



par **PIERRE DÉSAUTELS**

professeur de physique
Collège de Rosemont

Ces deux dernières années, grâce à une subvention obtenue de PROSIP, j'ai tenté de vérifier si l'intuition qu'ont nos étudiants de phénomènes physiques simples est aussi mauvaise que l'indiquent les résultats obtenus aux États-Unis et ensuite, de vérifier s'il est possible, comme je le croyais, de développer cette intuition, grâce à des simulations interactives programmées en Logo.

Dans les quelques pages qui suivent, je vous présenterai un résumé de ce travail de recherche. Le rapport final devrait être diffusé dans le courant du mois d'octobre 1985. Il porte le titre de Piago. En plus des trois ou quatre copies qui seront envoyées au directeur des services pédagogiques de chaque collège, des copies supplémentaires pourront être obtenues en s'adressant au Service de la recherche du Collège de Rosemont.

Problématique

La plupart des professeurs de physique ont déjà observé, à moult reprises, que beaucoup d'étudiants réussissent les cours sans avoir vraiment compris ce dont il était question. J'entends par là que ces étudiants ont obtenu la note de passage pour leur cours de physique et que, parallèlement, ils démontrent, par leurs questions, ou par leur incapacité à répondre correctement à certaines questions, qu'ils n'ont pas une vision claire et juste des phénomènes qu'ils ont étudiés.

Cette situation perdure même à l'université. Ainsi, Trowbridge, cité par Viennot, dans *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire* (1979) dit que sa recherche...

« ...has shown a remarkable inability in university students to deal with the concept of velocity which might parallel the late appearance of velocity-centered strategies. »

Et Viennot, dans le même ouvrage, indique avoir trouvé qu'environ 50% des étudiants ont tendance à confondre force et vitesse, ce qui les amène à prévoir que les choses vont dans la direction dans laquelle on les pousse, une conception tout ce qu'il y a de plus aristotélicienne. Viennot a trouvé que cette conception se maintient même en troisième année universitaire.

Cette constatation est décevante car on pense qu'il est « normal » qu'un étudiant, qui a étudié un phénomène dans un de ses cours et qui a réussi ce cours, soit capable de répondre à quelques questions simples, ne faisant appel à aucune méthode compliquée mais uniquement à une connaissance des caractéristiques fondamentales du phénomène concerné.

On ne mesure généralement pas la compréhension intuitive qu'ont les étudiants des phénomènes étudiés, peut-être parce qu'on ne sait pas très bien comment le faire et aussi, parce que cette compréhension intuitive n'est pas un objectif explicite de nos cours. On estime, plus ou moins consciemment, que cette compréhension viendra en surplus, automatiquement, si on enseigne les concepts, si on fait faire des problèmes et des expériences traditionnelles de laboratoire.

Pour leur part, Caramazza, McCloskey et Green, dans *Naïve Beliefs in « Sophisticated » Subjects...* indiquent comme cause possible de l'insuccès relatif de l'enseignement de certaines notions de mécanique élémentaire le fait que l'on ne tient pas compte des pré-concepts erronés qu'ont les étudiants au sujet des phénomènes concernés.

« One possibility is that instruction is frequently ineffective because it fails to take into account students' misconceptions about motion but instead treats students as if they understand basic principles and only need to learn to formalize and quantify the principles. » (p. 121)

Le piètre taux de succès au cours de physique 101, le cours de mécanique dans lequel on traite, entre autres, du mouvement uniformément accéléré, est un autre symptôme des difficultés auxquelles se heurtent les étudiants.

Le taux de succès à ce cours ne dépasse généralement pas les 50%. Un certain nombre d'étudiants abandonne en cours de route et un certain nombre de ceux qui persévèrent jusqu'à la fin du cours n'obtient pas la note de passage. On peut, bien sûr, spéculer sur l'origine du phénomène : pré-requis non assimilés, programmes trop chargés, matière exigeante, manque de maturité des étudiants, lacunes dans leurs méthodes de travail, manque de motivation lié au contexte social...

