

Faculté de Psychologie et Sciences de l'Education
Université de Genève

**Analyse de l'efficacité et du mode d'utilisation de
deux logiciels d'apprentissage pour la virologie de
base.**

Mémoire de diplôme d'Etudes Supérieures
en Sciences et Technologies
de l'Apprentissage et de la Formation
présenté par Daniel Scherly
sous la direction de Pierre Dillenbourg

Genève, octobre 1997

Remerciements.

Je remercie ma femme de sa patience devant la diminution de ma participation à la vie familiale durant ces deux années et mes deux enfants qui avaient de la peine à comprendre que leur papa puisse encore être à l'école et ait des devoirs à faire.

Mes remerciements vont aussi à:

Pierre Dillenbourg pour m'avoir introduit au monde de la création de logiciels éducatifs et pour le sérieux de son suivi tout au long de mon travail de mémoire,

Daniel Kolakofsky pour sa libéralité et la confiance qu'il m'a témoignée,

Grégoire Métral dont l'apport intellectuel et pratique a été essentiel pour la mise en place de la maquette de VIROLAB

Laurent Roux pour son enthousiasme et l'expertise de la connaissance du domaine qu'il a mis dans VIROLAB,

l'ensemble des enseignants TECFA pour avoir créé un diplôme passionnant.

Plan du mémoire

| | |
|--|-----------|
| Plan | 03 |
| Introduction | 06 |
| Partie 1: Cadre de référence théorique | 07 |
| 1. Les hypertextes | 07 |
| 1.1. Introduction | 07 |
| 1.2. Aspects techniques | 07 |
| 1.2.1. L'interface utilisateur graphique | 08 |
| 1.2.2. La recherche des informations | 08 |
| 1.3. Apprendre avec un hypertexte | 09 |
| 1.3.1. Un modèle de la lecture | 10 |
| 1.3.2. Facteurs influençant l'apprentissage avec un hypertexte | |
| A. Connaissances préalables | 10 |
| B. Charge cognitive | 12 |
| C. Croyances épistémiques | 13 |
| D. Caractéristiques de l'interface | 13 |
| E. La tâche | 13 |
| F. Le domaine | 13 |
| 1.4. Un souffle constructiviste sur le design d'hypertextes | 14 |
| 1.4.1. Les théories | 14 |
| A. La théorie de flexibilité cognitive | 14 |
| B. L'apprentissage en contexte | 15 |
| C. L'apprentissage cognitif | 15 |
| 1.4.2. Les applications | 16 |
| A. Conceptually-indexed hypertext learning environment | |
| B. Hypertexte pédagogique et parcours orienté | 17 |
| 1.4.3. Constructivisme et hypermédia: pièges à éviter | 18 |
| 1.5. Synthèse | 19 |
| 2. Les environnements d'apprentissage. | 20 |
| 2.1. Introduction: instructionnisme et constructivisme | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2. La conception d'environnements d'apprentissage instructionnistes | |
| 2.2.1 Les conditions de l'apprentissage: Gagné | 22 |
| 2.2.2. ACT*: Aderson | 22 |
| 2.3. La conception d'environnements d'apprentissage constructivistes | |
| 2.3.1. Un micromonde radical: LOGO | 24 |
| 2.3.2. Des micromondes pragmatiques | 25 |
| A) éléments de design | 25 |
| B) deux réalisations | 26 |
| 2.4. Synthèse | 31 |
| Partie 2: Matériel et méthode | 32 |
| 4. Deux logiciels pour l'apprentissage de la virologie | 32 |
| 4.1. VIROLAB | 32 |
| 4.2. L'hypertexte | 38 |
| 4.3 VIROLAB/Hypertexte: différences et similitudes | 43 |
| 5. Questions de recherche et moyens d'investigation | 44 |
| 5.1. Question 1: efficacité de l'outil | 44 |
| 5.2. Question 2: mode de lecture | 45 |
| 6. Dispositif expérimental | 46 |
| Partie 3: Résultats | 48 |
| 7. Efficacité de VIROLAB versus l'hypertexte | 48 |
| 7.1. Analyse globale | 48 |
| 7.2. Analyse par catégories | 51 |
| 7.2.1. Questions de type Virolab | 51 |
| 7.2.2. Questions de type hypertexte | 51 |
| 7.2.3. Effet d'interaction | 52 |
| 7.3. Analyse de questions particulières | 52 |
| 8. Analyse des traces de navigation | 54 |
| 8.1. Analyse intergroupe | 54 |
| 8.2. Analyse intragroupe par catégorie fort/faible | 55 |
| 8.3. Analyse par épisodes | 56 |

| | |
|--|-----------|
| 9. Discussion | 57 |
| 9.1. Efficacité | 57 |
| 9.2. Navigation | 58 |
| 9.3 Conclusion | 60 |
| | |
| Bibliographie | 61 |
| Annexes | |
| 1. Questions des pre- et post-tests | |
| 2. Exemple de trace de navigation dans Virolab | |
| 3. Consignes de travail pour les groupes VIROLAB et hypertexte | |
| 4. Questionnaire d'évaluation des environnements d'apprentissage | |

Introduction

Le contexte technologique actuel n'a jamais été aussi favorable à l'utilisation des ordinateurs pour l'enseignement et l'apprentissage. La vitesse des micro-ordinateurs double tous les six mois, leur capacité de stockage augmente presque dans les mêmes proportions, le tout pour un prix qui va en diminuant. Cependant le progrès technologique le plus impressionnant est sans doute celui de la connexion de toutes ces machines en un immense réseau planétaire, le WWW.

A l'heure où l'on produit des hypertextes avec la même facilité qu'un texte avec un traitement de texte, les établissements scolaires se tournent vers les hypertextes pour fournir leur matériel d'apprentissage aux élèves. On voit facilement tous les avantages que procure ce mode de diffusion, mais si on en restait là, l'ordinateur ne serait utilisé que comme un véhicule d'information. Ce serait passer à côté des formidables possibilités de créer des environnements d'apprentissage riches où l'apprenant n'est pas un simple lecteur/récepteur comme il l'a presque toujours été, mais un apprenant actif ou, du moins, dont l'activité est incitée par tous les artifices techniques réalisables avec les ordinateurs d'aujourd'hui.

Ce travail compare l'efficacité et le mode d'utilisation de deux outils informatiques destinés à l'apprentissage de notions de base en virologie. Le premier est un environnement d'apprentissage proche des micromondes (VIROLAB) et le deuxième est un hypertexte.

La première partie de ce document présente les fondements théoriques de chacune de ces deux familles d'outils d'apprentissage. Les propositions pratiques issues de ces théories y seront exposées et leur utilisation sera illustrée par la description de réalisations concrètes.

La deuxième et la troisième partie présentent le dispositif expérimental et les résultats de l'étude comparative décrite ci-dessus.

Partie 1: Cadre de référence théorique

1. Les hypertextes

1.1. Introduction

Dans sa revue, Balasubramanian (1994) définit les hypertextes ou hypermédias comme des systèmes de gestion d'informations stockées dans un réseau de noeuds reliés entre eux. Les noeuds peuvent contenir du texte, des graphiques, du son, de la vidéo, des programmes et autres types de données. Les systèmes hypertextes permettent d'accéder à l'information d'une manière non séquentielle et extrêmement flexible en incorporant les notions de navigation, d'annotation et de présentation adaptée à l'utilisateur.

Parler des systèmes hypertextes aujourd'hui, c'est parler du World Wide Web. Pourtant le WWW est considéré comme un intru dans la communauté des chercheurs sur les hypertextes. Dans son discours d'ouverture de la huitième conférence sur les hypertextes 1997, John B. Smith (Smith, 1997) résume l'état d'esprit de cette communauté: « Many members view the Web as an intrusive, unwelcome guest who insists on making his or her point of view prevail. Ignoring the hard-won knowledge of this community, the WWW has simplified the data model, ignored problems of large-scale navigation, and declared that link integrity is irrelevant. Consequently, many wish that it would go away so that they could continue their studies along familiar paths. Since it hasn't, they have begun to adapt their work to it, but often grudgingly and with the least accommodation possible. » Nous décrivons donc quelques thèmes et résultats de recherches qui semblent venir du passé mais qui sont fondamentales au sens propre du terme: elles posent les fondements théoriques des applications des systèmes hypertextes. Dans un premier temps nous ferons un tour rapide sur les considérations techniques liées à la construction d'un hypertexte. Ensuite nous discuterons plus en détail de l'utilisation d'hypertextes pour l'apprentissage. Ceci nous conduira aux différentes théories de l'apprentissage et l'incorporation de leurs idées dans la conception d'hypermédia.

1.2. Aspects techniques

Nous l'avons dit, un hypertexte est fait de noeuds (concepts) et de liens (relation entre deux noeuds). Les noeuds sont connectés entre eux par des liens. Le noeud qui est à l'origine d'un lien s'appelle la référence et le noeud vers lequel le lien arrive s'appelle l'ancre ou le référent. Le contenu d'un noeud est visualisé en activant le lien. Le lien a deux fonctions: il est le pont entre deux noeuds et représente la relation sémantique entre ces deux noeuds.

Cependant certains auteurs, dont Halasz (1987), estiment que ces caractéristiques ne sont pas suffisantes pour définir un hypertexte et que les composantes de bases désirables sont:

- 1) une interface utilisateur graphique (GUI) qui permette de naviguer à l'intérieur de l'espace informationnel
- 2) un système auteur permettant de créer et gérer les noeuds et liens

- 3) un système de recherche d'information (Information Retrieval System, IRS)
- 4) un moteur (machine) hypermédia qui gère les informations sur les noeuds et les sert lors de requêtes
- 5) un système de stockage qui peut être un système de fichiers ou une base de donnée.

Nous allons discuter plus en détail les points 1 et 3.

1.2.1. L'interface utilisateur graphique.

Une bonne interface utilisateur est absolument essentielle pour pouvoir utiliser d'une manière optimale un hypertexte. En effet, les problèmes de désorientation et de surcharge cognitive sont les deux maux associés d'une manière récurrente aux hypertextes. Afin de limiter ces problèmes, plusieurs outils de navigation ont été proposés.

Les butineurs graphiques (graphical browser) permettent de visualiser le réseau avec plus ou moins de détail. Cette visualisation prend en général la forme de cartes globales et locales. En général, ces butineurs sont garnis de plusieurs fonctionnalités supplémentaires:

- système qui permet de revoir dans un ordre chronologique inverse les noeuds précédents. Cela peut se faire grâce à un bouton qui permet de faire défiler un à un les noeuds précédents ou grâce à une liste qui contient l'historique des noeuds visités.
- système qui permet de visualiser le contexte d'un noeud (noeuds précédents et suivants, noeuds associés)
- système de signets qui permet de marquer certains noeuds afin d'y accéder rapidement
- système de coches qui marque les pages vues. Un système de datation, indiquant quand un noeud a été vu, peut aussi être ajouté.
- certains butineurs sont pourvus de *visites guidées* qui sont organisées en fonction de thèmes ou de l'utilisateur.

1.2.2. La recherche des informations.

Trouver l'information en navigant ou feuilletant n'est efficace que sur de petits hypertextes. Pour les grands hypertextes, il est absolument nécessaire de disposer de systèmes de recherche d'informations (IRS).

La façon conventionnelle de rechercher de l'information est ce que l'on appelle la recherche de contenu (full text search). Elle est basée sur l'utilisation de mot-clés, de mots ayant des poids fondés sur leur propriété statistique et le rangement des documents trouvés en fonction de leur probabilité de signification.

Cette recherche d'information se fait en trois étapes (De Bra, 1997):

1. formulation de la requête: l'utilisateur doit exprimer exactement quelle information il recherche. Cette requête peut se faire à l'aide d'opérateurs booléens. Cette étape est critique, car une formulation trop générale retournera trop de documents alors que si elle est trop spécifique, la recherche peut ne pas aboutir.

2. recherche des documents: cette opération se fait sans problème sur un hypertexte centralisé, mais devient beaucoup plus compliquée pour les hypertextes distribués comme le WWW
3. probabilité de signification: le système doit déterminer si un document contient l'information que l'utilisateur recherche.

Pour les grands hypertextes centralisés, plusieurs mécanismes d'indexage peuvent être employés pour accélérer la recherche. Un de ces mécanisme est celui du « fichier inversé » (inverted file). Un fichier texte peut être considéré comme un tableau de lignes. Ainsi pour chaque mot du fichier, une liste contenant le numéro des lignes dans lesquelles le mot apparaît est créée. A la place des numéros de lignes, d'autres unités peuvent être utilisées, comme l'adresse des liens dans un hyperdocument.

L'indexage du WWW ne peut se faire qu'au moyen de robots (Lynch, C. 1997). Régulièrement ces robots parcourent l'ensemble du WWW pour en rapatrier les documents. Ces documents sont examinés afin d'en extraire une information indexable qui décrit au mieux le document (mots les plus fréquents, mots clés, etc.). Ces informations sont ensuite stockées dans une base de données avec l'adresse du document correspondant.

1.3. Apprendre avec un hypertexte.

Les théories actuelles sur les processus cognitifs humains proposent que nos connaissances sont organisées en un réseau sémantique dont les concepts (noeuds) sont reliés par des associations (Lindsay et Norman, 1980, Badley, 1993). Sur la base de la similarité entre la structure de l'organisation de notre mémoire et celle d'un hypertexte, il est (était) souvent admis dans la communauté des chercheurs sur les hypertextes que, pour l'apprentissage, les hypertextes sont supérieurs aux textes linéaires.(Jonassen, 1991 cité dans Jonassen, 1993, p 2). Cependant cette croyance a été battue en brèche par de nombreuses expériences (Rouet, 1992) et est ironiquement regardée par certains (McKendree et al.) comme une réminiscence de la pensée médiévale où l'on pensait que l'apparence ou les effets de certaines plantes médicinales devaient ressembler aux symptômes ou aux organes qu'elles étaient censées traiter (Foucault, 1966). Une cause ne ressemble pas nécessairement à ses effets. Ainsi, par exemple, plusieurs tentatives ont été faites de transférer la structure sémantique d'un expert dans la structure informative d'un hypertexte avec l'espoir, qu'en rendant cette structure explicite (par des cartes), la compréhension du texte en serait augmentée. Ces espoirs n'ont pas été confirmés par l'expérience (Jonassen et Wang, 1993).

En fait, l'efficacité des hypertextes dépend de nombreux facteurs tels que les caractéristiques de l'utilisateur, de l'interface et de la tâche.

Après une description des processus cognitifs qui sont à la base de la compréhension d'un texte, nous discuterons des facteurs qui influencent l'efficacité d'un hypertexte dans l'apprentissage.

1.3.1. Un modèle de la lecture.

Il semblerait que la compréhension d'un texte passe par quatre niveaux: lexical, syntaxique, sémantique et pragmatique (Rada, 1991 cité dans Balasubramian, 1994).

Au niveau lexical, le lecteur détermine la définition de chaque mot rencontré. Au niveau syntaxique, le sujet, l'action et l'objet d'une phrase sont déterminés. La signification d'une phrase est déterminée au niveau sémantique. Finalement, l'interprétation pragmatique d'un texte dépend de la confrontation avec les modèles mentaux du lecteur. « Les modèles mentaux sont des représentations construites par les sujets au fil de leurs expériences; celles-ci sont actives lors de la lecture d'un texte, ce qui implique l'incorporation d'expériences précédentes dans le processus de lecture et de compréhension. » (Grob, 1997).

Il faut noter que le découpage de la lecture en quatre niveaux distincts n'existe que dans la théorie et que dans la pratique, ces niveaux interagissent continuellement et ne peuvent pas être réellement séparés. La compréhension passe par des allers et retours en ces quatre niveaux. Traitement et compréhension du texte sont étroitement mêlés. Ainsi, en lisant, le lecteur fait des inférences à petite échelle à partir de petites unités d'informations (relation entre les mots, phrases), autrement dit, il établit une cohérence locale dans la mémoire à court terme. Le lecteur fait des hypothèses préliminaires basées sur les titres, mots, propositions et sur sa connaissance du monde réel. Un système de contrôle active et récupère les connaissances préalables stockées dans la mémoire à long terme afin de filtrer les informations qui s'accumulent dans la mémoire à court terme. Ces hypothèses sont affinées au fur et à mesure de la lecture, le système de contrôle étant continuellement actif. Ces propositions sont assemblées en des structures plus grandes appelées cohérences globales. C'est sur ces dernières structures que se base la compréhension d'un texte.

La construction d'une représentation mentale cohérente ainsi que les connaissances préalables ont d'importantes conséquences pour la navigation ; nous allons le voir dans la partie suivante.

1.3.2. Facteurs influençant l'apprentissage avec un hypertexte

A. Connaissances préalables

Les travaux en psychologie cognitive ont formellement démontrés que ce que l'on est capable d'apprendre et retenir d'un nouveau domaine dépend fortement des connaissances que l'on a préalablement sur ce sujet (Bransford et Johnson, 1972 cités dans Norman et Schmidt, 1992, p 559). Ceci s'applique bien évidemment à l'apprentissage avec un hypertexte et ceci à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, nous l'avons vu ci-dessus, la compréhension d'un texte dépend fortement des connaissances préalables (Alexander et al., 1994)

En outre, il a été montré que les sujets ayant une grande connaissance préalable du domaine sont ceux qui sont les plus indépendants de la structure d'un hypertexte et le mieux à même de profiter d'une liberté de contrôle de la navigation (Lodevijks cité dans Rouet, 1992; Lawless et Kulikowich, 1994; Lawles et Kulikowich, 1996; Dillon, 1991 cités dans Lawless et Brown, 1996; Schroeder et Grabowsky, 1995). Les utilisateurs experts ont tendance à voir plus de noeuds, à y passer plus de temps et à

sauter souvent dans l'espace informationnel. Par contre les sujets novices, qui ont peu de connaissances préalables, manifestent le symptôme bien connu de **désorientation**. Il se manifeste par une consultation rapide de plusieurs noeuds successifs (balayage), par le fait que les utilisateurs collent à la structure de l'hypertexte et suivent les liens proposés d'une manière linéaire. Conklin (1987) décrit cette désorientation comme étant le reflet du sentiment de ne pas percevoir la relation entre le noeud vu et le reste du réseau ou d'être incapable de trouver un noeud que l'on sait exister dans le réseau. Afin de remédier à ce problème, un soutien de la part du système devrait être offert aux utilisateurs. Ces soutiens peuvent avoir la forme de visites guidées, de cartes montrant les relations entre les différents concepts, de compteurs indiquant l'exhaustivité de la consultation ou d'historique des pages vues (Shin et al, 1994; Schroeder et Grabowsky, 1995).

Outre les connaissances du domaine, la familiarité avec l'outil informatique influence aussi grandement l'efficacité avec laquelle un hypertexte est utilisé. Ainsi Rouet (Rouet, 1991 cité dans Rouet, 1992) montre qu'après une période d'adaptation avec l'hypertexte, des élèves de 11 à 15 ans améliorent substantiellement la recherche d'informations (temps de recherche diminue avec le temps et l'efficacité (rapport réponse/temps de recherche d'info.) augmente). Dès lors, la non familiarité avec les hypertextes a pu occulter les résultats de nombreuses expériences qui n'ont pas pu montrer une supériorité de l'hypertexte par rapport au document linéaire.

Un travail expérimental de Barab (Barab et al., 1996) montre que contrairement à la compréhension d'un texte, la recherche d'informations ne semble pas être dépendante de connaissances préalables. Ces résultats supporteraient l'hypothèse selon laquelle compréhension d'un texte et recherche d'informations sont deux activités cognitives séparées (Guthrie et Kirsch, 1987 cités dans Barab, 1996).

