

Analyses didactiques d'un enseignement de statistiques dans un environnement comprenant un tableur

Éric Roditi et Georges-Louis Baron

Résumé

Les logiciels, comme le tableur, permettent à des usagers de modéliser des situations complexes en offrant de nombreuses possibilités d'évolution. Le texte qui suit rend compte d'une recherche menée à la Faculté de sciences humaines et sociales - Sorbonne de l'Université Paris Descartes. Celle-ci s'est intéressée à la création, par des enseignants en position d'auteur, d'artefacts didactisés pour l'enseignement des mathématiques, plus précisément de statistiques, à des étudiants non scientifiques, afin de leur permettre de questionner les concepts mathématiques et de les lier à des problèmes concrets.

Après avoir précisé les éléments de contextes spécifiques à l'enseignement de la statistique en sciences humaines et sociales, le texte analyse les arguments qui sous-tendent l'utilisation du tableur pour concevoir des artefacts destinés à l'enseignant ou à l'étudiant. Il expose alors comment des feuilles de calcul ont été conçues pour des étudiants afin qu'ils les utilisent, non comme un logiciel de statistique qui donnerait les résultats après qu'ils ont indiqué leurs données, mais comme un logiciel d'apprentissage, et donc de questionnement et d'apprentissage mathématique. Il convient de préciser que la recherche dont il est question ici est en cours et que les résultats exposés ici ont un caractère préliminaire. Ils ne comportent en particulier pas d'évaluation systématique des outils d'enseignements proposés.

Contexte et éléments de problématique

Le texte qui suit s'appuie sur une recherche menée à la Faculté de sciences humaines et sociales – Sorbonne de l'Université Paris Descartes portant sur l'enseignement et l'apprentissage de statistiques inférentielles par des étudiants de sciences humaines et sociales. Cet enseignement constitue un domaine à la fois ancien et problématique. La plupart des étudiants ont en effet suivi des études de second degré où les outils intellectuels fondamentaux fournis par le calcul intégral, le calcul matriciel et la géométrie des espaces vectoriels euclidiens sont peu présents. Pour mener leur travail de recherche ou pour en communiquer les résultats, ces étudiants ont pourtant généralement besoin de recourir à des méthodes statistiques descriptives ou inférentielles, afin par exemple de pouvoir dégager des proximités entre des individus auxquels sont associés de nombreux caractères, d'évaluer l'intensité du lien entre deux variables, de comparer des moyennes ou des proportions.

Le développement puis la diffusion de moyens de calcul automatique à partir des années soixante-dix ont profondément changé le rapport aux statistiques. Ils ont en effet rendu accessibles des outils logiciels et des méthodes de représentations très puissants. La plupart visent à guider et à simplifier le travail des utilisateurs en effectuant des traitements pour eux, et en retournant des résultats sous différentes formes qu'il reste alors à interpréter. Depuis les années quatre-vingts, l'enseignement des statistiques peut en outre s'appuyer sur l'utilisation d'instruments informatisés généraux comme les tableurs grapheurs. Comme les précédents, ces outils demandent une formation spécifique. Mais, de manière souple, ils permettent de définir des zones de données et des types de traitement, de focaliser l'attention sur les opérations qui vont être effectuées et de renouveler les activités d'enseignement et d'apprentissage.

Différents travaux ont déjà montré des difficultés d'apprentissage de la statistique (Lahanier, 1999 ; Regnier, 2006 & 2002 ; Wozniak, 2005). Nous nous sommes intéressés à

l'usage du tableur dans la conception et l'analyse d'un enseignement portant à la fois sur la mise en œuvre des méthodes et sur l'interprétation des résultats, tout en prenant en compte la réalité des connaissances mathématiques des étudiants. Pour cela, nous avons choisi la notion très classique du khi-2. Ce test, dans ses utilisations les plus courantes (tests de conformité, d'homogénéité et d'indépendance), conduit à évaluer une distribution observée sur une population donnée. Il pose des problèmes intéressants pour la recherche entreprise. Il s'agit en effet d'un contenu d'enseignement classique dans de nombreuses filières de sciences humaines et sociales, où les apprenants rencontrent des difficultés récurrentes, et qui repose sur des mathématiques d'un niveau inaccessible à la majorité d'entre eux. Dans ce contexte, le recours à des activités reposant sur l'usage du tableur apparaît comme une piste pertinente pour concevoir une alternative à l'exposé d'arguments mathématiques qui soulèvent les difficultés précédemment mentionnées.

Potentialités du tableur

Les travaux menés sur l'instrumentation par logiciel des activités d'enseignement et d'apprentissage convergent vers un certain nombre de résultats bien établis : l'usage de systèmes logiciels contribue à modifier les activités d'apprentissage ; il complexifie la situation didactique (car il nécessite l'appropriation préalable par les usagers de schèmes d'activité spécifiques) mais il permet de mettre en œuvre des démarches d'apprentissage par essais et erreurs, voire des approches quasi expérimentales ou du moins expérientielles.