Tous ces facteurs jouent sans aucun doute un rôle. Cependant, on devrait ajouter l'élément suivant : pour beaucoup d'étudiants, suivre un cours de physique se résume à retenir des formules par cœur et à faire assez de problèmes pour être capable de

résoudre la plupart des cas vus en classe. Quant à comprendre quelque chose, plusieurs n'y comptent plus. C'est un contexte qui n'est pas très valorisant, ni pour les étudiants, ni pour les enseignants.

Se pourrait-il qu'une partie de l'explication de cet état de choses vienne du fait qu'on ne se préoccupe pas de développer l'intuition des phénomènes que l'on présente ? Que l'on en présente l'aspect formel, mathématique, linéaire, logique, sans développer conjointement un aspect plus global, plus instantané, plus spontané ? Se pourrait-il que, dans nos cours nous ne nous adressions qu'au côté gauche du cerveau, notre cerveau logique, analytique, sans nous adresser au côté droit, plus global, plus intuitif ?

Ce sont tous ces éléments énumérés plus haut dont j'ai voulu tenir compte en créant et en testant des simulations interactives sur ordinateur dans le but de développer l'intuition des étudiants face à un phénomène physique courant : le mouvement uniformément accéléré (MUA).

Cadre théorique

L'approche utilisée pour tenter de développer la représentation mentale du mouvement uniformément accéléré est inspirée de la théorie piagétienne. Comme on a abondamment écrit au sujet de cette théorie, je me contenterai de présenter brièvement les idées principales qui m'ont guidé.

De la naissance à la mort, notre représentation des choses évolue. Nous naissons avec les éléments de base nécessaires pour nous construire des représentations mentales du monde qui nous environne. Au fur et à mesure des expériences que nous vivons, nous raffinons ces représentations jusqu'à ce qu'elles nous permettent, dans la plupart des cas, de prévoir de façon adéquate ce qui va se passer si tel facteur est modifié dans une situation donnée. Considérons quelques exemples.

Je peux prévoir à peu près correctement où va tomber la balle que je lance. J'ai une assez longue expérience de ce genre de situation et je la maîtrise assez bien. Je peux prévoir avec moins de précision ce qui se passerait si je gagnais le million à la Loto, je n'ai aucune expérience de la chose. Cependant, je peux spéculer, à partir de la connaissance que j'ai de mon comportement dans des circonstances ayant une certaine analogie avec celle qui nous intéresse. Je peux également me faire une opinion à partir de la connaissance que j'ai du comportement d'autres personnes qui se sont trouvées dans cette situation.

Lorsque nous portons un jugement sur une situation, lorsque nous prévoyons ce qui va se passer si une situation est modifiée, nous le faisons non pas à partir des éléments de la réalité objective de cette situation, mais plutôt à partir des éléments d'information que NOUS avons de cette situation. Ces éléments d'information concernent l'identification des différentes variables en jeu ainsi que leurs interrelations. Cet ensemble structuré d'informations constitue un schéma mental.

Nous pouvons être amenés à modifier nos schémas mentaux à la suite de conflits qui surgissent entre le déroulement de la réalité extérieure et les attentes que nous avons à son égard. Ou encore, la situation de conflit menant à la modification d'un schéma mental peut venir de divergences de la vision qu'ont deux personnes d'une même situation. Au lieu de vivre une situation concrète menant au changement, l'individu est au cœur d'un phénomène de communication qui lui apporte des éléments d'information qui sont en conflit avec ses représentations et qui l'amènent à revoir celles-ci.