Dans la plupart des cas, le concepteur d'un hypertexte ne connaît pas exactement le public qui utilisera son outil. Il se trouvera confronté aux dilemmes suivants: faut-il un hypertexte fortement structuré (hiérarchique) ou peu structuré (en réseau); faut-il laisser une grande ou une faible liberté de contrôle à l'utilisateur ? Tout est question de balance. En fait, l'hypertexte idéal devrait pouvoir s'adapter à l'utilisateur en fonction de son niveau, de ses besoins; nous verrons plus loin que de telles approches sont en cours d'étude.

Le problème de désorientation est intimement lié à un deuxième problème: celui de la charge cognitive.

B. Charge cognitive.

Sweller a observé que, face à un problème, le novice tend à mettre toutes ses ressources intellectuelles pour trouver les moyens de résoudre ce problème particulier plutôt que d'accorder une part de son attention à l'analyse de la structure du problème. Cette tendance peut ainsi interférer sur l'apprentissage et retarder l'acquisition de schémas propres aux experts. Etant donné nos capacités cognitives limitées, il peut y avoir incompatibilité entre les activités de résolution de problèmes et celles d'apprentissage si nos capacités intellectuelles sont surchargées (cognitive

load) par la mécanique complexe de résolution de problèmes (Sweller et Chandler, 1991 et références à l'intérieur). En terme de conception de stratégie et d'outil d'apprentissage, cette théorie propose de limiter au maximum tous les éléments qui peuvent surcharger notre attention (par exemple: éviter des buts trop précis, intégrer des sources d'informations disparates, éviter la redondance d'informations).

Les hypertextes ont été critiqués comme étant des systèmes augmentant la charge cognitive de l'utilisateur. Ce dernier doit se rappeler les liens qu'il a activés précédemment et connecter ces informations en un tout cohérent. L'utilisateur doit découvrir et se rappeler des conséquences de la poursuite d'un certain chemin, où il conduit et quel type d'informations il fournit (Heller, 1990 cité dans Schroeder et Grabowski, 1995, p 327). Ce double niveau de traitement (niveau du contenu / niveau des relations) crée une charge cognitive importante et un phénomène de désorientation. Mais, comme le relève Tricot, « deux questions se posent, sans réponse dans la littérature sur les hypermédias: comment évalue-t-on la charge cognitive ? quels aspects des hypermédias influent sur la charge cognitive du sujet en train de traiter un tel document ? (Tricot, 1995, p 33).

En adoptant un autre point de vue, une certaine charge cognitive pourrait être profitable à l'utilisateur, dans le sens que cette situation pousse celui-ci à opérer des mises en relation entre les éléments du texte, ce qui est, en fin de compte, favorable à l'apprentissage. Cependant cette liberté de navigation devrait être contrôlée par l'enseignant et modulée en fonction des utilisateurs (Grob, 1997).

C. Croyances épistémiques.

Le concept de croyances épistémiques est défini comme étant l'idée que l'apprenant se fait de la nature de l'apprentissage et de la connaissance. Selon Jacobson (Jacobson et al., 1995), les étudiants ayant des croyances épistémiques simples (c.à.d. ceux qui s'attachent à apprendre par coeur du matériel pré-organisé) sont moins capables d'apprendre et d'appliquer leurs connaissances après avoir utilisé un hypertexte que les étudiants qui possèdent des croyances épistémiques plus complexes (c.à.d. ceux qui activement construisent une structure de connaissances personnelles et non linéaires). Il s'ensuit que les hypertextes sont des outils d'apprentissage moins bien adaptés pour les étudiants ayant des croyances épistémiques simples que pour ceux ayant des croyances épistémiques plus complexes.

D. Caractéristiques de l'interface.

Très souvent l'ordinateur offre une assistance à la lecture de texte. Cette assistance peut prendre la forme de la définition des mots du texte à la demande, ou la présentation d'un texte en multi-couches ce qui permet d'afficher plus ou moins de détails (Rouet, 1992). Cependant, l'utilité de cette assistance dépend de nombreux facteurs. Ainsi, suivant l'âge et l'expérience préalable, l'assistance est plus efficace si elle est contrôlée par l'ordinateur dans le cas d'utilisateurs jeunes ou inexpérimentés alors qu'elle est plus efficace si elle est contrôlée par l'utilisateur si celui-ci est plus âgé ou expérimenté.

Il est également important que l'aide soit clairement signalée, accessible immédiatement et non ambiguë.

E. La tâche.

La tâche associée à un hypertexte contraint la navigation (navigation ciblée) et, de ce fait, à un rôle structurant.

Dans une recherche récente, Zeller (Zeller, 1996) a comparé les modes de recherche d'informations dans un hyperdocument en fonction de deux situations. Dans la première situation, les utilisateurs devaient tout d'abord répondre à une série de questions (pre-test) concernant le domaine à étudier, puis on leur disait qu'ils devraient répondre à ces mêmes questions (post-test) après avoir utilisé un hyperdocument (exploration libre). Dans la deuxième situation, les utilisateurs devaient répondre aux mêmes questions que les utilisateurs de la première situation, puis ces questions leurs étaient présentées d'une manière séquentielle et intégrée dans l'hyperdocument (exploration guidée par les questions). L'analyse des traces de navigation montre que les sujets ayant exploré librement l'hyperdocument (première situation) visitent plus volontier le didacticiel de manière séquentielle en utilisant le bouton « suite ». Ils s'écartent peu d'un itinéraire structuré par l'auteur du logiciel et présentent un parcours assez exhaustif. Par contre les sujets dont l'exploration du logiciel était structurée par un questionnaire effectuent des parcours en étoile autour de la « carte » (schéma montrant la structure du réseau hypertexte) du didacticiel. A cause des relectures fréquentes, il visitent le didacticiel de manière moins exhaustive.

Barab observe le même phénomène dans une expérience où des utilisateurs d'une borne interactive (celle-ci renseignait les étudiants sur les services offerts dans le campus) doivent soit résoudre cinq problèmes (problèmes organisationnels typiques rencontrés par les nouveaux venus dans le campus) en recherchant des informations dans la borne soit simplement s'informer en utilisant cette borne interactive. Comparés aux étudiants qui explorent la borne d'une manière libre, les étudiants qui doivent résoudre un problème ont une recherche ciblée, voient moins d'écrans et passent moins de temps dans la consultation de la borne interactive. (Barab et al, 1996).

F. Le domaine.

Outre la nature de la tâche, la nature du domaine présenté dans un hypertexte pourrait aussi influencer le mode de navigation. Les domaines bien structurés (p.ex. mathématiques, physique) sont algorithmiques par nature alors que les domaines peu structurés (p. ex. littérature, psychologie) sont heuristiques par nature. Ces différences pourraient ainsi influencer la navigation dans l'hypertexte, cependant aucune donnée qualitative sur ce sujet n'a été publiée et devrait être l'objet de recherches futures (Barab et al.,1996).

1.4. Un souffle constructiviste sur le design d'hypertextes.

La prise en compte des facteurs mentionnés ci-dessus, le développement des théories en sciences cognitives et la recherche dans l'apprentissage au moyen de systèmes à base technologique fournissent des cadres conceptuels sur lesquels les développeurs d'hypermédiâs peuvent s'appuyer. On verra que l'hypertexte seul n'est plus considéré comme outil d'apprentissage, mais que celui-ci est soit structuré par une tâche qui lui est associée, soit intégré dans un outil plus complexe. Les caractéristiques de l'utilisateur sont prises en compte soit par une présentation variée du domaine, soit par une analyse de son comportement.

Deux théories semblent particulièrement influentes: la théorie de flexibilité cognitive (cognitive flexibility theory) et celle de l'apprentissage en contexte (situated cognition theory).

1.4.1. Les théories.

A. La théorie de flexibilité cognitive (CF).

Cette théorie a été originellement formulée afin d'identifier les facteurs qui rendent l'acquisition de connaissances complexes difficiles (Jacobson et al., 1995 et références à l'intérieur).

La théorie CF propose que les connaissances complexes (non structurées) sont plus facilement utilisables (d'où le terme de « flexible ») dans de nouveaux contextes si l'on utilise des moyens d'apprentissage basés sur des cas concrets (case-based learning environment). Ces moyens d'apprentissage ont les caractéristiques suivantes:

- a) présentent la matière de plusieurs façons différentes
- b) introduisent les concepts abstraits dans des cas traités afin de montrer l'application des connaissances théoriques (knowledge-in-use)
- c) démontrent la structure profondément interconnectée de toutes connaissances
- d) insistent sur la participation active de l'utilisateur dans la construction d'une connaissance personnelle
- e) introduisent des cas complexes tôt dans le processus d'apprentissage

Cette théorie s'inspire de la métaphore proposée par Wittgenstein (Wittgenstein, 1953): le quadrillage, le parcours en long et en large (criss-crossing) du paysage conceptuel. Cette métaphore suggère que l'apprentissage repose sur l'appréhension du domaine depuis plusieurs points de vue intellectuels, de la même façon que pour bien connaître une région, il faut la parcourir en long et en large, la contempler depuis plusieurs points de vue. Par extension, on peut concevoir métaphoriquement les trois dimensions d'un paysage conceptuel comme étant composé d'une surface (par exemple les caractéristiques de surface d'un cas ou d'un contexte bien précis) et d'une composante structurelle le long de la troisième dimension (modèles mentaux, schémas, connaissance conceptuelle). Seul un quadrillage du domaine dans ces trois dimensions permettrait un apprentissage profond (Jacobson et al., 1995).

B. L'apprentissage en contexte.

Les connaissances acquises à l'école sont en général déconnectées de leur utilisation en situation réelle. Il en résulte que ces connaissances sont mal intégrées et

restent trop souvent liées à la surface de problèmes tels que ceux présentés dans les manuels ou en classe.

Partant de ces constatations, tout un mouvement s'est développé autour d'une notion centrale: l'activité cognitive humaine est fondamentalement située dans un contexte d'activité. Dans les situations d'apprentissage la nature de cette activité doit être significative, proche d'une situation concrète où la connaissance à acquérir s'applique. Plusieurs méthodes basées sur un apprentissage en situations authentiques ont vu le jour. On peut citer la méthode de l'apprentissage réciproque qui a été utilisée avec succès pour l'apprentissage de la lecture (Palincsar et Brown, 1984), l'apprentissage cognitif (Collins et al., 1987) et l'apprentissage ancré (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990). Nous présentons avec un peu plus de détails la méthode d'apprentissage cognitif (CA) car un cadre de travail pour le développement d'environnements d'apprentissage a été proposé (Collins et al., 1987).

C. L'apprentissage cognitif (CA)

C'est par l'observation de méthodes d'enseignement utilisées dans un cadre non scolaire, comme celui de l'apprentissage traditionnel (apprentissage d'un métier sous la conduite d'un maître d'apprentissage) que la méthode CA a été élaborée.

Cette méthode a pour but premier d'enseigner les processus (*modeling*) que les experts utilisent pour s'attaquer à des problèmes complexes. Les connaissances qu'elle dispense sont, idéalement, toujours situées dans leur contexte d'utilisation. Cette méthode implique aussi que les processus de pensée de l'expert et de l'élève soient externalisés (métacognition). Pour ce faire, l'apprentissage cognitif propose le travail alterné du novice et de l'expert dans la résolution d'un problème. Cette alternance élève-maître doit conduire ensuite à une réflexion sur les différences de performances des deux acteurs. De même l'apprentissage cognitif privilégie le travail en groupe où les étudiants deviennent tour à tour acteur (producteur) et critique. Ces méthodes permettent à l'élève de s'auto-corriger et s'auto-contrôler au fur et à mesure du processus d'apprentissage, affinant ainsi ses connaissances et devenant de plus en plus indépendant. L'enseignant intervient comme guide (*coaching*) et retire peu à peu son aide quand l'apprenant devient autonome (*fading*).

Afin d'aider à la mise en pratique de cette théorie, quatre pistes à explorer ont été proposées:

1. Contenu

Cette dimension explore les différentes stratégies de présentation des connaissances du domaine ainsi que celles des connaissances spécifiques de l'expert. On peut distinguer:

- les *connaissances du domaine*: scolaire
- les *connaissances stratégiques*:
 - les stratégies heuristiques: trucs et astuces de l'expert
 - les stratégies de contrôles du bon accomplissement de la tâche
 - les stratégies d'apprentissage: comment apprendre

2. Méthodes

Cette dimension se rapporte aux méthodes d'enseignement qui donnent aux étudiants la possibilité d'observer, d'utiliser, d'inventer ou de découvrir les stratégies que l'expert utilisent dans la résolution de problèmes. On peut mentionner:

- *modélisation*: observation du maître en train de résoudre un problème
- *guidage* par le maître
- *étayage*: coopération entre le maître et l'élève dans la résolution de problèmes, l'aide apportée est graduellement retirée (fading) à mesure que l'autonomie de l'élève s'accroît.
- *articulation*: l'élève doit extérioriser son mode de penser
- *réflexion*: l'élève compare sa stratégie de résolution de problèmes avec celle des autres
- *exploration*: pousser les élèves à résoudre les problèmes de manière indépendante

3. Séquence

Cette dimension se réfère aux différentes façons d'augmenter graduellement la *complexité* et *variété* des tâches en fonction du développement de l'élève au cours de l'apprentissage. On préfère les *compétences globales avant les locales*.

4. Sociologie

Cette dimension concerne l'environnement social, le contexte de l'apprentissage. On insiste sur l'*apprentissage en situation* et le *travail coopératif*.

1.4.2. Les applications.

A. Conceptually-indexed hypertext learning environment.

Jacobson (Jacobson et al., 1995, 1996) décrit la conception d'un environnement d'apprentissage hypertextuel basé sur les théories cognitives mentionnées ci-dessus. Cet environnement utilise trois éléments de design:

- 1) des documents basés sur des cas concrets (case-based hypertext material): ceci permet de présenter la connaissance d'un domaine sous plusieurs angles et dans des contextes différents.
- 2) un indexage conceptuel et des liens variables: l'indexage conceptuel consiste à marquer les documents avec des concepts cognitifs abstraits (comme les notions de thèmes, schémas, modèle mental). Par exemple, tous les passages des documents qui partagent le même thème peuvent être affichés dans un index en regard du document principal. Ainsi plusieurs liens variables peuvent être associés avec un document. Cette idée de liens variables permet de représenter un concept dans les différentes situations où il est utilisé, une façon de faire uniquement réalisable dans un hypertexte. On peut noter que la compagnie Voyager utilise aussi ce système d'indexage par thèmes pour ces livres interactifs (voir la série de CD-ROMs: First Person).
- 3) des commentaires sur les thèmes: il s'agit d'une petite explication sur comment un concept cognitif (par ex. un thème) s'applique dans le cas du document étudié.

Deux utilisations pratiques d'un tel environnement d'apprentissage ont été réalisées. La première, Thematic Criss-Crossing, a pour but de montrer les différentes facettes du contenu d'un cours intitulé « Technology and the Twentieth Century: Impact on Society and Culture ». Son utilisation par des étudiants a montré que ces derniers obtenaient des performances supérieures dans une tâche de transfert de connaissances

que les étudiants d'un groupe contrôle ayant utilisé un hypertexte dépourvu des éléments de design mentionnés ci-dessus.

Un deuxième environnement (Jacobson et Archodidou, 1997) a été développé pour enseigner les idées neo-darwiniennes sur l'évolution biologique. Trois activités d'apprentissage ont été introduites dans cet environnement. La première, appelée « préparation cognitive », a pour but de préparer un changement conceptuel chez l'étudiant, c.à.d. le passage d'une conception souvent naïve aux idées neo-darwiniennes sur l'évolution. Cette activité est basée sur des textes explicatifs et des expériences à réaliser. La deuxième, appelée « amorce de transfert de connaissance » a pour but de favoriser l'apprentissage de connaissances mobilisables. Il s'agit de questions de synthèse qui poussent l'étudiant à considérer les différents problèmes et conséquences de la théorie neo-darwinienne. Pour ce faire, il est guidé par un hypertexte à indexage conceptuel. La dernière activité est celle de la « résolution de problèmes assistée ». A partir de différentes affirmations (certaines écrites d'un point de vue naïf, d'autres en accord avec la théorie moderne de l'évolution), l'étudiant doit construire une explication à des problèmes d'évolution. Durant le processus de résolution de problèmes, l'étudiant est assisté (scaffolding) par des feedbacks sur ces choix.

B. Hypertexte pédagogique et parcours orienté.

Nous décrivons ci-dessous deux recherches qui utilisent les techniques de l'intelligence artificielle pour offrir à l'apprenant des passages pertinents d'un hypertexte et cela en temps opportun.

Des chercheurs de Lausanne (Forte et al., 1993) développent des hypertextes conçus comme aide théorique à l'utilisation de didacticiels scientifiques. Dans l'optique de ces chercheurs, ces hypertextes, qualifiés de pédagogiques, sont « des logiciels auxiliaires à consultation peu fréquente mais prolongée, présentant des connaissances théoriques ou descriptions de savoir destinés à une mémorisation à long terme et à une compréhension profonde » (p171).

L'originalité de ce système consiste en une présentation d'aide sous forme de parcours orienté généré dynamiquement en fonction du comportement de l'apprenant et de l'état du didacticiel. Il n'y a pas de construction d'un profil de l'apprenant, au sens des systèmes de tutoriels intelligents, mais une analyse en temps réel de toutes les informations disponibles (diagnostic comportemental). Cette analyse conduit à l'élaboration d'un diagnostic conceptuel puis à la proposition d'un parcours orienté. Le diagnostic conceptuel est une phase où le système détermine le ou les concepts théoriques qu'il faut proposer à l'apprenant pour l'aider à atteindre le but fixé dans l'énoncé du didacticiel. Il se base sur l'identification du concept sur lequel l'apprenant a buté (concept sensible) et la mise en application de règles de didactique pour trouver l'enchaînement d'une séquence pédagogique pertinente (séquence auxiliaire). Une fois le diagnostic conceptuel posé, le système examine sa base de données faites de deux listes:

- une liste de tous les noeuds de l'hypertexte, avec pour chaque noeud, les concepts y associés,
- une liste de tous les concepts mentionnés dans l'hypertexte, avec pour chaque concept les noeuds y faisant référence.

Le système exploite ces deux listes pour afficher un parcours orienté aussi proche que possible de celui du diagnostic ou, à défaut, dans l'ordre chronologique où les noeuds figurent dans l'hypertexte pédagogique.

Dans le même registre, le groupe TECFA de l'Université de Genève, a exploré les possibilités d'intégration d'un système hypertexte dans des environnements d'apprentissage complexes (ayant des composantes micro-monde et tutorielle) tels que ETOILE et MEMOLAB (Schneider, 1993). Il s'agit d'environnements à initiative mixte où l'apprenant doit résoudre un problème (dans MEMOLAB, par exemple, la conception de plans d'expériences en psychologie). Pour ce faire, il est assisté dans sa tâche par un tuteur, un agent informatique, plus ou moins interventionniste. Ce tuteur supervise l'interaction entre l'apprenant et un expert du domaine. Ce dernier est, en fait, une base de règles capable de résoudre les problèmes soumis à l'apprenant. L'apprenant est libre d'explorer l'hypertexte à sa guise. Cependant, en fonction du comportement de l'apprenant, le tuteur peut décider d'ouvrir l'hypertexte à un endroit pertinent, puis, de redonner le contrôle à l'apprenant pour lui permettre de lire ce passage et d'en explorer éventuellement d'autres.

Dans cet environnement, l'hypertexte est considéré comme un élément favorisant l'articulation entre les approches micro-monde et tutorielle du système.

1.4.3. Constructivisme et hypermédia: pièges à éviter.

Les environnements hypermédia actuels ont de fantastiques possibilités de présenter la matière d'un domaine. Ils peuvent ainsi créer un sentiment de complexité, réalisme, voir d'authenticité (au sens constructiviste du terme, voir section 2.2). Pourtant ce sentiment peut être illusoire d'un point de vue éducatif. David Squires (Squires, 1996) décrit trois pièges qu'il faudrait éviter.