Des recherches sur la conception et l'utilisation de logiciels pour l'apprentissage des statistiques ont été menées depuis longtemps, en particulier dans l'enseignement supérieur, en sciences humaines et sociales (Corroyer, 1992). Par rapport à des logiciels dédiés, l'apparition du tableur a été très importante. Il offre en effet des possibilités nouvelles permettant de parvenir à des solutions flexibles, au prix d'une forme « faible » de programmation. D'après certains auteurs, cet instrument a été inventé dès les années 60, mais il est apparu sous sa forme actuelle dans les années soixante-dix (Bruillard & Blondel, 2007).

Il a fait l'objet de nombreuses recherches sur la place qu'il pouvait occuper dans l'enseignement de différentes disciplines (par exemple Favre et Maraninchi, 1987 ; Baker et Sugden, 2003). Une revue en ligne a même été créée en 2003 pour diffuser les travaux de recherche sur le tableur dans l'éducation *Spreadsheets in Education*.

Dans le domaine de l'enseignement des mathématiques, de nombreuses publications ont étudié les possibilités du tableur (Capponi, 1990 ; Arzarello et al., 2002). Selon Haspekian (2003), la majorité des recherches ont été consacrées à la problématique de la transition entre l'arithmétique et l'algèbre, au niveau du collège, attribuant au tableur un rôle d'appui à cette transition, facilitant le passage depuis des méthodes intuitives arithmétiques vers des approches algébriques.

Les tableurs offrent un large spectre de fonctions statistiques, ils demandent à l'utilisateur de spécifier une structure de données et de choisir un processus de calcul. Il devient alors ensuite possible d'exécuter ce processus à partir de jeux de données facilement modifiables, mais les compétences à mobiliser sont relativement techniques, et l'expérience montre qu'une minorité seulement d'étudiants se les sont appropriées, même en fin de licence, y compris parmi ceux qui ont suivi des enseignements de C2i (Certificat informatique et Internet attestant que les étudiants connaissent et savent utiliser les technologies informatiques de la communication et de l'information).

Une idée forte de notre projet, qui se situe dans la continuité de travaux menés notamment à l'IREM Paris Nord (2000), a été que la mise en œuvre de feuilles de calcul ad-hoc pensées en fonction de l'objectif précis de faire conceptualiser aux étudiants des questions

mathématiques était de nature à produire un renforcement réciproque de la compréhension des statistiques et de la conceptualisation des processus de traitement de l'information en jeu.

Deux types d'artefacts didactisés

Nous allons détailler maintenant l'exemple du test de conformité (dit aussi d'ajustement) utilisé pour comparer une répartition observée à une répartition de référence et montrer comment le travail de recherche a permis de produire des feuilles de calculs constituant des artefacts utilisables par l'enseignant et par les apprenants à des fins d'enseignement et d'apprentissage, ce que nous appelons des artefacts didactisés (Baron, 2006).

Des apprentissages difficiles

De nombreuses difficultés rencontrées par les étudiants sont déjà bien repérées. Un premier travail a consisté à concevoir des situations qui aident à les surmonter ; ce travail a conduit à la conception des feuilles de calculs déjà mentionnées. Le test de conformité vise à décider si la population étudiée « ressemble » ou non à la population de référence, c'est-à-dire si elle peut ou non en être considérée comme un échantillon aléatoire (c'est l'hypothèse nulle). Une première étape essentielle du raisonnement consiste à évaluer l'écart entre la distribution observée et une autre distribution, qualifiée de théorique, correspondant à un échantillon de même taille, qui serait un « reflet exact » de la population de référence. Cette étape repose sur des connaissances mathématiques qui relèvent seulement de l'algèbre élémentaire, sauf précisément le choix de l'écart lui-même (la distance euclidienne usuelle ne convient pas pour des raisons qui ne peuvent être présentées dans ce texte). Cela constitue une difficulté pour l'apprentissage. Dans la seconde étape fondamentale du raisonnement, il s'agit d'évaluer l'importance de la valeur de l'écart obtenu. Sous certaines conditions, la loi de probabilité de cet écart est approximativement une loi de khi-2. On détermine alors la probabilité d'obtenir une valeur égale ou supérieure à celle obtenue. Si celle-ci est forte, la valeur de l'écart sera jugée faible, et l'hypothèse nulle ne sera pas rejetée ; inversement si la probabilité est faible, la valeur de l'écart sera jugée importante et l'hypothèse nulle sera rejetée. C'est au moment d'assimiler à une loi de khi-2 la densité de probabilité de l'écart entre la distribution observée et la distribution théorique, que les bases mathématiques des étudiants en sciences humaines et sociales ne suffisent pas.