L'intégration d'éléments nouveaux à un schéma mental déjà existant se heurte à plusieurs difficultés : la nécessité que la situation de conflit se répète un certain nombre de fois avant que le schéma ne soit modifié (ce qui apporte une protection contre des phénomènes isolés, les illusions...), l'exigence qu'aucune barrière psychologique (domaine affectif) ne vienne contrecarrer l'intégration des informations obtenues par l'expérience ou la communication, la nécessité que les nouveaux éléments d'information puissent être rattachés à un schéma déjà existant soit comme modifications, soit comme déclencheur de l'élaboration d'un nouveau schéma intégrant l'ancien.

Chez les gens qui ont eu l'occasion d'étudier la mécanique en milieu scolaire, il semble que coexistent deux représentations : une représentation intuitive, qui s'est développée à la suite d'expériences vécues par la personne et une autre représentation, complètement isolée de la première, qui a été acquise à l'école et qui ne sert en pratique que lors des cours et des examens.

DiSessa a observé ce phénomène et le mentionne lorsque, décrivant le comportement d'une étudiante, il écrit dans *Unlearning Aristotelian Physics*, p. 59 :

« ...her naïve physics and classroom physics stood side by side but unrelated... »

Tenant compte de ces données, les trois logiciels de simulation interactive que j'ai produits tentent d'offrir à l'étudiant des conditions propices pour qu'il réajuste, au besoin, sa représentation mentale du MUA pour la rendre plus conforme à la réalité et ce, de façon efficace. L'étudiant a la possibilité d'expérimenter des situations mettant en jeu le MUA, un grand nombre de fois dans un temps raisonnable et dans des conditions qui lui permettent de percevoir effectivement ce qui se passe. Les objets tombent à l'écran en des temps de plusieurs secondes et non en une fraction de seconde, ce qui serait trop bref pour apporter beaucoup d'information au champ de la conscience.

Les conditions dans lesquelles l'étudiant expérimente à l'aide des simulations, amènent celui-ci à échanger à leur sujet avec au moins un autre étudiant, ce qui est également propice au remaniement de leur représentation mentale.

Finalement, ces conditions sont psychologiquement favorables. Le contexte est sécurisant : l'étudiant peut tester son nouveau savoir, il peut avoir l'aide du professeur, il ne risque guère de briser quoi que ce soit, il peut reprendre ses essais un grand nombre de fois s'il en sent le besoin. Aussi, il est amené à échanger avec d'autres étudiants, ce qui est propice au remaniement de ses représentations mentales.

Caractéristiques des groupes contrôles et expérimentaux

Huit groupes réguliers de physique-101, totalisant au départ plus de deux cents étudiants, servirent de groupes contrôles, à l'automne 1984. Ces étudiants suivaient un cours normal avec quatre professeurs différents. Comme les groupes expérimentaux, mais avec des logiciels commerciaux, ils eurent l'occasion d'utiliser les micro-ordinateurs.

Parmi ces huit groupes, 42% des étudiants réussirent leur cours, les autres ayant abandonné ou échoué. Ce pourcentage de réussite est représentatif de ce qu'on obtient habituellement en physique-101.

Quatre groupes de physique-101, totalisant un peu plus de cent étudiants, servirent de groupes expérimentaux (et ont utilisé le logiciel mis au point pour développer le schème du MUA). Il y avait trois groupes d'étudiants réguliers du jour et un cours du soir regroupant une bonne proportion d'adultes.

Enfin, les tests furent également administrés, vers la fin de la session d'automne 1984, à trois groupes de physique-301, totalisant près de cent étudiants, de façon à voir si, après avoir traversé trois cours de physique de niveau collégial, leur intuition du MUA s'était améliorée. Les résultats obtenus en 1983-1984 n'indiquaient aucune amélioration par rapport aux étudiants qui arrivent au cégep.

Résultats pour les groupes contrôles de l'automne 1984

RÉSULTATS AUX PRÉ-TESTS

Cent soixante-quinze étudiants inscrits en physique 101 à la session de l'automne 1984 ont passé les pré-tests, avant d'avoir abordé le MUA dans leur cours. Ces 175 étudiants étaient répartis en huit groupes.