Une complexité de surface.

Il faut prendre garde à n'utiliser un média que si celui-ci à un but éducatif réel. Trop souvent les hypermédiats n'ont qu'une complexité de surface, c'est-à-dire qu'ils ne sont qu'un collage de textes, graphiques et vidéos. Une complexité profonde implique des liens intentionnels entre le contenu et le choix du média.

La passivité.

Il faut éviter à ce que l'ordinateur ne devienne qu'une super télévision et ne rende l'apprenant qu'un récepteur passif. Pour empêcher cela, il faut parfois se limiter dans l'utilisation de certains médias. Ainsi, par exemple, bien que l'ordinateur puisse dessiner de superbes graphiques mathématiques, il serait peut-être plus souhaitable que l'utilisateur les dessine lui-même. Autre possibilité: rendre l'apprenant créateur d'un document hypermédia plutôt qu'utilisateur. Impliqué dans un acte créatif, l'apprenant sera nécessairement amené à réfléchir, organiser, planifier, bref, d'avoir des activités mentales qui conduisent à l'apprentissage.

Finalement, l'utilisation d'un hypermédia en groupe ou sous la conduite d'un maître limite la probabilité d'une consommation passive.

La virtualité.

Bien que les multimédias aient certaines possibilités remarquables de simuler les situations de la vie réelle, ces simulations sont nécessairement simplifiées et ne peuvent pas refléter la complexité du réel. Afin d'éviter de fournir une image

appauvrie de la complexité du réel, il faut prendre garde à fournir suffisamment de points de similitudes entre l'environnement virtuel et réel.

1.5. Synthèse.

Les possibilités d'intégration multimédia, de présentations multiples et d'interactivité de l'hypertexte rendent ce système très attractif comme outil pour l'apprentissage d'un domaine donné. Cependant la fragmentation de la connaissance du domaine et son organisation en réseau n'est pas aussi avantageuse que l'on croyait et impose des contraintes sur l'outil et l'utilisateur. L'utilisation efficace d'un hypertexte dépend d'une bonne et riche interface graphique, d'une familiarité avec le domaine et l'outil ainsi que d'une faculté cognitive et métacognitive développée.

Guidés par les développements de la psychologie cognitive et les idées du courant constructiviste, les concepteurs d'outils d'apprentissage n'utilisent plus l'hypertexte comme fin en soi mais comme outil intégré dans un environnement plus complexe. Ces environnements essaient de rendre compte de la complexité et de l'interconnectivité de la connaissance en présentant cette dernière sous plusieurs angles et en la contextualisant dans des cas concrets.

En concevant l'hypertexte utilisé dans ce travail (l'hypertexte seul et celui de VIROLAB sont identiques) nous avons tenu compte des problèmes soulevés dans la revue ci-dessus. Dans le cas de l'hypertexte seul, celui-ci est structuré par une série de questions incitant l'utilisateur à consulter l'hypertexte d'une manière ciblée tout en offrant une amorce à une lecture plus large. Dans le cas de VIROLAB, l'hypertexte est un outil intégré à un système d'apprentissage basé sur la résolution de problème et la découverte; nous y reviendrons dans la synthèse de la partie micromonde (section 2.6).

Afin de limiter les problèmes de désorientation, nous avons:

- imposé une structure arborescente. Cette structure est visualisée par une carte globale et des cartes locales (voir figure 2.3 et 2.4),
- inclu deux fonctions qui facilitent le retour au point de départ d'une exploration: un historique des noeuds visités ainsi qu'un bouton permettant de retourner au dernier noeud visité,
- inclu une fonction permettant de trouver tous les noeuds qui contiennent un mot particulier
- intégré un système de pagination qui indique, pour chaque document, à quelle page sur un total de x pages l'utilisateur se trouve
- inclu une aide au système de navigation

2. Les environnements d'apprentissage.

2.1. Introduction: instructionnisme et constructivisme.

La plupart des outils d'apprentissage à base technologique développés jusqu'à récemment sont basés sur des idées d'enseignement d'origine béhavioriste (instructionnisme). Les instructionnistes conçoivent l'apprentissage comme une

progression par étapes de l'état de novice à celui d'expert. La connaissance d'un domaine est fragmentée en sous-expertises qui doivent être acquises l'une après l'autre, où chaque nouvelle expertise s'appuie sur l'intégration des expertises précédentes. Apprentissage et connaissance ont une structure hiérarchique prédéterminée. Ce type d'enseignement tente d'encourager l'apprentissage déductif. L'apprentissage est centré sur le contenu et orienté vers un but spécifié par le maître ou l'institution. Les outils d'apprentissage développés sur ces idées ont souvent été critiqués parce qu'ils ne sont utilisables que pour des domaines fortement structurés et formalisables (les mathématiques, par exemple), parce qu'ils induisent un apprentissage de surface et de reproduction (drill and practice) et finalement parce que la spécificité de l'apprenant n'est pas souvent prise en compte.

A ces idées, on oppose souvent celles d'origine constructiviste, caractérisées par un apprentissage basé sur la découverte et l'expérience. Pour Jérôme Bruner, un des pères du constructivisme, l'apprentissage est un processus actif par lequel l'apprenant construit ses nouvelles idées ou concepts sur la base de ses connaissances antérieures (1966, cité dans Kearsley, 1997). L'apprentissage repose sur une construction personnelle de la connaissance, celle-ci étant accomplie par le processus piagétien d'équilibration. Selon cette théorie, l'apprentissage ne peut se faire que si l'individu est dans un état de déséquilibre ou de conflit. Ainsi, l'apprentissage est défini comme la construction d'une nouvelle connaissance résultant de la résolution du conflit. Le conflit est résolu soit parce qu'il s'accorde à une structure mentale (schéma) déjà existante (processus d'assimilation), soit qu'une nouvelle structure est construite par le perfectionnement et la fusion de schémas existants (processus d'accommodation). Si le conflit n'est pas résolu, il n'y a pas d'apprentissage. Plusieurs méthodes d'enseignement basées sur ces idées ont vu le jour: elles portent l'étiquette de inductive, expérientielle, autogérée ou d'apprentissage par la découverte. Poussées à l'extrême, ces idées mènent à ce que Kurt Reusser appelle le mythe de l'apprenant comme constructiviste radical: « un enfant vu comme un apprenant spontanément actif et volontaire, comme un découvreur et explorateur, et comme un sujet autonome qui façonne sa pensée et conception du monde sur la base de son activité socio-cognitive » (Reusser, 1996, p 90).

Evidemment, cette présentation bipolaire est quelque peu caricaturale et une zone médiane existe: il y a des outils d'apprentissage à base instructionniste qui prennent en compte des conceptions constructivistes et vice versa.

Dans une perspective de pratique, nous présenterons quelques éléments de design qui sont proposés par les théories instructionnistes ainsi que le détail de la mise en application de l'une d'elles. Nous procéderons ensuite de même avec les théories constructivistes, en montrant que la tendance actuelle semble être à la prise en compte d'éléments des pôles instructionnistes et constructivistes.

2.2. La conception d'environnements d'apprentissage instructionnistes.

Toute théorie d'apprentissage (instructionniste) devrait poser clairement deux questions (Reusser, 1996, Merrill, 1997):

1) enseigner QUOI: la construction de la connaissance du domaine

- la sélection du sujet, du contenu et de ses composantes

- la construction du contenu du curriculum

- l'analyse de la tâche

- la description des buts

2) enseigner COMMENT: la sélection des méthodes d'enseignement et d'apprentissage

- la sélection du mode de présentation des composantes de la connaissance à acquérir

- la sélection des modes de mise en pratique de la connaissance à acquérir

- la sélection du mode d'interaction pédagogique

Plusieurs théories sont à la base du design d'outils d'apprentissages. Nous présenterons l'essentiel de celle de Gagné et une mise en application concrète d'une deuxième, ACT*, avec le Lisp Tutor de Anderson.

2.2.1 Les conditions de l'apprentissage: Gagné

Gagné (Gagné, 1985, cité dans Kearsley, 1997 et Schneider, 1994) a identifié plusieurs catégories de savoirs et propose qu'il y a un type d'enseignement approprié et différent pour chacun d'eux. Ainsi, l'apprentissage de capacités intellectuelles (intellectual skills) procède de la maîtrise de tâches que Gagné a organisées en une séquence de complexité croissante: reconnaissance du stimulus, génération de la réponse, poursuite d'une procédure, utilisation d'une terminologie, discrimination, formation de concepts, application de règles, résolution de problèmes. Le choix du point d'entrée dans cette séquence est faite par une analyse de la tâche.

Il propose que tout environnement d'apprentissage basé sur les idées instructionnistes devrait être composé de neuf étapes d'enseignement:

1. *Obtenir l'attention*: présenter un bon problème, une nouvelle situation.
2. *Décrire les buts*: décrire les buts de la leçon, mentionner ce que les étudiants seront capables de faire avec les nouvelles connaissances acquises, faire une démonstration si nécessaire
3. *Stimuler le rappel des connaissances antérieures*: rappeler à l'étudiant les connaissances préalablement acquises. Montrer l'interconnectivité de la connaissance, fournir un cadre de travail qui aide l'étudiant à se rappeler de ce qu'il a déjà appris. Eventuellement faire un test de connaissances.
4. *Présenter le matériel qui sera appris*: avoir un style de présentation consistant, fractionné l'information (éviter la surcharge mentale, rappeler les informations)
5. *Apporter une aide dans l'apprentissage*
6. *Pratique*: encourager l'apprenant à utiliser ses nouvelles connaissances
7. *Donner des feedbacks informatifs*: analyser le comportement de l'apprenant, éventuellement présenter, étape par étape, une solution au problème
8. *Evaluer les performances*: tester si la leçon a été apprise, donner des informations sur les progrès de l'étudiant
9. *Faciliter la rétention et le transfert*: présenter des situations similaires au problème, mettre l'apprenant dans des situations de transfert. Laisser l'apprenant revoir la leçon.

2.2.2 ACT*: Anderson

Théorie

Se basant sur leur conception des processus de la mémoire, Anderson et Corbett (1990) proposent une théorie, ACT*, de l'acquisition de compétences ou savoir-faire (skill acquisition). Cette théorie est à la base du développement de tuteurs intelligents. Ici, les termes de cette théorie sont exprimés dans le cadre de l'apprentissage du langage de programmation LISP:

1. Les connaissances sous-jacentes à une compétence sont de type déclaratives. L'apprenant utilise l'observation et l'analogie pour résoudre un problème.

Par exemple, l'étudiant remarque qu'en langage LISP, l'expression $(* 27 32)$ permet de calculer le produit de 27 par 32. Par analogie, l'étudiant essaiera l'expression $(+ 10 15)$ pour calculer la somme de 10 et 15.

2. Ayant découvert que cette façon d'exprimer les opérations arithmétiques est correcte, cette connaissance particulière prendra la forme d'une règle de production.

3. Ces règles de production se renforcent en fonction du nombre de fois qu'elles sont appliquées.

4. Finalement, une compétence telle que la programmation en langage LISP consisterait en l'acquisition de plusieurs centaines de règles de production indépendantes. La résolution d'un problème consiste ainsi en la mise en oeuvre séquentielle de ces règles de production.

Expérimentation

Les auteurs ont mis à l'épreuve leur théorie en analysant plusieurs variables générées par l'interaction entre l'apprenant et un tuteur implanté dans un didacticiel d'apprentissage du langage LISP. Ce didacticiel comprend 12 leçons, chacune étant composée d'une dizaine d'exercices. Le style de tuteur était celui d'un tutorat à feed-back immédiat: l'étudiant est suivi pas à pas dans sa résolution de problème. Dès que l'apprenant commet une erreur, le tuteur le lui fait remarquer et cette erreur doit être corrigée avant de pouvoir passer à l'étape suivante. Un cycle d'interaction entre le tuteur et l'étudiant se déroule de la façon suivante:

1. le tuteur définit un premier pas de programmation
2. l'étudiant entre l'unité de code
3. le tuteur évalue cette entrée. Si la réponse est correcte il propose le pas suivant, si elle est incorrecte, le tuteur fournit un feed-back et redéfinit le même but.

Deux variables reflétant l'acquisition de compétences sont analysées:

- le temps de réponse: c'est l'intervalle de temps entre le moment où le tuteur est prêt à accepter un input et celui où l'étudiant envoie son bout de code
- l'exactitude: c'est le nombre d'essais que l'étudiant utilise pour arriver à la bonne réponse.

Si l'on mesure ces deux variables en fonction du nombre d'exercices résolus, on ne trouve aucun indice d'acquisition de compétence. Par contre, si l'on mesure ces variables en fonction du nombre de fois qu'une règle de production a été appliquée on observe une belle courbe d'acquisition: c.à.d. que le temps de réponse diminue et l'exactitude augmente en fonction de l'augmentation du nombre de fois qu'une règle particulière est pratiquée.

L'apprentissage avec des tuteurs de style différent

Les résultats précédents ont soulevé plusieurs critiques, notamment que la contrainte à rester sur la bonne voie par le tuteur ne reflète pas des conditions normales d'apprentissage. Suite à ces critiques les auteurs ont testé trois autres styles de tutorat:

1. tutorat d'alerte: dès que l'étudiant commet une erreur, celle-ci est portée à son attention, cependant l'étudiant peut l'ignorer et continuer à écrire son programme.
2. tutorat à la demande: l'étudiant n'est pas interrompu par le tuteur, cependant l'étudiant peut demander un feed-back à n'importe quelle étape de l'exercice.
3. pas de tuteur: les étudiants doivent résoudre les problèmes seuls.

L'analyse des mêmes variables que précédemment a montré que le temps nécessaire à la résolution d'une série d'exercices était inversement proportionnel au taux d'interventions du tuteur. Ainsi la différence entre les deux extrêmes, soit feed-back immédiat et pas de tuteur, peut varier de 3 à 1 pour le temps de résolution. Cependant, aucune différence quant à l'acquisition de la compétence finale (mesurée par post-test) n'a été observée entre les différents environnements d'apprentissage.

Conclusions

Les auteurs concluent que l'apprentissage est fonction du nombre de fois que l'étudiant est passé avec succès au travers d'exercices et non comment l'apprenant a trouvé les solutions. Cette méthode est extrêmement dirigiste mais apparemment efficace. Cependant son application à d'autres domaines moins formalisables est douteuse.

2.3. La conception d'environnements d'apprentissage constructivistes.

Pour contraster avec les vues instructionnistes ci-dessus, nous présenterons d'abord une vue constructiviste radicale. Puis nous présenterons des propositions de conception d'environnement d'apprentissage qui tentent de concilier instructionnisme et constructivisme. Nous montrerons ensuite comment ces propositions sont appliquées dans deux réalisations.

2.3.1. Un micromonde radical: LOGO

« Un micromonde est un environnement structuré qui permet à l'apprenant d'explorer et manipuler un univers gouverné par des lois, [...], qui sert de représentation analogique à certains aspects du monde naturel » (Pea, 1987, p137) Un exemple de micromonde de la vie réelle est celui du bac à sable. En créant des châteaux de sable, l'enfant apprend sans le savoir des notions de physique. Il n'y a pas de buts d'apprentissage à atteindre ou d'instructions clairement définies, il s'agit d'un apprentissage inductif basé sur l'exploration. L'application informatisée la plus connue de micromonde est le langage de programmation LOGO (Papert, 1980). En jouant avec une tortue traçante, l'utilisateur y découvre les principes de la programmation (boucles, utilisation de modules, etc.). L'apprentissage devrait se faire spontanément, comme on apprend à parler, et devrait aussi conduire à l'acquisition de capacités cognitives plus générales, transférables.

Plusieurs enquêtes ont été menées pour mesurer l'effet de LOGO sur la façon dont les enfants pensent et sur leur capacité à résoudre des problèmes. Malheureusement, il s'avère que l'utilisation de LOGO n'apporte aucun effet positif dans l'acquisition de capacités cognitives plus générales. Selon De Corte, une des raisons possibles à ces résultats décevants est que « l'environnement d'apprentissage qui était implémenter

autour de LOGO était très pauvre: les interventions systématiques et directes [d'un tuteur] étaient maintenues à un niveau minimum et l'on espérait que, à cause des caractéristiques du langage LOGO, l'acquisition des techniques de programmation apparaîtrait d'elle même. Cependant ce point de vue est maintenant largement abandonné et la plupart des chercheurs admettent que LOGO [...] devrait être accompagné par un guidage systématique et une médiation dont le but est l'acquisition de capacités à résoudre des problèmes de programmation et, éventuellement, le transfert de ces capacités à d'autres contextes et situations » (De Corte, 1996, p135).

2.3.2 Des micromondes pragmatiques.

A) éléments de design

Nous avons vu que des environnements d'apprentissage totalement ouverts comme LOGO ne suffisent pas pour induire l'acquisition de capacités cognitives élevées. De plus le fait que l'apprentissage soit sans but précis est peu compatible avec l'institution scolaire. La pratique impose de combiner des approches déductives et inductives. C'est pourquoi Rieber (1992, p 94) propose d'introduire une « découverte guidée » dans les micromondes. C'est à dire, que l'on peut contraindre l'expérimentation de l'apprenant et la nature de l'activité de l'apprentissage en limitant les paramètres, et par là les frontières, du micromonde. De cette façon il serait possible d'atteindre des objectifs d'apprentissage prédéterminés.

D'un point de vue pratique, les principes de conception suivants pourraient être pris en compte lors du développement d'un logiciel de type micromonde.

1. Fournir un contexte d'apprentissage plein de sens, intrinsèquement motivant et qui permette l'autorégulation.

On parle d'apprentissage autorégulé lorsque l'apprenant prend la responsabilité de son apprentissage et agit en conséquence. Il y a une sorte d'appropriation (ownership) de l'apprentissage par l'apprenant.

Un apprentissage autorégulé a trois caractéristiques:

- il est intrinsèquement motivant, c'est-à-dire qu'il n'y a pas besoin de motivation externe (note, argent) pour que l'utilisateur accomplisse la tâche d'apprentissage. Un bon dosage de challenge, de curiosité et de fantaisie devrait permettre de créer un tel environnement.
- l'apprenant est métacognitivement actif, c'est-à-dire qu'il pose lui-même ses buts et qu'il juge de ses progrès.
- l'apprenant est actif, c'est-à-dire qu'il sélectionne et structure au mieux son environnement d'apprentissage.

L'aspect affectif devrait également être pris en compte: l'outil doit être pertinent (authentique, voir ci-dessous) pour l'élève et favoriser l'estime de soi.

2. Aller du connu vers l'inconnu.

L'environnement d'apprentissage devrait favoriser le rappel et l'utilisation des connaissances préalables.

3. Utiliser un bon compromis entre apprentissage inductif et déductif.

Une approche strictement déductive conduit à la production d'outils ennuyeux, répétitifs, où l'apprenant est passif. D'un autre côté, une approche strictement inductive ressemble à la philosophie de « nage ou coule » et peut générer des apprenants frustrés s'ils sont incapables de généraliser à partir des cas particuliers de l'environnement. De plus, les novices ont souvent besoin d'une structure d'accompagnement, structure souvent absente des systèmes purement inductifs.

4. Démontrer l'utilité des erreurs.

Il faut positiver les erreurs. Une bonne gestion des erreurs est à la base des processus de formulation et de test d'hypothèses. Cependant, l'erreur n'est utile que si le but de l'activité est clairement intériorisé.

En plus de ces éléments, Honebein (1993) propose de:

5. Utiliser des Activités à base de projets.

L'apprenant doit être engagé dans des projets globaux qui vont au-delà de l'expertise locale (cf., le point 3. de la section 1.4.3. sur l'apprentissage cognitif). Il faut des activités d'apprentissage génératives, interdisciplinaires qui aident les apprenants à développer une structure de connaissances riche et complexe.

