver un juste milieu correspondant à leurs exigences.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [Bachimont, Charlet, 99] Bruno Bachimont, J. Charlet, « PolyTeX : en environnement pour l'édition structurée de photocopiés électroniques multisupports », EuroTeX'98, Saint-Malo, France, 1998.
- [Bachimont 99] Bruno Bachimont, « L'intelligence artificielle comme écriture dynamique : de la raison graphique à la raison computationnelle », in « Au nom du sens », Actes de Cerisy la Salle, Grasset, Ed Jean Petitot, 1999.
- [Balpe et al. 96] Jean-Pierre Balpe, Alain Lelu, Fabrice Papy, Imad Saleh, "Techniques avancées pour l'hypertexte", Hermès, Paris, 1996.
- [Crozat 98] Stéphane Crozat, "Méthode d'évaluation de la composition multimédia des didacticiels : Proposition pour l'analyse des documents, de la scénarisation et des impressions générales.", Mémoire de DEA, UTC, septembre 1998.
- [Crozat, Trigano 99] Stéphane Crozat, Philippe Trigano, « First Results from Distance Learning Experiment in Algorithmic. », CSCWD'99, Compiègne, UTC, septembre 1999.
- [Crozat et al. 99] Stéphane Crozat, Philippe Trigano, Olivier Hû, "EMPI : Une méthode informatisée pour l'évaluation des didacticiels multimédia", RIHM (Revue d'Interaction Homme-Machine), Ed° Europa, Vol. 1, N°2, Novembre 1999.
- [Forte et al. 97] Eddy N. Forte, Maria H. K. Wentland Forte, Erik Duval, « The ARIADNE Project : Knowledge pools for computer based & telematics supported classical, open & distance education », European Journal of Engineering Education 22, 1997.

- [Ghitalla 00] Franck Ghitalla, « La théorie des actes pédagogiques », Rapport Interne, UTC, 2000.
- [Goody 79] Jack Goody, « La raison graphique : La domestication de la pensée sauvage », Les Editions de Minuit, 1979.
- [Haber et al. 98] Benoît Haber, Cécile Fabre, Fabrice Issac, “De l’écrit au numérique: Constituer, normaliser et exploiter les corpus électroniques”, InterEditions, Masson, Paris, 1998.
- [Michard 99] Alain Michard, “XML : Langage et applications”, Eyrolles, Paris, 1999.
- [Stiegler 99] Bernard Stiegler, « Signifiante et calculabilité », Les signes et les techniques, Séminaire interdisciplinaire de sciences cognitives & épistémologie, UTC, janvier 1999.