Le taux d'abandon approchant les 30%, le nombre d'étudiants qui se sont présentés aux post-tests était appréciablement plus faible qu'au pré-test.

Cent quatre étudiants ont participé à la fois aux pré et aux post-tests.

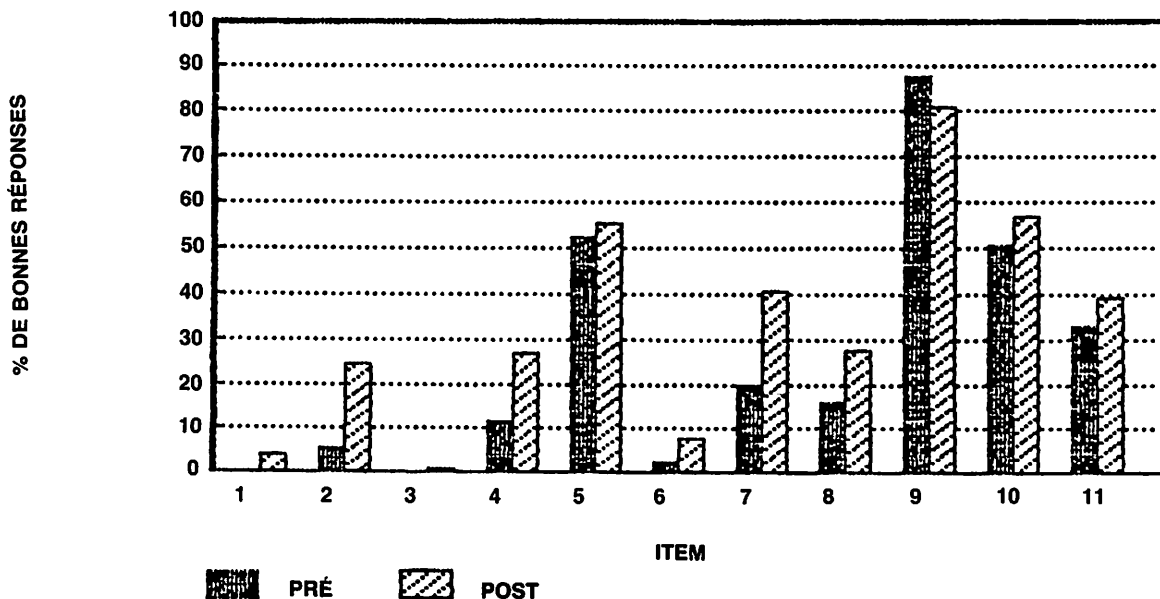
Les résultats obtenus confirment ceux obtenus aux États-Unis. En moyenne, les étudiants prévoient correctement ce qui va se passer moins d'une fois sur trois. (Voir histogramme suivant.)

RÉSULTATS AUX POST-TESTS

L'histogramme 1 présente les résultats aux deux tests, pour les 104 étudiants qui ont passé à la fois le pré et le post-test.

Comme on peut le voir, le cours traditionnel a un effet significatif sur le développement de l'intuition d'un phénomène physique comme le MUA. Entre le début du cours 101 et la fin de celui-ci, le résultat moyen, pour les cinq items présents au logiciel, est passée de 1,071 sur 5 soit 21% à 1,566 sur 5 soit 31%.

HISTOGRAMME 1
CONTRÔLE, N = 104



Résultats des trois groupes de 301 de la fin de l'automne 1984

Les tests sur le développement de l'intuition du mouvement uniformément accéléré ont été également administrés à trois groupes d'étudiants (soit 73 étudiants) terminant leur cours de physique 301, à l'automne 1984.

L'histogramme 2 permet de comparer les résultats obtenus par les étudiants terminant le cours de physique 301 à ceux des étudiants débutant le cours 101 (pré-test) ainsi qu'à ceux de ces mêmes étudiants terminant le cours 101 (post-test).