6. Utiliser des Points de vue multiples.

L'environnement d'apprentissage devrait présenter un domaine de plusieurs façons différentes. Ceci rend l'environnement plus adaptable (flexible) aux différents utilisateurs. De plus la présentation d'un domaine d'apprentissage dans des contextes différents augmente la probabilité de transfert des connaissances acquises. Le travail collaboratif permet aussi de prendre en compte les perspectives des collaborateurs.

7. Richesse et complexité.

Finalement, l'environnement devrait être riche et complexe, reflétant la réalité d'un contexte naturel.

B) Deux réalisations.

Scientists in Action.

Cette réalisation du Cognition and Technology Group at Vanderbilt (Goldman, 1996) tente de montrer les possibilités et avantages de l'enseignement dit "anchored instruction" dans l'enseignement des sciences. Le concept de "anchored instruction" est une forme d'enseignement où l'étudiant doit apprendre à résoudre des problèmes relevant de situations très concrètes. L'apprentissage devient ancré (anchored instruction) dans la complexité du réel et n'est plus associé à des situations idéales et simplifiées

Des expériences antérieures ont montré que les élèves qui ont reçu des informations dans un

contexte de résolution de problèmes se rappellent mieux ce qu'ils ont lu et sont capables d'utiliser

ces informations pour développer des stratégies de résolution pour de nouveaux problèmes

(transfert de connaissances). Ainsi, pour l'apprentissage des sciences, les auteurs font très justement remarquer que les étudiants doivent faire l'expérience du « faire » de la science et ne pas seulement être confrontés au produit fini et bien poli de ce processus.

Dans ce but, les auteurs ont développé une série appelée *Scientists-in-Action* qui permet, par

l'utilisation de vidéo et d'ordinateurs, de placer les élèves dans des situations de résolution de

problèmes proches de celles auxquelles sont confrontés les scientifiques.

Concrètement, le premier épisode de la série est une vidéo qui se déroule en trois temps:

1. L'histoire débute dans le bureau d'une hydrologue qui explique son métier. Celle-ci est interrompue par l'irruption de sa secrétaire qui lui annonce un accident: un camion-citerne transportant un liquide dangereux s'est renversé sur l'autoroute. Il y a risque de contaminer une rivière qui est la source d'eau potable d'un village voisin. L'hydrologue se rend immédiatement sur place. Le conducteur est inconscient. La nature du liquide transporté est inconnue, cependant des informations sont données sur ses propriétés.

La vidéo stoppe et les élèves doivent essayer de déterminer:

- la nature du liquide transporté
- les réactions possibles de ce liquide avec l'eau
- si le liquide coule vers le lac ou vers le village

2. Une fois que les élèves ont terminé, la vidéo continue et on peut voir comment les experts (hydrologue, pompiers, chimiste) ont résolu les mêmes problèmes. On obtient encore quelques informations sur les méthodes à utiliser pour prévenir la pollution de la rivière.

La vidéo stoppe et on demande aux élèves de déterminer quelle est la meilleure stratégie à adopter pour prévenir une pollution.

3. Une fois le problème résolu, la vidéo redémarre et on voit les experts à l'oeuvre pour résoudre ce problème.

Fin de la vidéo et dernier problème: déterminer à quel moment le liquide atteindra la station de pompage.

Dans ce contexte les auteurs ont réalisé deux expériences dont le but était d'examiner:

1. le degré d'apprentissage des faits contenus dans la vidéo
2. l'attitude des élèves face à la science et aux scientifiques

Afin d'arriver plus rapidement aux résultats et sans trahir le dispositif monté par les auteurs, nous allons regrouper les deux expériences en une.

Trois groupes d'élèves ont été choisis:

1. Le premier groupe (Network) a visionné un reportage réel d'un journal télévisé couvrant un déraillement de train-citerne. Ce train contenait un pesticide dangereux qui contamina une rivière qui elle-même pollua un lac. Un biologiste est interviewé pour expliquer quels dommages à court et long termes sont prévisibles.
2. le deuxième groupe (Tanker Solve) a visionné le même reportage que le premier groupe. Puis il a vu la vidéo décrite ci-dessus et tenté de résoudre les problèmes associés.
3. le troisième groupe (Tanker Watcher) a vu le reportage télévisé puis la vidéo du camion renversé. Cependant il n'a pas résolu les trois problèmes associés à la vidéo.

Chacun des groupes a passé un pré et post-test touchant:

1. les connaissances du domaine (contenu)
2. leur attitude face à la science (où et comment les scientifiques travaillent)

Pour ce qui était de l'acquisition du contenu, l'analyse du post-test a montré que les élèves des deux groupes « Tanker » avaient un meilleur résultat que ceux du groupe "Network", mais que le groupe « Tanker solve » qui avait tenté de résoudre les problèmes de la vidéo n'était pas meilleur que le groupe « Tanker watcher » qui n'avait fait que regarder comment les experts avaient résolu ces problèmes. Quant à l'attitude des élèves face aux sciences et aux scientifiques, aucun des trois groupes n'a modifié l'image qu'il en avait.

En conclusion, l'environnement multimédia s'est révélé plus adéquat que le simple reportage télévisé pour l'acquisition de connaissances (contenu). Cependant, et un peu à notre désappointement, le groupe qui a résolu pratiquement des problèmes (Tanker Solve) n'a pas eu un taux de réussite supérieur à celui qui n'a fait que regarder la vidéo (Tanker Watch).

Convection Initiation (CI)

Ce logiciel est un des rares cas publiés de développement d'environnement d'apprentissage informatique où toutes les dimensions exposées dans la théorie de l'apprentissage cognitif (Collins et al., 1987) ont été explorées et incorporées.

Cet environnement, appelé Convection Initiation (CI), a été développé par Carl Casey (1996) afin de faciliter l'introduction d'un nouvel outil dans l'arsenal des météorologues: le radar Doppler. Étant donné que ce domaine de la prévision météorologique est un domaine complexe, peu structuré et fortement basé sur l'expérience, les concepteurs ont misé sur les méthodes de l'apprentissage cognitif pour fournir un outil intégré à une communauté de travail, un outil flexible et favorisant la collaboration. Le logiciel est installé sur un P.C. qui est directement intégré au poste de travail de la station météo. Les apprenants y accèdent durant les moments libres de leur travail. CI commence par proposer à l'utilisateur un cas (scénario) de prévisions météo réel et l'apprenant a le choix d'essayer de résoudre le problème tout de suite ou d'apprendre plus sur le domaine en regardant les

présentations qui sont incorporées dans le logiciel. L'interface graphique de CI est composée d'une fenêtre principale dans laquelle apparaissent toutes les images et les présentations didactiques. Cette fenêtre est entourée d'une série de boutons permettant de modifier les images (zoom, avant, arrière, etc.) et des boutons permettant d'accéder aux diverses aides incorporées et que nous allons voir ci-après.

Nous allons reprendre les quatre dimensions proposées dans l'apprentissage cognitif (voir section 1.4.1.C) et montré comment elles sont incorporées dans CI.

1. Le contenu

Cette dimension explore les différentes stratégies de présentation des connaissances du domaine:

1.1. *les connaissances du domaine*: dans CI, l'accès à ces connaissances est proposé par deux boutons: le premier (Conceptual Model) donne accès à des concepts météo présentés par un narrateur (clip vidéo) sous la forme de graphiques et animations. Le deuxième (Tutorial) va dans le plus concret et le narrateur utilise des données réelles (image radar, satellite) pour illustrer ses propos.

1.2. *les stratégies heuristiques*: le bouton Rules donne accès à des règles communément appliquées dans le domaine de la météo. Ce sont les trucs et astuces glanés par les experts. L'application de ces règles dépend de chaque cas traité.

1.3. *les stratégies de contrôle*: d'une manière générale, c'est grâce à ces stratégies de contrôle que l'apprenant sélectionne les moyens les plus adéquats pour solutionner un problème. Dans CI, ce contrôle est offert de deux manières:

- a) le bouton Tutorial présente, en fonction des variables initiales, différentes stratégies pour solutionner le problème
- b) une routine d'analyse de réponse analyse en permanence les actions de l'apprenant et tente de le guider dans les choix à faire

1.4. *les stratégies d'apprentissage*: elles sont traitées dans la dimension suivante

2. Les méthodes d'enseignement

2.1. *la modélisation (modelling)*: par ce terme on entend que l'expert résolve concrètement un problème en expliquant à haute voix ce qu'il fait, ses choix, comment il revient en arrière si la méthode choisie n'est pas la bonne, etc. Dans CI; le bouton Expert answer permet à l'élève d'accéder à des démonstrations de résolutions de problèmes par un expert (clip vidéo).

2.2. *le guidage (coaching)*: en observant l'apprenant dans sa tâche, l'enseignant peut le guider en lui offrant des pistes de réflexion, un coup de pouce ou des rappels. Dans CI, le guidage est réalisé par les routines d'analyse mentionnées plus haut. En fonction des erreurs ou difficultés rencontrées, le système offre une aide sous forme de texte ou audio de façon à ce que l'apprenant puisse identifier la source de son erreur.

2.3. *l'aide à l'apprentissage (scaffolding and fading)*: c'est l'ensemble des supports mis autour d'une tâche pour soutenir et mettre en confiance l'apprenant. Au fur et à mesure que ce dernier acquière de l'autonomie, ces supports sont graduellement enlevés.

Dans CI, ces supports sont formés par l'association des exposés (concepts et tutoriels) ainsi que par les routines d'analyse de réponses. Lorsque les réponses de l'apprenant s'améliorent, le système intervient de moins en moins.

2.4. *l'articulation*: l'apprenant doit extérioriser son mode de penser. Dans CI, l'articulation est assurée de deux manières: d'une part, lorsqu'un problème peut être approché de plusieurs façons, le système demande à l'apprenant d'en choisir une et de justifier son choix, d'autre part l'élève est encouragé à travailler en groupe. Cela le force à exprimer ses pensées d'une manière cohérente.

2.5. *la réflexion* permet à l'apprenant de comparer sa façon de faire avec celle des autres. Dans CI, il y a réflexion lorsque l'élève doit, par exemple, identifier des éléments caractéristiques d'une image présentée à l'écran et le système lui répond en désignant quel élément l'expert a choisi et pourquoi.

3. La séquence

Dans CI, la *complexité* et la *diversité* sont graduellement augmentées en présentant des situations ou contextes différents, en changeant divers paramètres ou buts à atteindre. Le concept « les compétences globales avant les locales » est pleinement exprimé dans CI par le fait que les apprenants sont exposés à des problèmes très réalistes dès le début de l'apprentissage.

4. Sociologie

Dans CI, l'apprentissage est fait en situation, il est intégré dans le lieu même où il doit être utilisé. Cela favorise la formation de ce que l'on appelle une *culture de pratique experte* et la *coopération*.

Bien que ce logiciel n'ait pas été évalué au niveau de ces performances, il est, à mon sens, un bel exemple d'intégration des théories constructivistes dans un outil d'apprentissage informatique.

2.4. Synthèse.

Jusqu'à récemment, les environnements d'apprentissage informatiques se basaient sur des théories radicalement différentes. D'un côté, en disséquant et reconstruisant la connaissance d'un domaine en un système très hiérarchisé, les instructionnistes produisent des outils qui visent à promouvoir l'acquisition d'une expertise dans un domaine particulier. Malgré quelques résultats notables, ces outils sont difficilement réalisables pour des domaines peu structurés et ne montrent que peu de respect pour les capacités d'autorégulation de l'apprenant. De l'autre côté, en laissant la responsabilité à l'apprenant seul de construire sa connaissance, les constructivistes ont produit des outils inadaptés et inefficaces. L'apprenant ne peut pas extraire toute la connaissance accumulée par d'autres par la seule découverte et l'exploration d'un micromonde. De plus le projet constructiviste de pouvoir faire acquérir des capacités générales de résolution de problèmes s'est révélé utopiste.

Les théories de l'apprentissage en contexte ont apporté des cadres de pensée et de travail nouveaux sur lesquelles les concepteurs peuvent s'appuyer pour construire des environnements riches et complexes. Ces derniers sont souvent le fruit d'un mariage

entre les techniques instructionnistes et constructivistes. C'est guidé par ces idées que nous avons conçu VIROLAB. C'est un environnement où l'exploration de l'apprenant est guidé par des problèmes à résoudre. La connaissance du domaine est introduite formellement dans un hypertexte et, d'une manière incidente, dans l'environnement graphique et les feedbacks donnés à l'apprenant. Nous vous invitons à passer à la section suivante pour obtenir une description plus détaillée de VIROLAB et une discussion des principes didactiques sur lesquels il repose.

Partie 2: Matériel et méthode.

4. Deux logiciels pour l'apprentissage des notions de virologie.

Cette étude compare l'efficacité et l'utilisation de deux logiciels destinés à l'enseignement des notions de base de virologie. Ce sont:

- 1) VIROLAB, un environnement d'apprentissage auquel un hypertexte est associé,
- 2) un hypertexte seul (une adaptation de celui qui se trouve dans VIROLAB).

4.1. VIROLAB

VIROLAB a été développé dans le cadre de mon stage de diplôme STAF. Ce logiciel a été commandité par un enseignant de la Faculté de Médecine de l'Université de Genève qui désirait fournir un outil d'apprentissage supplémentaire aux étudiants en médecine engagés dans le cursus APP.

VIROLAB simule un laboratoire de biologie. Dans un premier temps le système demande à l'utilisateur de s'identifier et lui présente ensuite une série de dessins représentant différents virus. L'apprenant en choisit un et doit aider ce virus à se multiplier. Pour cela il devra obtenir des informations sur sa structure et choisir une lignée cellulaire qu'il infectera. Nous avons appelé cela mener une *enquête*. Afin d'induire une réflexion, le processus de multiplication est interrompu plusieurs fois par des questions ou actions auxquelles l'apprenant doit répondre pour poursuivre le processus. Lorsque la multiplication du virus est menée à terme, l'étudiant peut choisir un nouveau virus.

Suivant le concept "place de marché", ce laboratoire virtuel est constitué de plusieurs salles: un hall d'entrée donnant sur un corridor qui conduit à quatre salles latérales (figure 1.1). Ces salles sont:

1.*le laboratoire* qui est équipé de plusieurs instruments permettant d'obtenir des informations sur la structure et composition du virus. Afin de créer une situation de problèmes, chaque virus est défectueux: il lui manque un ou plusieurs composants nécessaires pour se multiplier. C'est dans le congélateur de cette salle que l'étudiant devra venir choisir une ou plusieurs enzymes qu'il ajoutera au virus au moment voulu (figure 1.2).

2.*la salle de culture* qui permet de tester la fonctionnalité du virus. L'étudiant y choisit le type cellulaire qu'il juge adéquat et l'infecte avec son virus. Si le choix est correct, le processus commence (figure 1.3).

3.*le bureau* qui contient un journal de laboratoire. Chaque fois que l'étudiant obtient une information sur le virus choisi, celle-ci est automatiquement consignée dans ce journal. De même, chaque fois qu'une étape du processus de multiplication est passée, un résumé de cette étape est inscrit dans le journal (figure 1.4).

4.*une bibliothèque* (l'hypertexte) qui contient des hyperdocuments de référence. Ces documents sont consultables à n'importe quel moment. Un outil de recherche par mots est associé à toute la bibliothèque (figure 1.5).