Le calcul de la note globale (maximum possible de 11), pour les groupes de 301, donne 4,16 avec un écart type de 2,36.

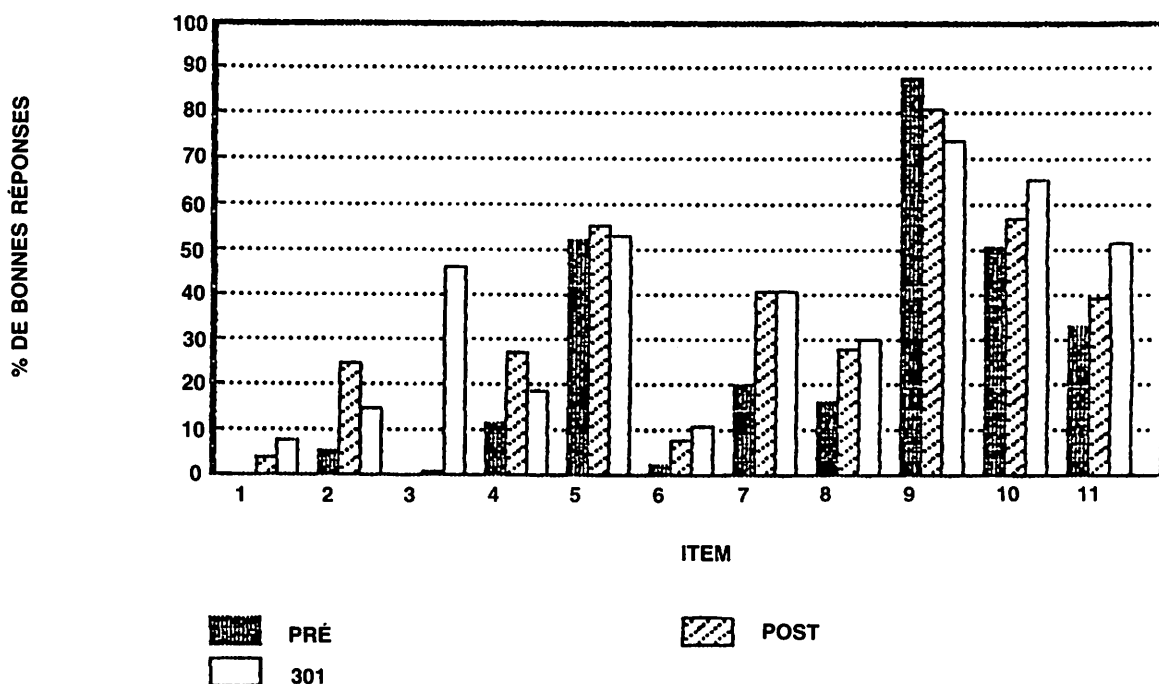
	note globale	écart type
101 pré-test	4,25	2,43
101 post-test	4,69	2,00
301	4,16	2,36
N = 104 pour les groupes de 101		
N = 73 pour les groupes de 301		

On constate donc que l'intuition que les étudiants ont du mouvement uniformément accéléré demeure à toutes fins pratiques la même (ils prévoient correctement dans quatre cas sur onze), de la fin de leur cours de 101 à la fin de leur cours de 301 et ce, bien qu'ils aient suivi deux cours de physique de plus, qu'ils soient plus vieux d'au moins un an et qu'on ne retrouve parmi eux que ceux qui ont résisté à la sélection effectuée par les deux cours précédents.

N = 104 pour les étudiants de 101.

N = 73 pour les étudiants de 301.

HISTOGRAMME 2
COMPARAISON AVEC 301



Conclusions pour la première partie : Intuition du MUA

1- Bien que les étudiants aient vécu de multiples expériences de contact concret avec le mouvement uniformément accéléré dans leur vie (objet qu'ils échappent, objet qu'ils lancent...), bien que ces étudiants aient étudié le MUA dans un cours de physique au secondaire,

L'INTUITION QU'ONT LES ÉTUDIANTS DU MOUVEMENT UNIFORMÉMENT ACCÉLÉRÉ, LORSQU'ILS ARRIVENT AU COLLÈGE, NE LEUR PERMET DE PRÉVOIR CORRECTEMENT CE QUI VA SE PASSER QUE DANS UN CAS SIMPLE SUR TROIS ENVIRON.

2- Bien que les étudiants aient suivi un cours de physique de niveau collégial en plus de ce qui a été énoncé en 1,

À LA FIN DU COURS DE PHYSIQUE 101, LES ÉTUDIANTS NE PEUVENT PRÉVOIR CORRECTEMENT CE QUI VA SE PASSER LORS D'UN MUA SIMPLE QUE DANS MOINS D'UN CAS SUR DEUX.

3- LE COURS DE PHYSIQUE TRADITIONNEL A UNE INCIDENCE SIGNIFICATIVE SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INTUITION DU MUA.

4- Dans le cas des étudiants qui terminent la séquence des trois cours de physique de base au niveau collégial, soit les cours 101, 201 et 301, bien que ces étudiants aient suivi trois cours de physique de niveau collégial, bien qu'ils soient au moins un an plus âgés qu'à leur arrivée au cégep, bien qu'ils aient résisté au processus de sélection qui réduit de moitié les étudiants qui parviennent en 301 par rapport à ceux qui commencent leur 101 :

LES ÉTUDIANTS QUI TERMINENT LE COURS DE PHYSIQUE 301 ONT À PEU PRÈS LA MÊME INTUITION DU MUA QUE LES ÉTUDIANTS TERMINANT LE COURS DE PHYSIQUE 101.

Logiciels produits

Dans l'optique de cette recherche, un logiciel de simulation interactive, écrit en Logo, devrait être produit. Le but de l'utilisation de ce logiciel par les étudiants est de favoriser le développement de leur représentation mentale du MUA.

Selon l'approche retenue, l'étudiant doit, par une série d'essais qu'il effectue à l'aide de la simulation, en arriver à découvrir par lui-même une des caractéristiques du mouvement uniformément accéléré. Par exemple, que la hauteur atteinte par un objet qu'on lance verticalement vers le haut est quatre fois plus grande si on lance l'objet avec une vitesse initiale

deux fois plus grande. Autrement dit, que la hauteur atteinte est proportionnelle au carré de la vitesse initiale dans un cas comme celui-là.

Pour tenir compte de la très grande difficulté qu'ont les étudiants à organiser une démarche expérimentale lorsque confrontés à un trop grand nombre de paramètres, j'ai structuré les programmes de telle sorte que l'étudiant n'ait à faire face qu'à deux variables à la fois : une variable dépendante et une variable indépendante. Par exemple, dans le premier cas qui était proposé, l'étudiant devait découvrir la relation entre la hauteur de laquelle on laisse tomber un objet et le temps pris par celui-ci pour arriver au sol. Il lui restait, ce qui était bien assez, d'après ce que j'ai pu observer, à organiser ses essais et à analyser ses résultats pour tenter de trouver cette relation. Pour l'aider dans sa tâche, l'ordinateur conservait les résultats des essais en mémoire et les affichait sur demande. De plus, l'ordinateur pouvait, sur demande, proposer des problèmes à l'étudiant pour permettre à celui-ci de vérifier s'il avait bien trouvé la bonne relation, de tester sa découverte. Finalement, après avoir réussi au moins trois de ces exercices de façon consécutive, l'étudiant devait identifier, parmi une liste de relations plausibles, celle qu'il avait découverte, de façon à être bien sûr qu'il soit capable de la reconnaître lorsque exprimée en mots.