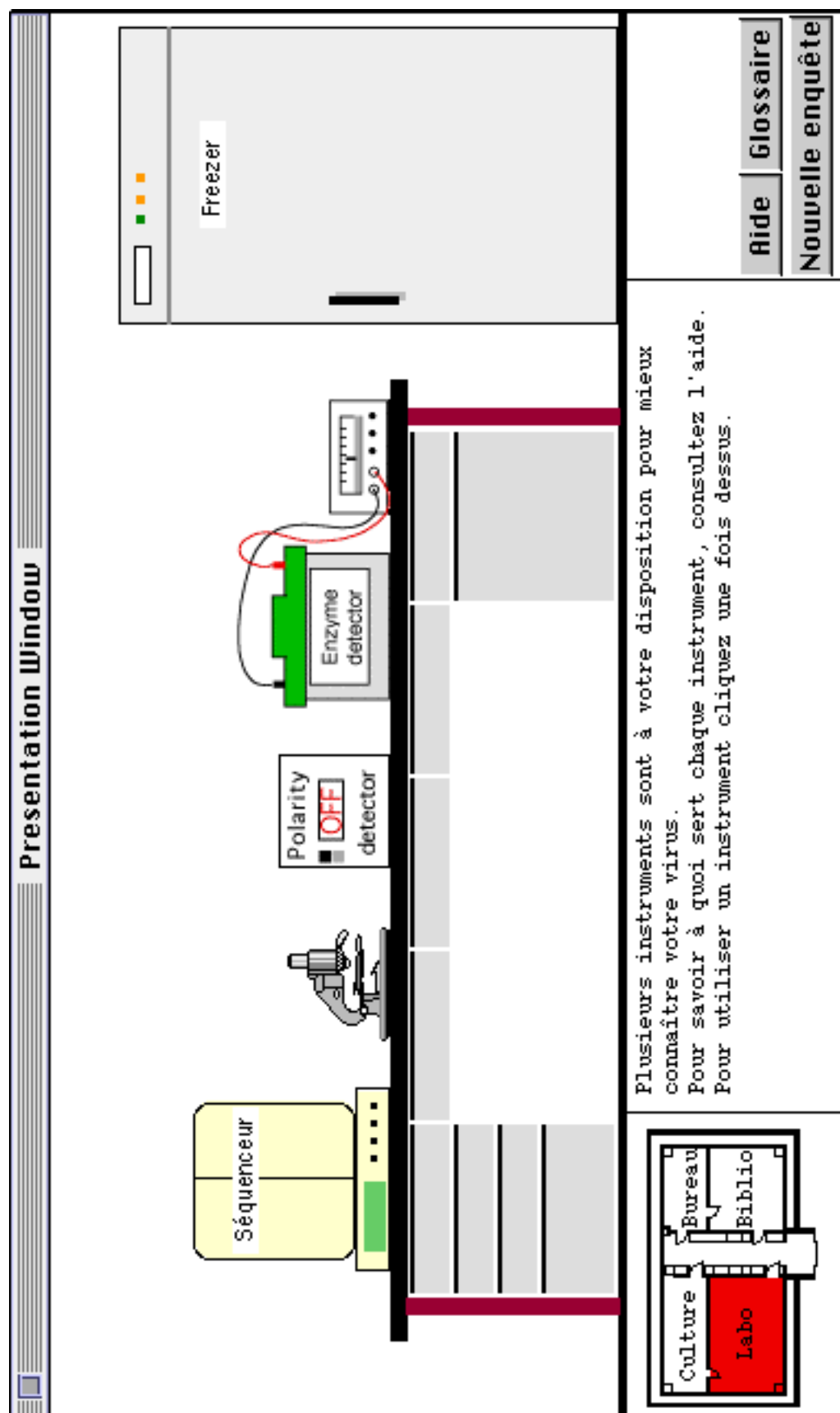


Figure 1.2. Le laboratoire

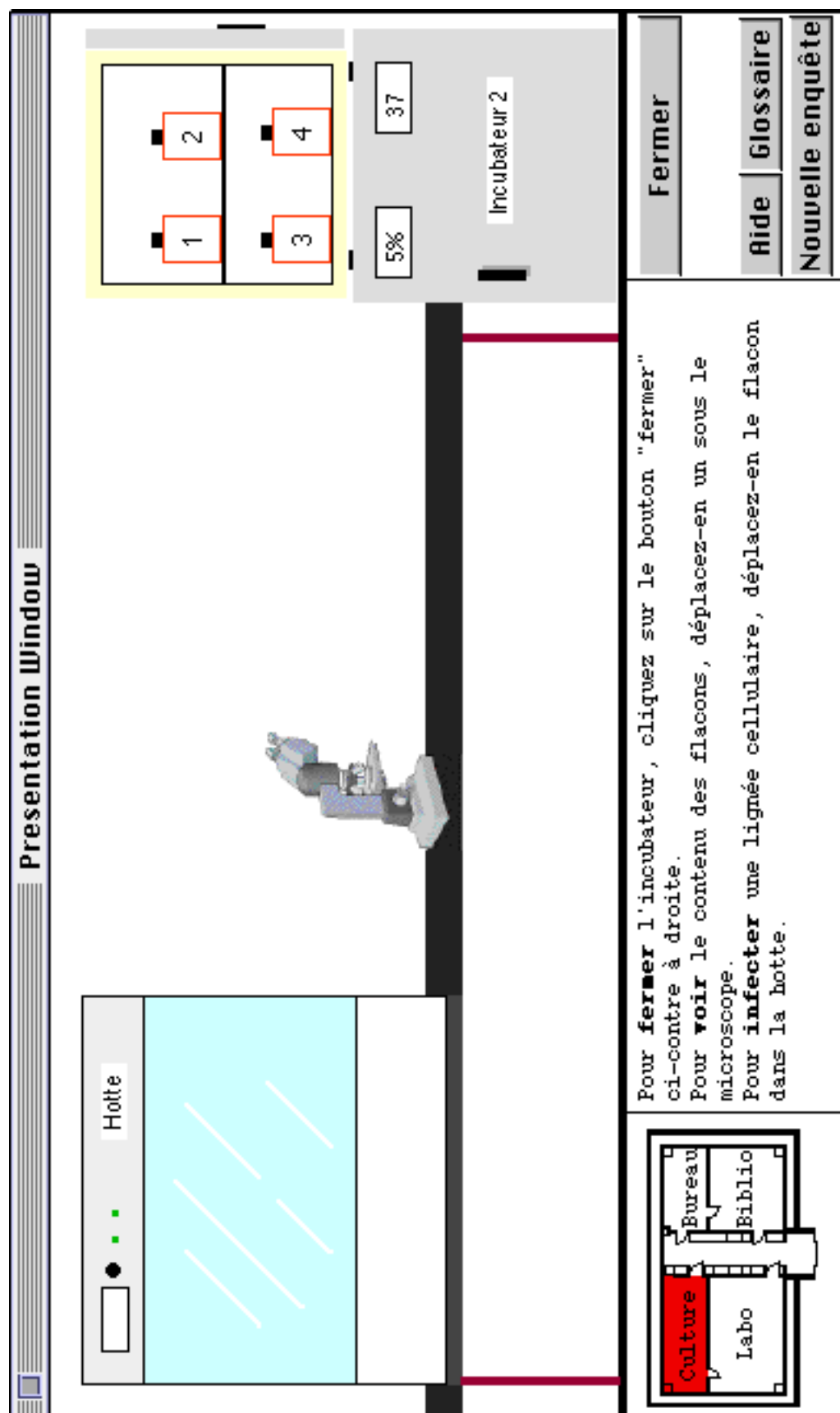


Figure 1.3. La salle de culture

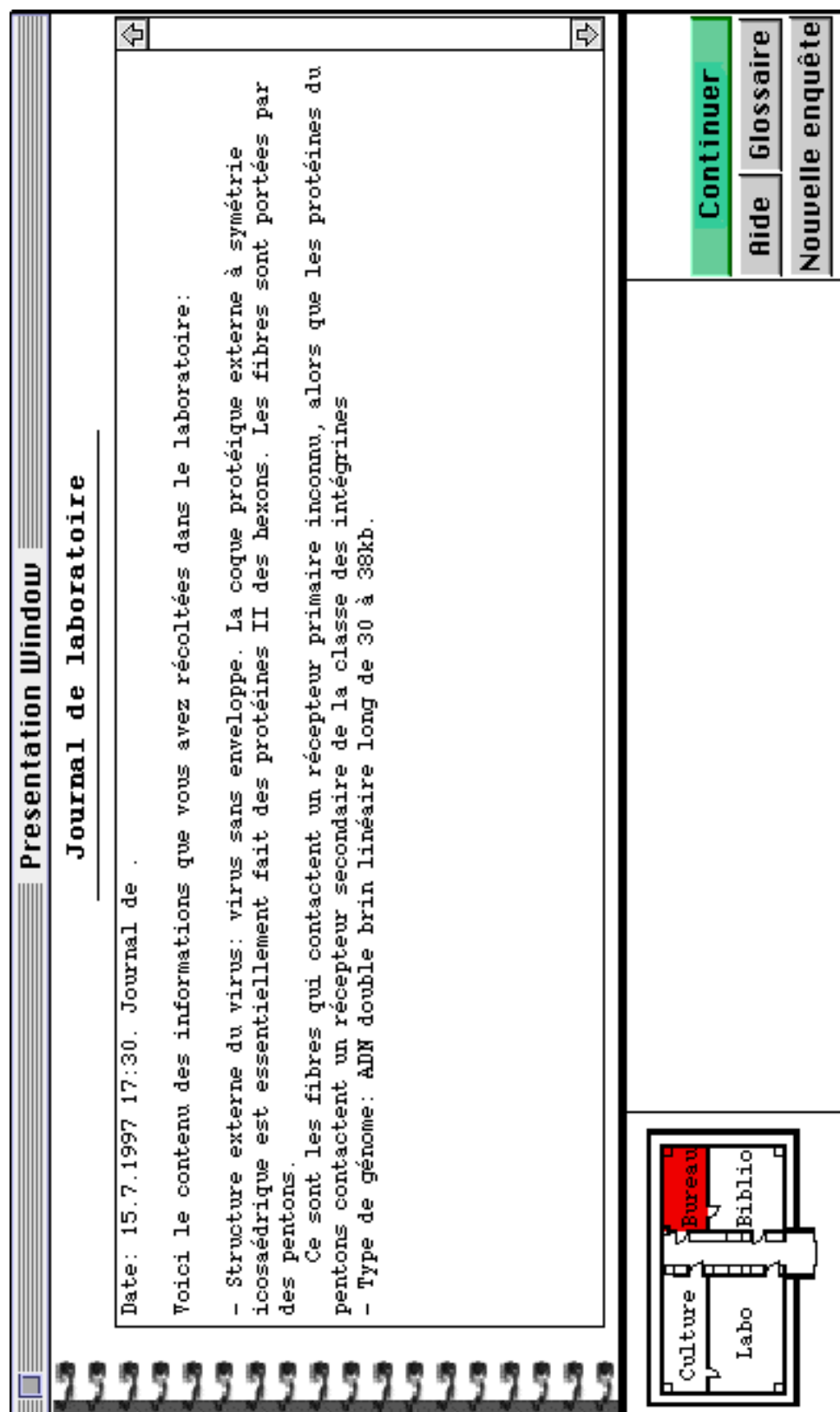


Figure 1.4. Le bureau.

L'utilisation de deux instruments du laboratoire (microscope et séquenceur) a enrichi le Journal de laboratoire de deux informations.

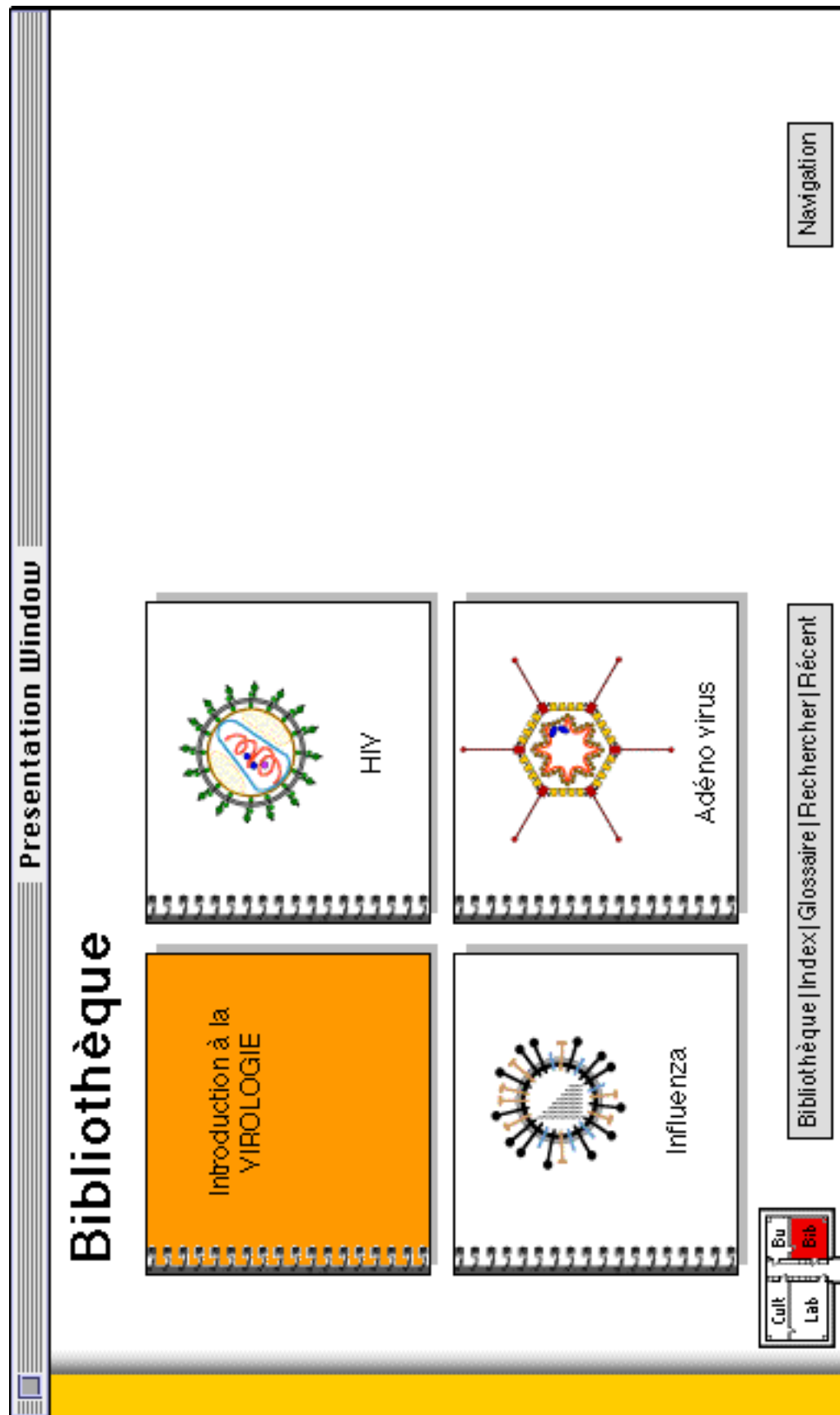


Figure 1.5. La bibliothèque

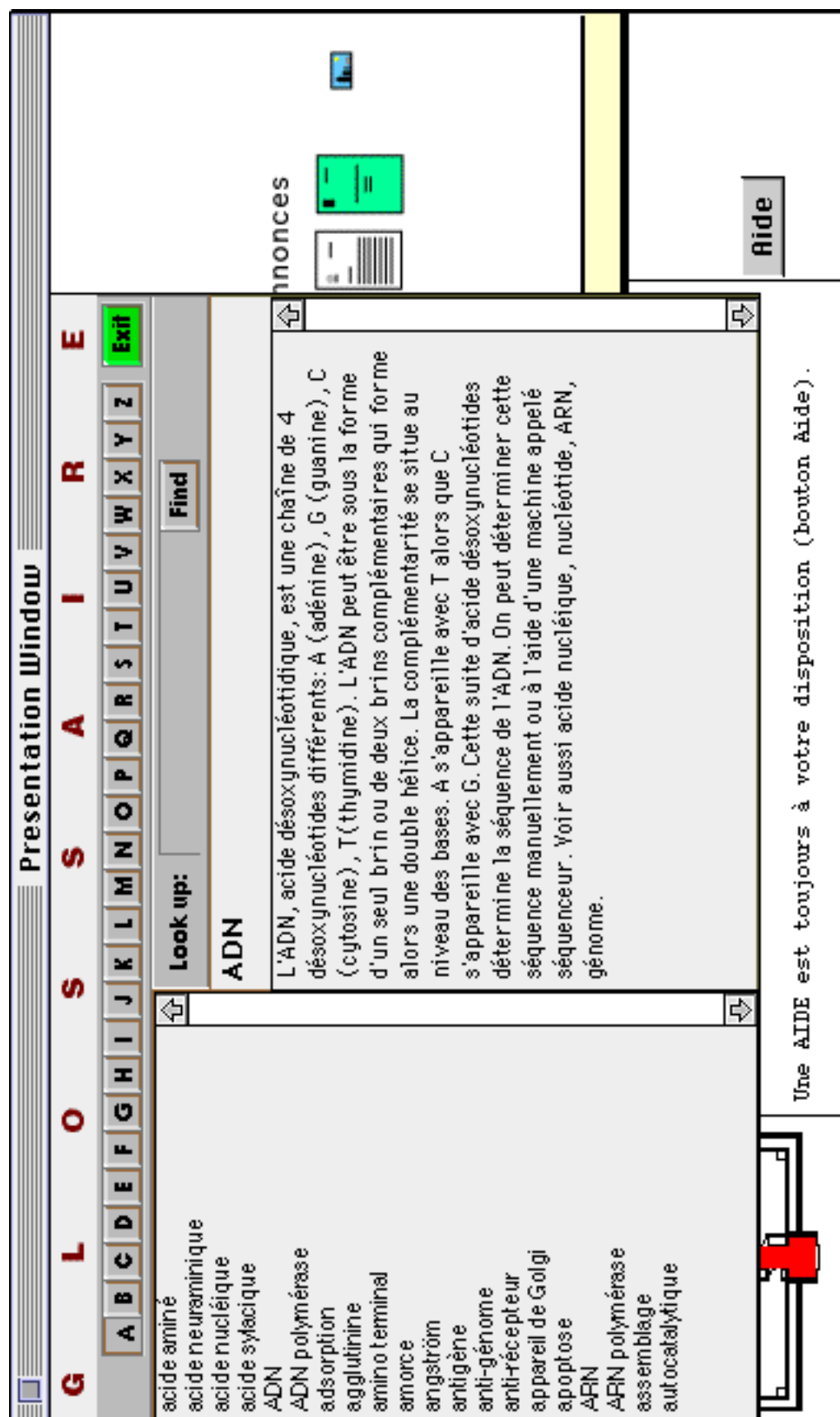


Figure 1.6. Le glossaire

Finalement, le logiciel contient deux fonctionnalités supplémentaires:

- *un glossaire* expliquant la plupart des termes utilisés (figure 1.6)
- *une aide* informant l'utilisateur sur les objectifs du programme, et comment l'utiliser.

Avec ce logiciel nous avons tenté d'induire un traitement actif de la matière à apprendre. La mobilisation de l'étudiant est générée de plusieurs façons. Premièrement, il se trouve dans une situation de problèmes: permettre au virus choisi de faire un cycle complet de multiplication et d'infecter d'autres cellules. Deuxièmement, sa tâche est ponctuée par plusieurs questions et sous-problèmes qui le poussent à réfléchir aux pourquoi et comment du cycle viral. Troisièmement, le système analyse partiellement les actions et réponses de l'étudiant et lui répond par un feedback approprié. Finalement, la similitude avec un laboratoire de biologie réel permet à l'étudiant de concrétiser (certains appelleraient cela "ancrer", Goldman et al., 1996) ses actions: il agit directement sur des objets qu'il doit sélectionner, déplacer, chaque décision prise à une conséquence sur le déroulement du processus de multiplication.

VIROLAB est à la frontière entre le micromonde et l'hypermédia. Il ressemble au micromonde par son aspect exploratoire: l'utilisateur est libre de se déplacer où il veut et de faire ce qu'il veut dans ce laboratoire virtuel. Cependant la marge de manoeuvre est réduite: il ne peut utiliser que les instruments à disposition et est engagé dans la résolution d'un problème. Il ne peut pas créer quelque chose à l'intérieur de ce logiciel, il n'y a pas de solutions multiples. Pour le futur, nous avons prévu de laisser la possibilité à l'utilisateur de créer son propre virus à partir de composants de base et de lui permettre de tester sa viabilité dans le laboratoire virtuel.

4.2. L'hypertexte

L'idée originale du commendaire de VIROLAB était de créer un hypertexte à partir d'un polycopié existant. En fait, la bibliothèque de VIROLAB est un hyperdocument. Dès lors, il nous a paru intéressant de l'extraire de VIROLAB et de l'utiliser comme un outil d'apprentissage indépendant. Afin de donner un but à sa lecture et de compenser l'activité exploratoire de VIROLAB, une série de 12 questions a été intégrée à cet hypertexte. Ces questions sont une reformulation des problèmes auxquels l'utilisateur de VIROLAB est confronté et leur séquence suit celle de VIROLAB (voir section 4.3.). Elles sont de deux types. Le premier type de questions (Q1, Q3, Q4, Q6, Q8, Q9) a des boutons réponses associés (Q1 est montrée dans la figure 2.1), il s'agit en fait de questions à choix multiples mais dont le choix est immédiatement évalué. Les autres questions sont des questions ouvertes qui ne trouvent leur réponse que par la lecture de l'hypertexte (Q2 est montrée dans la figure 2.2). L'utilisateur accède librement aux questions et à l'hypertexte.

La structure de l'hypertexte est de type hiérarchique (voir figures 2.3 et 2.4). Elle induit une lecture assez linéaire. Le premier niveau présente les quatre documents disponibles sous la forme d'un dessin de quatre cahiers. Un clic sur un cahier fait apparaître la structure arborescente du document. Un clic sur une branche nous conduit à l'endroit désiré. La navigation intra- ou inter-document se fait par l'intermédiaire d'une barre de navigation située en bas de la fenêtre. Les flèches *avant* ou *arrière* font apparaître respectivement l'écran suivant ou précédent d'un document.

Pour sauter à un autre endroit d'un même document on clique sur le bouton *index* qui fait apparaître à nouveau la structure générale du document. Pour accéder à un autre document, le bouton *bibliothèque* doit être cliqué. Des *hypermots* permettent de sauter vers l'information correspondante dans un même document ou dans un autre. Le bouton *récent* permet de revenir au noeud précédent (ce qui est différent du bouton arrière qui ne permet de voir que les noeuds précédents et successifs dans un même document). Finalement le bouton *rechercher* permet de faire une recherche active par mots dans tout l'hypertexte. Les noms de tous les noeuds contenant le mot rechercher apparaissent dans une deuxième fenêtre et un clic sur l'un d'eux fait apparaître le noeud correspondant.

Outre les 4 documents, un glossaire contenant la définition de la plupart des termes scientifiques employés est également disponible. Le bouton *glossaire* permet d'y accéder.

File Save last Record

Question 1:
Une fois adsorbé, comment influenza pénètre-t-il dans la cellule ?

On appelle "translocation" le passage du virus complet à travers la membrane cellulaire. En l'occurrence, ce n'est pas la voie d'entrée que ce virus utilise.

Consultez la bibliothèque et essayez autre chose...

Endocytose
Translocation
Fusion membranaire

Questions Bibliothèque | Index | Glossaire | Rechercher | Récent Question 1/12 Navigation

Figure 2.1. Question avec boutons réponse associés. Le bouton "Translocation" a été pressé. Le feedback qui s'en suit apparaît sous la question.



Question 2:

On a isolé, du virus Influenza, un génome à l'état natif et on l'a injecté dans le noyau d'une cellule qui est normalement l'hôte de ce virus.

Est-ce que la cellule peut répliquer ce génome ?
Expliquez en quelques mots.

Questions

[Bibliothèque](#) | [Index](#) | [Glossaire](#) | [Rechercher](#) | [Récent](#)



Question 2/12



Navigation

Figure 2.2. Question ouverte.

File Save last Record

4. Aux frontières de la virologie: virus défectifs, viroïdes et prions

Le génome ADH (-) du virus de l'hépatite D (HDV) est très petit (1,7 kb) et circulaire. Il ne code que pour une protéine, l'antigène delta de 200 a.a., nécessaire à la réplication du génome et à son enveloppement. HDV utilise la polymérase de la cellule-hôte pour répliquer son ARN. Cette réplication implique également des caractéristiques auto-catalytiques de cet ARN qui est capable de se couper et coller (figurer) tout seul. Ces propriétés remplacent les fonctions d'endonucléase et ligase normalement remplies par des protéines virales. Lorsqu'un ARN a des protéines catalytiques, on parle de ribozyme. La figure ci-dessous décrit le mécanisme de réplication de HDV.

Diagram labels: Auto-charge aux sites 5', Pol. cellulaire, Anti-génome anti-génome, Pol. cellulaire, Auto-charge aux sites 3', Pol. cellulaire.

1. Cliquez sur le document désiré

2. Cliquez sur une section du document sélectionné

3. Avancez d'une page en avant ou en arrière

Recherche par mot-clé

Appel du glossaire

Retour aux pages précédentes

Cette page

Navigation

Navigation 1/2

Questions

Bibliothèque | Index | Glossaire | Rechercher | Récent

Figure 2a. Structure hiérarchisée de l'hypertexte

En cliquant sur le nom d'un des virus, vous arrivez à l'étape de multiplication similaire pour ce virus

Cycle de multiplication

Attachement et entrée [Adress. HIV](#)

HA régit l'attachement aux récepteurs cellulaires. Ces récepteurs sont constitués par un résidu d'acide sialique (N-acétyl-neuraminique) présent à l'extrémité des chaînes d'hyaluronate de carbone des glycoprotéines (ou des glycolipides). Après attachement, le virus est internalisé par endocytose adaptative. Avec la migration des endosomes vers l'intérieur de la cellule, leur pH s'acidifie. A pH 5,5, HA change de conformation et un peptide fusogénique, crée préalablement par l'action d'une protéase cellulaire, est ainsi exposé, qui induit la fusion de la membrane virale avec la membrane de l'endosome.

L'activation de HA, par clivage protéolytique est essentielle pour l'efficacité du virus. La présence de cette activité protéolytique dans les cellules de différents tissus régit la [diffusion](#) du virus dans l'organisme, et par la même sa pathogénicité. En parallèle avec l'acidification de l'endosome et le changement de conformation de HA, le canal protéomérique, constitué par M2, petite protéine transmembranaire, permet l'acidification de l'intérieur de la particule virale, condition qui permet le détachement des nucléocapsides de la protéine M ([cf. Annex. 3. p.18](#)). [Les nucléocapsides](#) adhérent, le cytoplasme et migrent ensuite vers le noyau.

Hyperliens, cliquez pour arriver à l'information correspondante (utilisez la fonction "Récents" pour retourner à la page d'où vous venez)

Figure 2b. Les hypermots

4.3. VIROLAB/Hypertexte: différences et similitudes.

Tâche:

La tâche est d'acquérir des connaissances sur les mécanismes de multiplication des virus par l'utilisation de VIROLAB ou de l'hypertexte.

Contexte:

VIROLAB et l'hypertexte sont deux environnements d'apprentissage différents:

- hypertexte: l'apprentissage se fait au travers d'un contrat didactique, les utilisateurs doivent apprendre par la lecture. La lecture est incitée par une série de questions.
- VIROLAB: l'apprentissage se fait par la résolution de problèmes (aider trois virus à se multiplier).

Questions:

Le contenu des questions qui se trouvent dans l'hypertexte est identique aux questions et sous-problèmes de VIROLAB. Cependant leur formulation est partiellement différente:

- les questions à boutons réponse de l'hypertexte sont formulées et présentées d'une manière identique dans VIROLAB
- les questions ouvertes et explicites de l'hypertexte ne sont qu'implicites dans VIROLAB: le processus de multiplication est stoppé et c'est à l'utilisateur de formuler les questions.

5. Questions de recherche et moyens d'investigation

Par ce travail nous nous proposons de répondre à deux questions:

5.1. Question 1: efficacité de l'outil

Question principale

De VIROLAB ou de l'hypertexte, lequel est l'outil d'apprentissage le plus efficace ?

Question secondaire.

Est-ce que certains objets d'apprentissage sont mieux compris lorsqu'ils sont présentés avec l'un ou l'autre des deux outils ?

Pour répondre à ces questions, nous avons demandé aux étudiants de passer un pre- et post-test. Ces deux tests, identiques, sont composés d'une série de 15 questions à réponses courtes. Afin de ne pas favoriser l'un ou l'autre groupe (VIROLAB ou Hypertexte), nous avons établi 3 types de questions:

- type VIROLAB (Viro): 6 questions auxquelles le groupe VIROLAB devrait être le mieux à même de répondre
- type Hypertexte (Htxt): 6 questions auxquelles le groupe Hypertexte devrait être le mieux à même de répondre
- type indifférent (V-H): 3 questions dont la probabilité de donner une réponse correcte est égale pour chacun des deux groupes.

Chaque question vaut 2 points, une réponse partielle donne 1 point une réponse insuffisante ou fausse 0 point. Les réponses ont été évaluées par une personne.

Les questions du pre- et post-test ainsi que leurs réponses sont données dans l'annexe 1

5.2. Question 2: mode de lecture

En fonction des problèmes et questions rencontrés, comment les utilisateurs de VIROLAB ou de l'hypertexte consultent-ils la documentation disponible ?

Dans deux contextes d'apprentissage différents, des problèmes similaires sont posés aux étudiants. Est-ce que le contexte influence le mode de lecture, la recherche d'information ? (voir section 4.3 pour la définition du contexte et des questions).

Une réponse à ces questions permettrait d'optimiser le design et l'implémentation des hyperdocuments.

Afin de pouvoir analyser le mode de lecture des étudiants, les deux logiciels ont été pourvus d'un système d'enregistrement automatique des noeuds parcourus. Ce système était totalement transparent aux étudiants et générait un fichier texte analysable par la suite avec un tableur.

Ainsi les données suivantes ont été recueillies:

variable 1: nom du noeud visité

variable 2: temps passé dans le noeud

variable 3: bouton utilisé pour quitter le noeud (avant, arrière, hypermot, récent, rechercher, index, bibliothèque)

variable 4: nombre total d'écrans affichés. (c.à.d, pour VIROLAB, l'addition des noeuds de l'hypertexte qui ont été visités et des écrans affichés lors des déplacements dans le laboratoire).

Un exemple de trace annotée est donné dans l'annexe 2

L'analyse des traces de navigation nous a permis ensuite d'extraire, pour chaque question, les données suivantes (les abbréviations utilisées dans le tableau 4 sont données entre parenthèses):

Avant de répondre à une question:

variable 5: temps de lecture avant de répondre à une question (lecture pre Q) ainsi que le nombre noeuds vus (noeuds)

Pour répondre à une question:

variable 6: temps de lecture pour répondre à une question (lecture pour Q) ainsi que le nombre noeuds vus (noeuds)

variable 7: nombre de noeuds lus (temps de lecture supérieur à 10 secondes) plusieurs fois (noeuds plx)

variable 8: est-ce que le ou les noeuds contenant l'information adéquate ont été consultés: 1 si oui, 0 si non (info trouvée ?)

variable 9: nombre de réponses erronées données avant que la réponse correcte soit trouvée (essais)

Après avoir répondu à une question:

variable 10: temps de lecture après la réponse à une question (lecture post Q) ainsi que le nombre noeuds vus

Pour chacun des quatre documents:

variables 11: nombre de noeuds vus (noeuds Flux, noeuds HIV, noeuds Adéno, noeuds Intro)

variables 12: nombre d'appels à l'index (index Flux, index HIV, index Adéno, index Intro)

Totaux

variable 13: temps total de lecture (lecture)

variable 14: nombre total de noeuds vus ou lus (noeuds)

variable 15: nombre total de noeuds lus plusieurs fois (noeuds plx)

variable 16: nombre total d'écrans vus (écrans)

variable 17: nombre total d'appels aux index (index)

variable 18: nombre total d'appels au glossaire (Glossaire)

variable 19: nombre total d'appels à l'outil de recherche par mots (Recherche)

variable 20: nombre total d'hypermots utilisés (Hypermots)

variable 21: temps moyen de lecture de l'énoncé des questions (Moy.t. lu Q)

variable 22: fréquence des retours à la question (Moy.X. lu Q)

Pour VIROLAB, les données supplémentaires suivantes ont été recueillies:

variable 23: Séquence d'activité: dans quel ordre les virus ont-ils été étudiés et est-ce que cette étude a été commencée, interrompue ou terminée par une lecture (A=Adénovirus, F=Influenza, H=HIV, L=lecture)

variable 24: Temps passé dans l'étude d'un virus

6. Dispositif expérimental

Vingt-huit étudiant(e)s en médecine de troisième année ainsi qu'une infirmière diplômée ont participé à l'expérience. Parmi les étudiants, 6 venaient de la filière d'enseignement par problèmes (APP) et le reste, soit 22, avait suivi l'enseignement traditionnel. Malgré cette hétérogénéité leurs connaissances préalables en virologie étaient similaires (sauf pour l'infirmière). Ces étudiants ont été recrutés par le commanditaire de VIROLAB et leur effort a été payé par un voyage à Paris pour deux personnes qui a été tiré au sort à la fin de l'expérience.

L'expérience s'est déroulée en deux séances: une première fois avec 13 sujets le samedi matin 31 mai 1997 et une deuxième fois avec 16 sujets le samedi matin 21 juin 1997. A chaque fois l'expérience s'est déroulée dans la salle des travaux pratiques de la FPSE qui contient en quantité égale des Mac et des PC(Window3.1).

Les étudiants ont été répartis en deux groupes: un groupe utilisant VIROLAB et l'autre l'hypertexte. Pour la première séance nous avons réparti les sujets d'une manière aléatoire (groupe VIROLAB: 5H,1F et groupe Hypertexte: 3H,4F), par contre, à la deuxième séance, nous avons pris soin de répartir les sexes de manière à équilibrer la répartition des genres par groupe (groupe VIROLAB: 3H,5F et groupe Hypertexte: 3H,5F). Le groupe VIROLAB travaillait sur des Mac et le groupe hypertexte sur des PC.

A chaque séance l'expérience s'est déroulée en quatre phases:

- 1) 30 min pour le pré-test
- 2) 10 min de démonstration des deux logiciels
- 3) 1h45 à 2h00 pour travailler avec VIROLAB ou l'hypertexte
- 4) 30 min pour le post-test

Pour la phase de travail avec les logiciels, les étudiants recevaient une feuille contenant les consignes de travail (annexes 3a et 3b). Les sujets du groupe hypertexte devaient noter par écrit sur la feuille de la consigne leurs réponses aux 12 questions du logiciel.

A la fin du post-test, les étudiants ont pris cinq minutes pour remplir un questionnaire d'évaluation du logiciel (annexe 4).

Partie 3: Résultats

Globalement l'expérience s'est bien déroulée. Néanmoins, quelques problèmes dans le dispositif d'enregistrement ont diminué le nombre de résultats exploitables. Premièrement nous n'avions pas pris garde au fait que les PC n'enregistrent que des fichiers dont le nom est inférieur ou égal à 8 caractères. Comme le nom du fichier d'enregistrement est celui donné par l'utilisateur lors de l'identification et que certains ont utilisé un nom plus long que 8 caractères, 4 fichiers du groupe hypertexte ont été perdus lors de la première séance. Le deuxième problème réside dans le fait qu'il semble exister une incompatibilité entre le système d'enregistrement et la mémoire virtuelle. Or une grande partie des PC et Mac qui équipent la salle utilisée pour l'expérience emploient de la mémoire virtuelle. Cette incompatibilité fait que les traces d'enregistrement générées sont incomplètes et donc inexploitables. Ce problème nous a fait perdre 5 fichiers. Donc sur les 29 sujets qui ont participé à l'expérience nous n'avons pu recueillir que 21 traces de navigation, soit le 3/4 des traces.

7. Efficacité de VIROLAB versus l'hypertexte

L'estimation de l'efficacité de ces deux outils a été faite par l'analyse du score des sujets aux pré- et post-tests.

7.1. Analyse globale

Le tableau 1 contient l'ensemble des résultats. Pour chaque question, le type, les points aux pré- et post-tests ainsi que le gain sont indiqués. Les sujets, identifiés par un nom d'emprunt (alias), sont groupés en fonction du logiciel utilisé (VIROLAB=Viro, hypertexte=Htxt). Les valeurs moyennes des deux groupes ont été calculées pour chaque question.

Sur un total de 30 points, la moyenne des sujets atteint un score de 11.6 lors du pré-test et un score de 19.6 au post-test.

La différence de la valeur moyenne des gains totaux entre le groupe VIROLAB (8.14) et le groupe hypertexte (7.93) est de 0.21. Un test de T-Student montre que cette différence n'est pas significative ($t=0.39$).

☛ Dans le contexte de cette expérience, on peut conclure que les deux outils d'apprentissage sont équivalents en terme d'efficacité.

Tableau 1:

| Alias | Groupe Q1 :Viro | | Q2:Htxt | | Q3:Viro | | Q4:Viro | | Q5:Htxt | | Q6:Htxt | | Q7:Viro | | Q8:Viro | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|------|-------------|------|---------|-------------|---------|------|-------------|------|---------|-------------|---------|-------|-------------|------|-------|-------------|------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|
| | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | | | | | | |
| Dan | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | | | | | |
| Robert | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | | | | |
| PC | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | -1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | | | | |
| Greta | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | | | | |
| Marc | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Titeuf (?) | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| "007" | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | | | | |
| SANDI | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | | | | |
| ZORGLUB | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | | | | |
| Sauvan | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| XIBUS | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| ANONYME | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | |
| Blaise | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | | | | |
| Danièle | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | | | | |
| Moyenne Viro | 1.71 | 1.93 | 0.21 | 1.00 | 0.93 | 0.07 | 0.36 | 1.21 | 0.86 | 0.07 | 1.07 | 1.00 | 0.00 | 0.71 | 0.71 | 0.00 | 0.50 | 0.57 | 1.43 | 0.57 | 0.64 | 1.64 | 1.00 | |
| AC | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Glaiser | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Robertson | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Sartorette | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | |
| DT | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| Eye | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Viala | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | |
| HELENE | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | |
| CHARMILL | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | |
| CIMASONI | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | |
| MELINA | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | |
| RAMBO | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | |
| LUDWIG | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| BOUCHET | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| ROBERTO | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| Moyenne Htxt | 1.60 | 1.93 | 0.33 | 0.67 | 1.20 | 0.53 | 0.33 | 1.27 | 0.93 | 0.00 | 1.07 | 1.07 | 0.00 | 0.73 | 0.73 | 0.00 | 0.53 | 0.53 | 1.40 | 1.53 | 0.13 | 1.00 | 1.13 | 0.13 |
| T-test, 2 | 0.29 | 0.48 | 0.30 | 0.08 | 0.14 | 0.03 | 0.46 | 0.43 | 0.41 | 0.15 | 0.49 | 0.41 | 0.48 | 0.48 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.04 | 0.01 | 0.29 | 0.04 | 0.15 | 0.04 | 0.01 |
| T-test, 3 | 0.29 | 0.48 | 0.29 | 0.08 | 0.14 | 0.03 | 0.46 | 0.43 | 0.41 | 0.17 | 0.49 | 0.41 | *** | 0.48 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.02 | 0.29 | 0.04 | 0.15 | 0.04 | 0.01 | |
| D=MGainViro-MGainHtxt | | | -0.12 | | | -0.46 | | | -0.08 | | | -0.07 | | -0.02 | | | -0.03 | | | | 0.44 | | | 0.87 |

| Alias | Groupe Q9:V-H | | Q10:Viro | | Q11:Htxt | | Q12:Htxt | | Q13:Htxt | | Q14:V-H | | Q15:V-H | | Total | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------|------|----------|------|----------|------|----------|-------|----------|------|---------|------|---------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|--|
| | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | pre | post | gain | | | | | | | |
| Dan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 7 | 14 | 7 | | | | | | |
| Robert | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 15 | 21 | 6 | | | | | |
| PC | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 17 | 21 | 4 | | | | | |
| Greta | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 9 | 23 | 14 | | | | | | |
| Marc | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 7 | 19 | 12 | | | | | |
| Titeuf (?) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 9 | 19 | 10 | | | | | |
| "007" | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 15 | 18 | 3 | | | | | |
| SANDI | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 14 | 8 | | | | | |
| ZORGLUB | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 14 | 23 | 9 | | | | | | |
| Sauvan | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 9 | 7 | | | | | | |
| XIBUS | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 12 | 23 | 11 | | | | | | |
| ANONYME | 2 | 1 | -1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | -1 | 2 | 2 | 0 | 14 | 18 | 4 | | | | | |
| Blaise | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | -1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 9 | 22 | 13 | | | | | | |
| Danièle | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | -1 | 16 | 22 | 6 | | | | | |
| Moyenne Viro | 0.79 | 1.07 | 0.29 | 0.57 | 1.21 | 0.64 | 0.79 | 1.29 | 1.43 | 0.64 | 1.36 | 1.50 | 0.14 | 1.21 | 1.43 | 0.21 | 0.79 | 1.57 | 0.79 | 10.86 | 19.00 | 8.14 | | | |
| AC | Htxt | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 11 | 16 | 5 | | | | | |
| Glaiser | Htxt | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 | 14 | 6 | | | | |
| Robertson | Htxt | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 17 | 23 | 6 | | | | | | |
| Sartorette | Htxt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 13 | 20 | 7 | | | | | |
| DT | Htxt | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 11 | 25 | 14 | | | | |
| Eve | Htxt | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 10 | 18 | 8 | | | | | |
| Viala | Htxt | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | -1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 20 | 24 | 4 | | | | | | |
| HELENE | Htxt | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 11 | 17 | 6 | | | | | |
| CHARMILL | Htxt | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | -2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 15 | 21 | 6 | | | | | | | |
| CIMASONI | Htxt | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 20 | 27 | 7 | | | | | | | |
| MELINA | Htxt | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 12 | 21 | 9 | | | | | | |
| RAMBO | Htxt | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 12 | 26 | 14 | | | | | | |
| LUDWIG | Htxt | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | -1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 7 | 20 | 13 | | | | | | |
| BOUCHET | HTxt | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 11 | 7 | | | | | |
| ROBERTO | Htxt | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 13 | 20 | 7 | | | | | | | |
| Moyenne Htxt | 0.87 | 1.60 | 0.73 | 0.60 | 0.93 | 1.60 | 0.67 | 1.47 | 1.67 | 0.20 | 1.13 | 1.47 | 0.33 | 1.07 | 1.60 | 0.53 | 1.20 | 1.93 | 0.73 | 12.27 | 20.20 | 7.93 | | | |
| T-test, 2 | 0.82 | 0.10 | 0.17 | 0.46 | 0.21 | 0.33 | 0.14 | 0.34 | 0.01 | 0.11 | 0.05 | 0.21 | 0.45 | 0.19 | 0.68 | 0.51 | 0.28 | 0.21 | 0.05 | 0.87 | 0.40 | 0.46 | 0.87 | | |
| T-test, 3 | 0.82 | 0.10 | 0.17 | 0.46 | 0.21 | 0.33 | 0.15 | 0.34 | 0.01 | 0.11 | 0.06 | 0.21 | 0.45 | 0.19 | 0.68 | 0.52 | 0.28 | 0.21 | 0.07 | 0.87 | 0.40 | 0.46 | 0.87 | | |
| D=MGainViro-MGainHtxt | | | -0.45 | | | 0.31 | | -0.17 | | | 0.44 | | -0.19 | | -0.32 | | | | 0.05 | | | | | 0.21 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7.2. Analyse par catégories

Dans cette section nous nous posons la question de savoir si l'utilisation d'un des deux outils est plus favorable pour l'apprentissage d'un type particulier de connaissances. Autrement dit, est-ce qu'il y a une différence significative entre les deux groupes quant à la moyenne de leurs gains aux questions de type VIRO et celles de type Htxt ?