Description du logiciel

Le logiciel utilisé auprès des groupes expérimentaux au printemps 1985 présentait trois situations physiques : un objet qu'on pouvait laisser tomber de plus ou moins haut, un objet qu'on lançait verticalement avec une vitesse initiale plus ou moins grande et troisièmement, un mobile qui se déplaçait horizontalement à vitesse constante et qui laissait tomber un objet à un moment donné.

La première situation proposait à l'étudiant de découvrir la relation entre la hauteur de laquelle tombe l'objet et le temps que dure la chute. Comme l'ont montré les post-tests, une majorité d'étudiants croient que si la hauteur double, le temps de chute double également, ce qui est faux.

Dans la seconde situation, l'étudiant pouvait trouver la relation entre la vitesse à laquelle un objet est lancé verticalement et la hauteur atteinte par cet objet. Là aussi, la relation trouvée diffère de ce que la majorité des étudiants avaient prévu.

Dans le troisième et dernier cas physique proposé, l'étudiant pouvait étudier plusieurs aspects du

mouvement à deux dimensions qui lui était présenté : l'inertie de l'objet échappé, la relation entre la vitesse horizontale et la distance horizontale parcourue par l'objet échappé durant sa chute, l'indépendance du temps de chute par rapport à la vitesse horizontale, l'effet de la hauteur de chute et l'effet de l'accélération gravitationnelle.

On peut voir le logiciel comme structuré autour d'un menu central. Chacune des sections : simulations, tableau, problèmes, est accompagnée d'un petit menu secondaire approprié. Le cheminement normal de l'étudiant est le suivant :

- lecture du rappel de la situation physique étudiée ;
- au moins trois simulations ;
- analyse du tableau des données des essais ;
- formulation d'une hypothèse ;
- peut-être d'autres simulations pour tester l'hypothèse formulée ;
- passage aux problèmes pour contrôler que la relation trouvée est bien la bonne ;
- lorsque trois problèmes au moins ont été réussis de façon consécutive, choix parmi une demi-douzaine de relations, de celle qui a été découverte ;
- retour au guide de travail pour trois ou quatre problèmes sur la situation étudiée.

Résultats pour les groupes expérimentaux

Pour permettre une évaluation simple et pratique de l'impact des simulations sur le développement du schéma mental du MUA, une cote globale a été définie. Cette cote globale est calculée en comptant un pour chaque item réussi et zéro pour un item non réussi. Ainsi, comme il y a onze items au test, la cote globale peut varier entre 0 et 11.

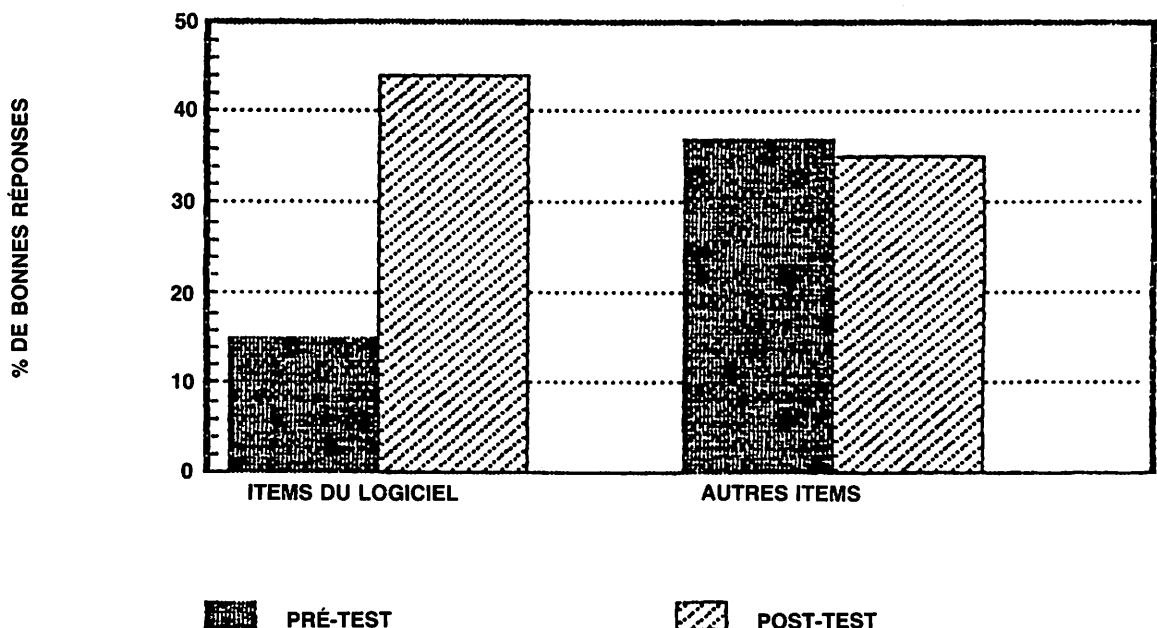
De plus, comme seulement une partie des situations apparaissant dans les tests est reprise dans les simulations, une cote globale ne portant que sur ces items a été calculée. Les items 2, 4, 5, 7 et 8 sont représentés dans le logiciel, la cote globale correspondante peut donc varier de 0 à 5.