Le système de valeur que nous avons choisi pour quantifier les réponses aux questions est quelque peu ambigu. En effet les points sont soit 0, 1 ou 2 et les gains peuvent prendre les cinq valeurs entre -2 et +2, sans qu'il y ait de valeurs intermédiaires (comme 2.5 ou 0.7 par exemple). En théorie ces valeurs pourraient être considérées comme étant de type catégoriel ou ordinal (rang) ou métrique. Cependant il nous a semblé raisonnable de traiter les données comme étant des valeurs ordinales ou métriques. Pour estimer la signifiante des comparaisons, le test T de Student a été utilisé si les données étaient considérées comme métriques alors que les tests de W de Wilcoxon (valeurs appariées) ou U de Mann-Whitney (valeurs non appariées) ont été utilisés dans le cas de valeurs considérées comme ordinales. On notera que dans les analyses ci-dessous, ces deux systèmes donnent les mêmes résultats.

7.2.1. Questions de type Virolab

Nous avons groupé toutes les questions de types Virolab (Viro). Pour chacun des deux groupes nous avons ensuite calculé le gain moyen en considérant les variables comme métriques et le rang moyen en considérant les variables comme ordinales (Tableau 2.1).

Tableau 2.1.

| | Métrique | Ordinal |
|----------------|--------------------|-------------------|
| Gr. VIROLAB | gain moyen=0.71 | rang moyen=18.14 |
| Gr. hypertexte | gain moyen=0.49 | rang moyen=12.07 |
| | t de TStudent=2.07 | U=61.0 |
| | signifiante=0.049 | signifiante=0.049 |

☛ L'analyse ci-dessus montre que le groupe VIROLAB répond significativement mieux que le groupe hypertexte aux questions qualifiées de type Virolab.

7.2.2. Questions de type hypertexte

Nous avons appliqué la même procédure que ci-dessus pour les questions de type hypertexte (Htxt).

Tableau 2.2.

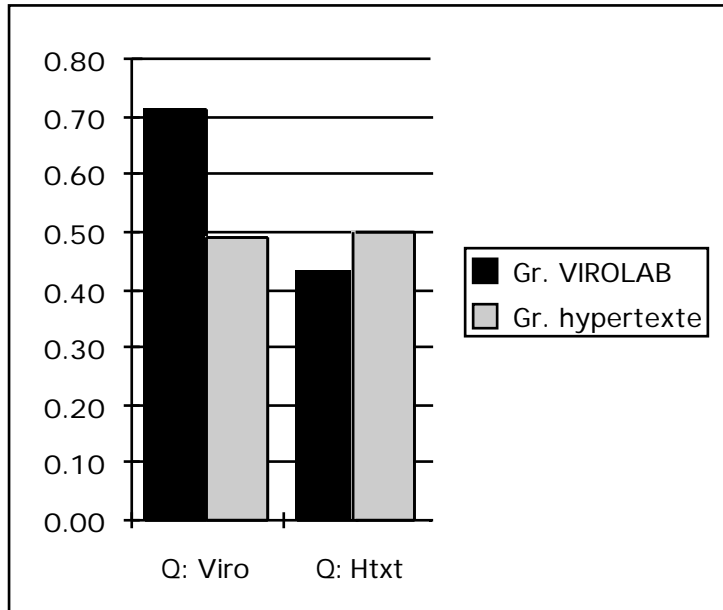
| | Métrique | Ordinal |
|----------------|---------------------|------------------|
| Gr. VIROLAB | gain moyen=0.43 | rang moyen=14.61 |
| Gr. hypertexte | gain moyen=0.50 | rang moyen=15.37 |
| | t de TStudent=-0.53 | U=99.5 |
| | signifiante=0.60 | signifiante=0.81 |

☛ Pour le traitement des questions hypertextes, nous n'observons pas de différence significative entre les deux groupes.

7.2.3. Effet d'interaction

Les valeurs mesurées aux points 7.2.1. et 7.2.2. sont mieux mises en évidence par un diagramme:

Tableau 2.3.



L'asymétrie des rapports entre les quatre catégories pourrait laisser supposer qu'il y ait un effet d'interaction entre les catégories. Cependant l'analyse statistique ci-dessous ne permet pas de considérer cette différence comme statistiquement significative.

Dans le cas de valeurs métriques, une analyse de variance à deux dimensions (1ère dimension: les deux groupes sont indépendants, 2ème dimension: les groupes sont appariés) a été effectuée. Celle-ci donne une valeur $F=2.87$ avec un degré de signifiante de 0.102.

Dans le cas de valeurs de type ordinal, c'est le *Wilcoxon-Matched-pairs signed-rank test* qui a été appliqué. Celui-ci donne une valeur $z=-1.58$ avec un degré de signifiante de 0.113

7.3. Analyse de questions particulières

Afin de visualiser plus facilement si des questions étaient mieux traitées par l'un des deux groupes, la valeur moyenne du gain du groupe hypertexte a été soustraite de celle du groupe VIROLAB. Cette soustraction nous donne une valeur D. Une valeur positive indique que le groupe VIROLAB a mieux répondu à la question correspondante, alors qu'une valeur négative indique le contraire. Nous n'avons considéré que les valeurs absolues plus grandes que celle de la différence des gains moyens totaux (0.21). Dans le tableau 1, ces valeurs sont doublement soulignées et si cette valeur est significative, le degré de signifiante est en vidéo-inverse.

Ces valeurs sont reproduites dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3

| | Q2 Htxt | Q7 Viro | Q8 Viro | Q9 V-H | Q10 Viro | Q12 Htxt | Q14 V-H |
|-----------------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|
| gain moyen VIROLAB | 0.07 | 0.57 | 1.00 | 0.29 | 0.64 | 0.64 | 0.21 |

| | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| gain moyen | 0.53 | 0.13 | 0.13 | 0.73 | 0.33 | 0.20 | 0.53 |
| hypertexte | | | | | | | |
| différence des gains D | -0.46 | 0.44 | 0.87 | -0.45 | 0.31 | 0.44 | -0.32 |
| signifiante du t de Student | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.17 | 0.21 | 0.05 | 0.27 |

On voit que les questions 2,7,8 et 12 sont significativement mieux traitées par l'un ou l'autre groupe. Sauf pour la question 12, il y a corrélation entre le type de question et le groupe.

Enoncé des questions 7 et 8:

7. *L'attachement sur le récepteur cellulaire est déterminant pour la multiplication virale. Dans le cas de HIV et Influenza, quels sont ces récepteurs et en quoi se distinguent-ils?*

8. *HIV se lie à la cellule hôte par reconnaissance de gp120 avec le récepteur CD4. Pourtant, le virus ne peut pas entrer. Que manque-t-il? Rajoutez-le et indiquez l'étape qui s'ensuit.*

Les questions type Viro 7 et 8 sont mieux traitées par le groupe VIROLAB probablement parce que leur sujet est très visuel et moteur. Dans les deux cas il s'agit de mécanismes d'interaction entre le récepteur cellulaire et le co-récepteur viral. Le groupe VIROLAB devait activement appareiller virus et cellules (il y a reconnaissance visuelle, décision, et mouvement manuel (drag and drop) pour valider le choix) afin d'initier le cycle de multiplication.

Enoncé des questions 2 et 12

2. *Quel événement marque le passage de la phase précoce en phase tardive durant la multiplication virale. Mentionnez une caractéristique de la phase tardive.*

12. *Le génome des virus de l'Influenza est formé de 7-8 segments de vARN de sens négatif. Lors de la multiplication du virus, deux autres catégories d'ARN sont produits. Quels sont-elles et en quoi se distinguent-elles?*

La question type hypertexte 2 n'est pas cruciale au bon déroulement du processus de multiplication dans VIROLAB. Il est possible que l'information nécessaire pour répondre à cette question ait ainsi pu échapper aux utilisateurs de VIROLAB. Quant à la question 12, nous l'avons classée type hypertexte car l'hypertexte contient une information écrite et illustrée de la question alors que dans VIROLAB, cette information n'apparaît que sous forme écrite dans l'écran qui suit la résolution du problème et non dans la résolution du problème lui-même. Il est donc possible que les informations contenues dans les écrans montrant les conséquences de la résolution d'un problème facilitent la mémorisation tout comme celles vues dans la résolution immédiate d'un problème.

8. Analyse des traces de navigations

Afin de ne pas surcharger ce manuscrit, seule une trace est fournie en guise d'exemple dans l'annexe 2. Le tableau 4 synthétise les données extraites de 20 traces de navigation. En bref, pour chaque question, nous avons: le temps passé à lire la documentation ainsi que le nombre de noeuds vus a) avant que le sujet ait été confronté à la question (lecture pre Q), b) après lecture de la question (lecture pour Q) et c) après avoir répondu à la question (lecture post Q). La section suivante indique le nombre de noeuds vus dans chacun des quatre documents (Flux, HIV, Adéno, Intro). Finalement, la section TOTAL comptabilise les totaux du temps de lecture (lecture), de nombres de noeuds vus (noeuds), de nombre de noeuds lus plusieurs fois (noeuds plx), des écrans (écrans), des appels d'index (index), des appels au glossaire (Glossaire), des appels au système de recherche par mots (Recherche), des hypermots activés. Pour une explication détaillée des données présentées dans ce tableau veuillez consulter la section 5.2.

8.1. Analyse intergroupe

Durée de la lecture

Une analyse des temps de lecture montre que le temps de lecture moyen du groupe VIROLAB est de 49 minutes alors que celui du groupe hypertexte est de 96 minutes (Tableau 5).

☛ Autrement dit, le groupe VIROLAB lit deux fois moins que le groupe hypertexte mais obtient des scores au post-test équivalents.

Etant donné que le groupe VIROLAB répond significativement mieux aux questions type Virolab (cf. section 7.2.1.) et que les informations relatives à celles-ci sont acquises dans l'activité d'enquête, on peut conclure qu'une activité exploratoire comme VIROLAB remplace avantageusement la simple lecture.

Séquence de la lecture

☛ Si l'on regarde comment cette lecture est faite, on s'aperçoit que, pour le groupe VIROLAB, la documentation n'est presque jamais utilisée comme aide à la résolution d'un problème.

En effet, la ligne *Séquence* du tableau 4 montre que la lecture se fait avant le début d'une enquête ou après, un peu en guise de révision, ou bien tout à la fin de l'expérience lorsque les trois enquêtes ont été faites. Ceci est appuyé par les chiffres suivants: sur les 49 minutes qu'un utilisateur de VIROLAB passe à lire l'hypertexte, seules 8 minutes (17%) sont utilisées pour la résolution des problèmes. En tenant compte du nombre de questions ou sous-problèmes (10) et du nombre de sujets (11), il y a 110 occasions (10 questions X 11 sujets) de consulter la documentation, pourtant seules 18 sont saisies (16%).

Par contre, la conception du logiciel hypertexte induit ses utilisateurs à lire la documentation pour répondre aux questions. Ainsi, sur une moyenne de 96 minutes de lecture, 61% sont passées pour la résolution des questions, 4% comme confirmation à la réponse donnée (variable 10: lecture post-Q) et le 35% restant en fin de travail. Dans 64% des cas, les sujets de ce groupe consultent la documentation avant de répondre.

***** TABLEAU 4*****

Lecture active/passive

La structure de l'hypertexte conçu pour VIROLAB (et par extension l'hypertexte tout seul) est une structure hiérarchique ou en arbre. Cette architecture ainsi que le petit nombre d'hypermots rendent sa lecture linéaire et passive. Cependant on peut considérer que les fréquences d'utilisation des indexes, des hypermots, du glossaire et de l'outil de recherche par mot sont des indicateurs d'une lecture plus active. Ces valeurs ont été extraites du tableau 4 et condensées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5

| | Gr. VIROLAB | | Gr. hypertexte | |
|------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|
| | Total | Moyenne | Total | Moyenne |
| Lecture | 32740 s | 49 min | 51690 s | 96 min. |
| appels index | 311 | 0.57/ min. de lect | 479 | 0.55/ min. de lect. |
| recherche active | 59 | 0.11/ min. de lect. | 52 | 0.06/ min. de lect |

Les valeurs des colonnes *Total* pour le paramètre *recherche active* contiennent la somme des appels au glossaire, de l'outil de recherche et l'utilisation d'hypermots. Les valeurs du paramètre *appels index* et *recherche active* ont été normalisées par rapport à une minute de lecture et sont exprimées dans les colonnes *Moyenne*.

☛ On constate que, pour les deux groupes, toutes les deux minutes les sujets consultent un index. Les « outils » regroupés dans le paramètre *recherche active* sont assez peu utilisés, cependant ils le sont deux fois plus souvent par le groupe VIROLAB. Cette dernière observation n'est cependant pas statistiquement significative (probabilité associée au test T de Student = 0.09).

On pourrait penser que le groupe VIROLAB utilise les outils de recherche active plus fréquemment parce qu'il est concentré sur son activité et veut obtenir rapidement une information, sans perdre de temps à feuilleter la documentation. Mais ce n'est pas le cas puisque la documentation est essentiellement consultée en dehors des enquêtes. Il est plus probable que c'est l'activité interactive même de VIROLAB qui induit ce comportement, qu'elle désinhibe l'utilisateur face au logiciel, les pousse à essayer toutes les fonctionnalités du logiciel.

8.2. Analyse intragroupe par catégories fort/faible

A l'intérieur de chacun des groupes, nous avons comparé les traces de navigation entre les étudiants qui avaient obtenu un bon score au post-test (étudiants qualifiés: fort) et ceux qui avaient un score faible (étudiants qualifiés: faible). Ainsi pour le groupe VIROLAB nous avons comparé Greta et Danièle (fort) avec 007 et Sandi (faible). Pour le groupe Hypertexte, Viala et RAMBO (fort) ont été comparés à Hélène et Bouchet (faible).

D'une manière générale, il est très difficile de dégager des modes spécifiques à l'une ou l'autre catégorie par l'analyse des valeurs du Tableau 4.

Ainsi, dans le groupe hypertexte, on constate que le profil des valeurs de la section *Total* (voir Tableau 6) de Bouchet (faible) est similaire à celui de Viala (fort). La différence de score entre ces deux sujets est probablement due au fait que Viala a de meilleures connaissances préalables que Bouchet (pre-test: 20 versus 4).

Tableau 6

| | Gr. VIROLAB | | | | Gr. hypertexte | | | |
|-------------|-------------|---------|--------|-------|----------------|-------|--------|---------|
| | Fort | | Faible | | Fort | | Faible | |
| Alias | Greta | Danièle | "007" | Sandi | Viala | Rambo | Hélène | Bouchet |
| Pre-test | 9 | 16 | 15 | 6 | 20 | 12 | 11 | 4 |
| Post-test | 23 | 22 | 18 | 14 | 24 | 26 | 17 | 11 |
| Gain total | 14 | 6 | 3 | 8 | 4 | 14 | 6 | 7 |
| lecture | 3823 | 3484 | 2251 | 5668 | 5494 | 6128 | 6471 | 6267 |
| noeuds | 65 | 85 | 39 | 62 | 48 | 94 | 84 | 49 |
| noeuds plx | 25 | 13 | 1 | 21 | 9 | 28 | 28 | 14 |
| écrans | 394 | 535 | 492 | 263 | 175 | 286 | 427 | 120 |
| index | 30 | 44 | 6 | 34 | 29 | 51 | 75 | 23 |
| Glossaire | 0 | 9 | 9 | 3 | 0 | 1 | 6 | 0 |
| Recherche | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hypermots | 0 | 6 | 0 | 0 | 13 | 0 | 3 | 0 |
| Moy.t. lu Q | | | | | 83 | 70 | 51 | 87 |
| Moy. X lu Q | | | | | 2.33 | 1.66 | 2.75 | 1.71 |

Dans le groupe VIROLAB, Greta et Sandi ont des connaissances initiales semblables (pre-test: 9 versus 6), mais Greta obtient un meilleur score au post-test (23:14). On pourrait expliquer cela parce que Sandi n'a étudié que le virus Adéno alors que Gréta a fait toutes les enquêtes. Notez cependant que le temps de lecture de Sandi est de 30' supérieure à celui de Greta, pourtant Sandi obtient un moins bon score que Greta. Il serait donc tentant de conclure que, pour un temps de travail limité (2h), travailler avec VIROLAB est plus efficace que la pure lecture.

8.3. Analyse par épisodes

Des boutons-réponse étaient associés à la moitié des questions (Q1,3,4,6,8,9). Il suffisait de les presser pour obtenir immédiatement un feed-back sur la pertinence du choix. Si l'on ne connaît pas la réponse à la question, il est fort tentant de cliquer sur plusieurs boutons jusqu'à ce que l'on obtienne la bonne réponse. Pour ce type de questions, le taux de consultation de la documentation baisse de 30% par rapport aux questions ouvertes.

Suivant les questions, celles-ci nécessitent une consultation plus ou moins importante de la documentation. Ainsi, la réponse à la question 6 ne nécessite aucune lecture et les réponses aux questions 3 et 9 n'impliquent que peu de lecture. A l'inverse, certaines questions comme Q7 et Q10 conduit à une lecture importante (nombre de fois que la documentation a été consultée et temps de lecture). Ces variations reflètent probablement le degré de difficulté des questions. L'analyse du tableau 4 montre aussi que, certains sujets du groupe hypertexte ont accédé dans 14% des cas à la bonne information (info trouvée = 1) mais ne répondaient pas correctement (essais = 0). Ceci indique que, soit les sujets ont accédé à cette information par chance soit que l'information est mal présentée.

9. Discussion

Bien que l'analyse des données que nous avons recueillies conduit à certains résultats significatifs, il faut rester très prudent. Premièrement l'échantillon était petit (n=29) et assez hétérogène quant à ses résultats. Ainsi si l'on enlève le sujet Sauvan, le nombre de questions qui étaient traitées significativement mieux par l'un des deux groupes passe de 4 à 2. D'autre part le temps d'utilisation (environ 2 heures) était court. De tels outils sont pensés pour une utilisation répétée. Il est fort possible que les valeurs et les différences de gains soient modifiés par une utilisation prolongée des outils. Il ne nous a également pas été possible de juger de l'effet à long terme de chaque outil: des différences pourraient apparaître. Ceci étant dit nous allons tenter de discuter ces résultats.

9.1. Efficacité

D'une manière générale on ne peut pas dire qu'un des deux outils est meilleur que l'autre en terme d'efficacité d'apprentissage. Il est dès lors légitime de se demander s'il vaut la peine d'investir dans un tel logiciel. Plusieurs éléments doivent être pris en compte. En sa défaveur je ne vois qu'un élément mais qui est de poids: celui de l'argent. Cela peut être un facteur important pour des institutions comme les universités qui chroniquement en manquent. En sa faveur il y a toutes les données des recherches de la psychologie cognitive et constructiviste dont un thème récurant est la participation active des apprenants dans le processus d'apprentissage. Ces écoles ont clairement montré que des étudiants qui ont une activité de production (et pas seulement une activité de reproduction comme cela est trop souvent le cas), comprennent plus profondément et mémorisent mieux les informations traitées. Même si VIROLAB n'est qu'une simulation très primitive d'un laboratoire de biologie, son utilisation se rapproche des conditions utilisées dans les apprentissages en contexte (voir par exemple Goldman et al., 1996).