Comme on peut le voir par l'histogramme 3 et comme on pouvait s'y attendre, l'impact des simulations est nettement plus marqué pour les items couverts par le logiciel que pour les items non couverts.

FRÉQUENCES POUR LES 5 ITEMS APPARAISSANT DANS LE LOGICIEL

QUESTION	PRÉ-TEST	POST-TEST
2	2,7	40,2
4	3,6	44,6
5	34,8	50
7	24,1	38,4
8	8	44,6

HISTOGRAMME 3
ITEMS AU LOGICIEL O/N



Pour l'ensemble des 11 items des tests

Si on considère l'ensemble des 11 items, indépendamment qu'ils aient été présents ou pas dans le logiciel, on constate un écart encore significatif entre le pré-test et le post-test.

	moyenne (sur 11)	écart type
pré	2,964	1,860
post	4,277	2,975

L'écart entre la moyenne au pré-test et au post-test est significatif ($p < 0,001$).

Pour les 5 items représentés dans le logiciel

L'analyse statistique, faite à l'aide de SPSS, révèle qu'il y a un changement significatif ($p < 0,001$) entre les résultats obtenus au pré et au post-test.

	moyenne (sur 5)	écart type
pré	0,732	0,920
post	2,179	1,851

On voit que lors du pré-test, la moyenne est de 0,732 sur 5, soit seulement 15%. On n'a donc que 15% de bonnes réponses lors du pré-test pour les 5 items représentés dans le logiciel. Au post-test, ce pourcentage de bonnes réponses est presque triplé, passant à 44%.

Conclusion pour la seconde partie : Les logiciels

1- Grâce aux logiciels de simulation interactive réalisés dans le cadre de ce projet,

IL A ÉTÉ POSSIBLE DE FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DE L'INTUITION DU MUA DE FAÇON SIGNIFICATIVE

et ce, pour un temps d'utilisation moyen par les étudiants de seulement deux heures.

2- L'UTILISATION DU LOGICIEL DE SIMULATION INTERACTIVE CRÉÉ DANS LE CADRE DE CE PROJET A AMENÉ UNE AMÉLIORATION PLUS FORTE DE L'INTUITION DU MUA QUE LES COURS TRADITIONNELS ET CE, DE FAÇON SIGNIFICATIVE.

Conclusion générale

Ainsi qu'on a pu le voir, les deux hypothèses de départ ont été vérifiées : l'intuition des étudiants de niveau collégial face au MUA n'est pas très bonne, mais il est possible de la développer grâce à des simulations interactives appropriées. Pour plus de détails, je vous invite à consulter le rapport PIAGO.