L'importance de l'activité de l'apprenant est corroborée par le fait que les questions qui sont associées à un processus de résolution de problèmes semblent être mieux traitées par le groupe VIROLAB que par le groupe hypertexte (voir la section 7.2.1 et plus particulièrement les questions 7 et 8). Par processus de résolution de problème nous entendons que les questions qui, dans VIROLAB, impliquaient une interactivité entre l'étudiant et le système (choix, déplacement d'objet, feed-back sur le choix, résultat d'un choix) ont favorisé la mémorisation des informations. Ceci est en parfaite concordance avec les idées propagées par les courants constructivistes.

La faculté de médecine, pour laquelle ce logiciel a été développé, est en train de mettre en place un nouveau type d'enseignement: l'apprentissage par problème (APP). Brièvement, l'APP est une méthode d'enseignement basée par l'utilisation de cas de patients (case-based problems) comme contexte dans lequel l'étudiant acquiert des connaissances à la fois en sciences de base et cliniques ainsi qu'une capacité à résoudre des problèmes cliniques (problem solving skill). La caractéristique essentielle de l'APP est que le problème est présenté avant que les étudiants aient appris les concepts cliniques et les sciences de base qui s'y rattachent. Une fois le problème posé, la séquence d'apprentissage est la suivante: 1) en petit groupe de 8 à 10 étudiants, discussion et identification des besoins en terme de connaissances nouvelles à acquérir, 2) répartition de la tâche et travail individuel, 3) mise en commun des

connaissances nouvellement acquises et utilisation de ces connaissances dans la résolution du problème, 4) un bilan de travail de groupe est finalement effectué. Durant ce processus, les étudiants sont encadrés par des tuteurs qui ont un rôle de guides ou, selon le terme officiel de l'APP, facilitateurs d'apprentissage.

Ainsi, même si VIROLAB ne marie pas (encore) clinique et sciences de base, il est un outil d'apprentissage qui s'accorde bien avec l'esprit de l'APP.

Un cinquième des étudiants ayant participé à cette expérience venait de la filière APP. L'analyse des scores aux tests n'a cependant pas montré de différences significatives entre les deux filières.

Un dernier élément en faveur de VIROLAB a été révélé par les réponses au questionnaire d'évaluation des logiciels. Ceux qui ont utilisé l'hypertexte ont très souvent mentionné la fatigue oculaire et leur préférence à avoir une version papier. Evidemment on peut toujours prétendre que l'hypertexte était mal fait, mais le problème de la lecture à l'écran reste entier. Par contre les utilisateurs de VIROLAB n'ont jamais mentionné ce problème de fatigue et ont plutôt apprécié l'aspect interactif et ludique du logiciel. Le bilan est donc favorable à VIROLAB.

9.2. Navigation.

L'analyse des traces de navigation permet de juger l'utilisation et l'efficacité d'environnements multimédias contrôlés par l'utilisateur.

Cette analyse a révélé un fait étonnant: les utilisateurs de VIROLAB ne consultent que très peu la bibliothèque en cours d'enquête; ils la consultent avant ou après avoir vu un virus. Il y a dissociation entre résolution de problème et consultation de l'hypertexte. Cela nous donne l'impression que ces utilisateurs sont pris dans le cours de leur enquête, qu'ils se concentrent d'abord sur la tâche à accomplir (multiplication du virus choisi) avant de « perdre » du temps à lire. Est-ce qu'ils n'aiment pas réaliser deux tâches en parallèle (surcharge cognitive) ? On peut d'ailleurs mentionner que ce comportement est celui que l'on trouve dans un laboratoire réel. L'expérimentateur ne s'arrête pas en cours de manipulation pour aller consulter des articles à la bibliothèque, les lectures se font avant ou après l'expérimentation. On pourrait aussi émettre l'hypothèse que les problèmes sont suffisamment structurés pour que l'étudiant trouve la solution sans consulter l'hypertexte.

Cette observation a une incidence sur la conception du logiciel. Faut-il incorporer plus de connaissances déclaratives autour de la tâche (dans les feed-back, « bulles » dans la fenêtre des actions) et non hors de la tâche (comme c'est le cas actuellement avec la bibliothèque) ? Comment le faire sans alourdir l'activité ? Faut-il créer des liens directs et impératifs avec la documentation de la bibliothèque ou bien des liens mentionnés mais dont l'activation est laissée au libre choix de l'utilisateur ? L'utilisation d'un hypertexte pédagogique à parcours orienté comme celui développé par l'équipe de Forte (Forte et al., 1993) serait une piste à explorer.

Passant en revue plusieurs articles traitant de l'analyse de traces de navigation dans les hypertextes, Lawless (Lawless et Brown, 1997; Lawless et Kulikowich, 1996) conclue qu'il existe trois grands profils de navigateurs: 1) les *chercheurs d'informations*

(knowledge seekers), 2) les *chercheurs d'effets techniques* (feature explorers) et 3) les *utilisateurs apathiques*.

Les *chercheurs d'informations* (appelés aussi les amoureux de livres) sont ceux qui cherchent activement l'information dans le but d'accroître leur compréhension d'un domaine. Leur navigation est sélective et systématique.

Les *chercheurs d'effets techniques* (appelés aussi resource junkies) sont ceux qui passent un temps disproportionné à regarder des animations, clips vidéo, ou à utiliser des outils pouvant générer des effets visuels ou acoustiques. Ces utilisateurs passent plus de temps à comprendre comment le logiciel fonctionne ou à savoir quel effet multimédia il contient plutôt que de chercher des informations importantes contenues dans le didacticiel.

Les *utilisateurs apathiques* sont ceux qui montrent peu ou pas d'intérêt dans l'utilisation du logiciel, que ce soit pour la recherche d'information et pour essayer ses possibilités. Ces utilisateurs sont caractérisés par le peu de temps qu'ils passent avec le logiciel et par une navigation linéaire et monotone.

Dans notre expérience, nous n'avons pas rencontré ces trois types d'utilisateurs. Les conditions mêmes de l'expérience (sujets volontaires, lecture stimulée par des activités de recherche) font que tous appartiennent au profil de chercheurs d'informations. Tout au plus nous avons rencontré deux sujets extrêmes: une personne très peu à l'aise avec l'hypertexte (Bouchet) et une autre très intéressée par les outils informatiques (Cimasoni). Leur mode de navigation confirme leur sentiment avec l'informatique: Bouchet lit un document en entier en utilisant uniquement les boutons avant et arrière, et lorsqu'il s'agit de répondre aux questions lit plus que nécessaire ou ne sait pas exploiter les informations vues. Bien que nous n'ayons pas la trace complète de Cimasoni (ne se trouve pas dans le tableau 4), on s'aperçoit qu'il utilise toutes les possibilités offertes par la barre de navigation et notamment l'outil de recherche par mot: il ne semble pas effrayé de sortir de la linéarité du texte. Ce sujet a voulu terminer rapidement l'expérience avec l'hypertexte pour pouvoir aussi utiliser VIROLAB.

Dans les deux articles mentionnés ci-dessus, Lawless mentionne que les lecteurs ayant une plus grande connaissance préalable et un plus grand intérêt dans l'outil utilisent d'une manière plus efficace les techniques de navigation pour acquérir de l'information, par là facilitant la compréhension d'un hypertexte. Ceci semble être le cas pour les deux sujets mentionnés plus haut. Mais, encore une fois, le temps limité d'utilisation, la structure très hiérarchisée de l'hypertexte ainsi que des connaissances préalables homogènes empêchent une telle analyse de nos traces de navigation.

9.3. Conclusion

Quatre éléments ressortent de cette étude:

- 1) aucun des deux outils d'apprentissage ne semble supérieur à l'autre en terme d'efficacité d'apprentissage,
- 2) par contre VIROLAB semble favoriser la compréhension et la mémorisation de faits ayant nécessité une participation active de l'apprenant,
- 3) l'activité de résolution de problèmes de VIROLAB remplace avantageusement la lecture,

4) les utilisateurs de VIROLAB dissocient l'activité de résolution de problème de celle de lecture.

Le lecteur l'aura bien senti, notre préférence va pour le développement d'outils d'apprentissage de type micromonde, d'environnement où l'apprenant n'est pas un simple récepteur mais un acteur et producteur. VIROLAB va dans ce sens: nous avons tenté de faire passer, au travers d'une activité de type résolution de problèmes, des notions qui s'acquièrent classiquement par la lecture. Cette étude a montré, comme beaucoup d'autres, que cela est faisable. Dans les versions futures de VIROLAB nous prévoyons d'augmenter l'activité de l'apprenant en le laissant construire un virus à partir d'éléments de base, puis de tester la fonctionnalité du virus nouvellement construit dans le laboratoire virtuel. Ainsi la découverte de la relation structure:fonction se fera par l'expérimentation. Afin d'intégrer connaissances en sciences de base et sciences cliniques, nous avons également le projet d'incorporer, sous la forme de cas de patients, des données sur la pathologie des virus présentés. Finalement, les résultats de ce travail nous montrent que l'intégration des connaissances factuelles (actuellement la bibliothèque) devra être repensée.

Bibliographie

Alexander, P.A., Kulikowich, J.M. et Jetton, T.L. (1994). *The role of subject matter knowledge and interest in the processing of linear and nonlinear texts*. Review of Educational Research, 64, 201-252.

Anderson, J.R. and Corbett, A.T. (1990) *Acquisition of LISP Programming Skill*, in Foundation of Knowledge acquisition: cognitive models of complex learning. Chipman and Meyrowitz editors, Kluwer Academic Publishers, 1-24

Baddley, A. (1993). *La mémoire humaine. Théorie et pratique*. Presses universitaires de Grenoble p343-381

Bransford J.D. and Johnson, M.K. (1972) *Contextual prerequisites for understanding: some investigations of comprehension and recall*. J. Verbal Learn. Verbal Behav., 11, 717-726

Balasubramanian, V. (1994) *State of lthe Art Review on Hypermedia Issues and Applications*, document online à l'URL: <http://eies.njit.edu/~333/review/hyper.html>

Barab, S.A, Bowdish, B.E., Young, M.F. and Owen, S.V. (1996). Understanding kiosk navigation: using log files to capture hypermedia searches. Instructional Science, 24, 377-395

Casey, C. (1996). *Incorporating cognitive apprenticeship in multi-media*. Educational Technology: Research and Development, 44, 71-84

Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1990) *Anchored instruction and its relationship to situated cognition*. Educational Researcher, 19, 2-10

Collins, A., Brown, J.S. et Newman, S.E (1987), *Cognitive apprenticeship: teaching the crafts of reading, writing, and mathematics*. In L. Resnick (Ed), Knowing, learning, and instruction. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Conklin, J., (1987) *Hypertext, an introduction and survey*, IEEE Computer, 20, 17-41

De Bra, P.M.E, (1997) *Hypermedia and systems*, document online à l'URL: <http://wwwis.win.tue.nl/2L670/static/index.html>

De Corte, E. (1996) *Changing views of computer supported learning environments for the acquisition of knowledge and thinking skills*. in International Perspectives on the Design of Technology-Supported Learning Environments, Vosniadou et al. editors, Lawrence Erlbaum associates, publishers., 129-145

Dillon, A. (1991) *Readers' models of text structure: the case of academic materials*. International Journal of Man-Machine Studies, 35, 913-925

Forte, E.N., Herzog, J.-M. et Wentland, M.C. (1993). *Identification de concepts et parcours orienté dans un hypertexte pédagogique*. In Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur, Eyrolle, Paris, 169-180

Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*. Paris, Gallimard

Gagné, R.M. (1985). *The Conditions of Learning* (4th Ed). New York: Holt Rinehart, and Winston.

Guthrie, J.T. et Kirsch, I.K. (1987). *Distinctions between reading comprehension and locating information in text*. Journal of Educational Psychology, **79**, 220-227

Goldman, S.R., Petrosino, A.J., Sherwood, R.D., Garrison, S., Hickey, D., Brandsford, J.D. and Pellegrino, J.W. (1996) *Anchoring science instruction in multimedia learning environments*, in International Perspectives on the Design of Technology-Supported Learning Environments, Vosniadou et al. editors, Lawrence Erlbaum associates, publishers., 257-284

Grob, J.M., (1997) *Hypertexte et apprentissage*, document online à l'URL: <http://tecfa.unige.ch/~grob/trav2.htm>

Halasz, F., (1988) *Reflections on NoteCards: Seven issues for the next generation of hypermedia systems*, CACM 31:7, 836-852.

Halasz, F., (1991) « *Seven Issues* » revisited, Keynote address, Hypertext '91, document online à l'URL: <http://www.parc.xerox.com/spl/projects/halasz-keynote/>

Honebein, P.C, Duffy, T.M. et Fishman, B.J. (1993) *Constructivism and the design of learning environments: context and authentic activities for learning*. in Designing Environment for Constructive Learning. Duffy, Lowyck and Jonassen, editors. Springer Verlag, Heidelberg

Document online à l'URL: ftp://ithaca.icbl.hw.ac.uk/pub/nato_asi/duf2.rtf.gz

Jacobson, M.J., Maouri, C., Mishra, P. et Kolar, C., (1995) *Learning with hypertext learning environments: theory, design and research.*, Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, **4**, 321-364.

Une mise à jour (1996) de cet article est disponible à l'URL:

<http://lpsl.coe.uga.edu/jacobson/papers/JEMH96/JEMH96.html>

Jacobson, M.J. et Archodidou (1997) *Cased-based hypermedia and learning neo-darwinian evolutionary biology: promoting conceptual change of complex scientific knowledge*. Manuscript qui doit être publié prochainement, existe déjà comme document online à l'URL:

<http://lpsl.coe.uga.edu/Jacobson/papers/JacobsonEvo97.pdf>

Jonassen, D.H.(1991) *Hypertext as instructional design*, Educational Technology: Research and Development, 39

Kearsley, G. (1997). *Explorations in learning and instruction: the theory into practice database*. Document on-line à l'URL: <http://www.gwu.edu/~tip/>

Jonassen, D.H. et Wang, S. (1993) *Acquiring structural knowledge from semantically structured hypertext*, Journal of Computer-Based Instruction, **20**, 1-8

Lawless, K.A. et Kulikowich, J.M. (1994) *Reading Comprehension, Navigation and Hypertext*. Paper presented at the annual meeting of the Northeastern Educational Research Association, Ellenville, NY.

Lawless, K.A. et Kulikowich, J.M. (1996) *Understanding hypertext navigation through cluster analysis*. Journal of educational computing research, **14**, 385-399

Lawless, K.A. and Brown, S.W. (1997) *Multimedia learning environments: issues of learner control and navigation*, Instructional Science, **25**, 117-131

Lebow, D. (1994). *Constructivist values for instructional systems design: five principles toward a new mindset*. Educational Technology Research and Development, **41**, 4-16

Lindsay et Norman (1980). *Traitement de l'information et comportement humain*. Ed. Etudes Vivantes

Lodevijks, H. (1982). *Self-regulated versus teacher-provided sequencing of information in learning from text.*, in A. Flammer et W. Kintsch, eds., Discourse processing, Amsterdam: North Holland, 509-520

Lynch, C. (march 1997) *Searching the Internet*, Scientific American, 44-48

McKendree, J., Reader, W. et Hammond, N. *The « homeopathic fallacy » in learning from hypertext*. Interactions, ACM Press, 2, 74-82. Document online à l'URL: <http://www.icbl.hw.ac.uk/~jonathan/Papers/interactions.html>

Merrill, D (1997). *Instructional Transaction Theory (ITT): Instructional design based on knowledge objects*.

Document on-line à l'URL: <http://www.coe.usu.edu/coe/id2/ddc0997.html>

Norman GR and Schmidt HG. (1992) *The psychological basis of problem-based learning: a review of the evidence*. Acad. Med., 67(9):557-565.

Palincsar, A.S. et Brown, A.L. (1984) *Reciprocal teaching of comprehension-fostering and monitoring activities*. Cognition and Instruction, **1**, 117-175

- Papert, S. (1980) *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York: basic books. Version française: *Jaillissement de l'esprit. Ordinateurs et apprentissage*. Flammarion, Collection Champs, 210.
- Pea, R. (1987). *Integrating learner and computer intelligence*. In *Mirrors of minds: patterns of experience in educational computing*. Roy D. Pea and Karen Sheingold editors, Albex publishing corporation, p128-146
- Rada, R. (1991) *Hypertext: from text to hypertext*, McGraw Hill Publishers
- Reusser, K. (1996). *From cognitive modeling to pedagogical tools*. in *International Perspectives on the Design of Technology-Supported Learning Environments*, Vosniadou et al. editors, Lawrence Erlbaum associates, publishers., 81-103
- Rieber, L.P. (1992) *Computer-based microworlds: a bridge between constructivism and direct instruction*. *Educational Technology Research and Development*, **40**, 93-106
- Rieber, L.P. (1996) *Seriously considering play: designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations, and games*. *Educational Technology Research and Development*, **44**, 43-58. Document online: <http://itech1.coe.uga.edu/faculty/lprieber/play.html>
- Rouet, J-F. (1991) *Learning to read a hypertext: a cognitive approach*, poster presented at the Hypertext'91 conference, San Antonio, TX, Dec. 15-18
- Rouet, J-F. (1992) *Cognitive processing of hyperdocuments: when does nonlinearity help ?*, in Lucarelli, D, Nanard, J., Nanard, M., et Paolini, P. (eds), *Proceedings of the ACM Conference on Hypertext* , 1992, Milano, Italy, 131-140
- Schneider, D., Borcic, B., Dillenbourg, P., Hilario, Mélanie et Mendelsohn, P. (1993) *Intégration d'un hypertexte dans un environnement d'apprentissage à initiative mixte*. Papier présenté à *Hypermédia et apprentissage*, 2èmes Journées Francophones, 24 et 25 mars 1993, Lille, France.
- Schneider, D. (1994) *Teaching and Learning with Internet Tools. A position paper*. Papier présenté lors du workshop « Teaching and Learning with the Web », première conférence sur le WWW, 1994, CERN, Genève. Document online à l'URL: <http://tecfa.unige.ch/edu-comp/edu-ws94/contrib/schneider/schneide.book.html>
- Schroeder, E.E. et Grabowski, B.L. (1995) *Patterns of exploring and learning with hypermedia*, *Journal of Educational Computing Research*, **13**, 313-335

Shin, E.C., Schallert, D.L. et Saveyne, W.C. (1994) *Effect of learner control, advisement, and prior knowledge on young student's learning in a hypertext environment*, Educational Technology Research and Development, **42**, 33-46

Shneiderman, B., Kearsley G. (1989) *Hypertext Hands-On!: An Introduction to a New Way of Organizing and Accessing Information*, Addison Wesley. Publishing compagny.

Smith, J.B. (1997) The king is dead; long live the king. Allocution d'ouverture de The Eighth ACM Conference on Hypertext, Hypertext'97, Southampton,UK, document online à:

<http://journals.ecs.soton.ac.uk/~lac/ht97/key1.html>

Squires, D. (1996) *Can multimedia support constructivist learning ?* Papier présenté à Australian Computers in Education Conference 1996, Document online à l'URL:

<http://www.spirit.com.au/ACEC96/papers/squir.htm>

Sweller, J. et Chandler, P. (1991) *Evidence for cognitive load theory*, Cognition and Instruction, **8**, 351-362

Tricot, A. (1995) *Un point sur l'ergonomie des interfaces hypermédias*, Le travail Humain, **58**, 17-45

Trigg, R.F. (1996) *Hypermedia as integration: recollections, reflections and exhortations*, Keynote address, Hypertext '96, document online à l'URL:

<http://www.parc.xerox.com/spl/members/trigg/HT96-keynote/Talk-text.html>

Wittgenstein, L. (1953) *Phylosophical investigation*. New York: Macmillan

Zeller, P. (1996) *Etude des stratégies d'exploration d'un « hyperdocument » utilisé pour la formation professionnelle des ambulanciers*. Mémoire de licence en Sciences de l'Education, FPSE, Genève, mars 1996.