Recourir à une approche fréquentiste de cette probabilité, et en obtenir une approximation en simulant un grand nombre de distributions fictives, permet d'éviter la modélisation mathématique de cette étape du raisonnement. Nous savons qu'une telle méthode soulève des difficultés spécifiques. Citons par exemple, l'explicitation du théorème central limite qui justifie la méthode et qui est très délicate pour les étudiants concernés. Citons encore les conceptions sous-jacentes à l'approche fréquentiste des probabilités auxquelles la simulation fait référence (Lahanier-Reuter, 1999 ; Bernier et *al.*, 2000 ; Piednoir, 2006).

Un artefact didactisé en tant qu'ostensif dynamique

Nous avons estimé, compte tenu de travaux antérieurs sur cette question, que la simulation offre ici un potentiel didactique intéressant (Bordier, 1991 ; Dutarte & *al.*, 1998 & 2000 ; Dutarte, 2002 ; Girard & Henry, 2005 ; Pichard, 2005). Elle peut en effet aider les étudiants à saisir comment est évaluée l'importance de l'écart entre la distribution observée et la distribution théorique. Un tel type de simulation est possible en utilisant des calculatrices. Mais il apparaît plus fructueux d'utiliser un type d'outil informatique spécialisé dans le domaine spécifique de la gestion de tableaux et de graphique : le tableur.

La feuille de calcul ainsi programmée constitue un ostensif numérique et graphique de la détermination de la fréquence obtenue. Comme la feuille comporte une simulation de nombreux tirages aléatoires, l'ostensif n'est pas figé, il comporte une part variable, tout comme une figure de géométrie comporte une part variable (de forme, de dimension, de position, etc.). Cette variabilité peut être expérimentée par les usagers, comme en géométrie dynamique, et elle favorise ce faisant le passage de la fréquence à la probabilité. Une telle feuille de calcul est utilisable (et a été utilisée) à la fois par l'enseignant dans une séquence de type cours « magistral » et par les étudiants dans des séances de travail dirigé, en tirant parti des possibilités de projection de l'écran d'un ordinateur en cours magistral et du fait que tous les ordinateurs peuvent être équipés sans frais d'un tableur grapheur pour une séance de travail dirigé.

En cours, par exemple, la feuille de calcul simulant un tirage aléatoire et calculant la fréquence approximative de la distance entre la distribution observée et la distribution théorique ne vise pas l'enseignement de la loi de khi-2, mais bien une résolution particulière d'un calcul de probabilité, une résolution que les étudiants peuvent comprendre alors qu'ils n'auraient pas pu la concevoir. Entre leurs mains, après le cours, la feuille devient un environnement interactif d'apprentissage ouvert, c'est-à-dire ne guidant pas les interactions. Le travail sur les formules utilisées permet, par exemple, de comprendre comment est mise en œuvre la notion d'échantillon aléatoire. La part de variabilité de l'ostensif et sa modification possible par l'apprenant nous invite à le qualifier « d'ostensif dynamique » par analogie avec la géométrie dynamique.

Pour illustrer ce qualificatif, nous partirons d'une situation utilisée avec des étudiants (Roditi, 2009). Il s'agit de la répartition (fictive) des résultats au baccalauréat des 28 élèves d'une classe de terminale (7 échecs, 7 réussites sans mention, 14 réussites avec mention). Celle-ci est comparée avec les résultats correspondants au niveau national pour la même filière (20% d'échec, 48% de réussite sans mention, 32% de réussite avec mention). Nous sommes en présence d'un système d'objets variables et dépendants pour certains d'entre eux (le pourcentage d'échecs est par exemple déterminé par les pourcentages de réussites). À partir de ce système d'objets (voir fig. 1), d'autres objets sont construits, comme la distribution théorique des effectifs et la distance du khi-2 entre les deux distributions d'effectifs, empirique et théorique, souvent appelé khi-2 empirique.

5000	Théorique				Echec	RSM	RAM	Total		
	en %				20%	48%	32%	100%		
	pour 28 candidats				5,60	13,44	8,96	28		
Empirique				Echec	RSM	RAM	Total			
				7	7	14	28			
Ecart théorique - empirique							Total			
							0,350	3,086	2,835	6,271
Simulation										
Individu	Centile	Candidat	Echec	RSM	RAM	aléa				
72	1	1	0	0	1	0,01432				
4796	96	2	1	0	0	0,95904				
701	14	3	0	0	1	0,14008				
4532	91	26	1	0	0	0,90621				
42	1	27	0	0	1	0,00832				
4014	80	28	1	0	0	0,80275				
Bilan			7	12	9	28				
X² sim			0,35	0,1542857	0,0001786	0,5044643				

Figure 1 - Simulation d'un échantillon aléatoire et distance du khi-2 associée

Puis un autre système est associé au précédent (voir fig. 2) : un tirage aléatoire de 2 000 classes « virtuelles » issues de la population de référence est simulé, à chaque classe sont associées la distribution des résultats ainsi que la distance du khi-2 entre cette distribution et la distribution théorique ; nous appellerons « khi-2 simulé » chacune de ces 2 000 distances. Une table de la distribution des 2 000 valeurs des « khi-2 simulés » et un histogramme de ces valeurs sont proposés.

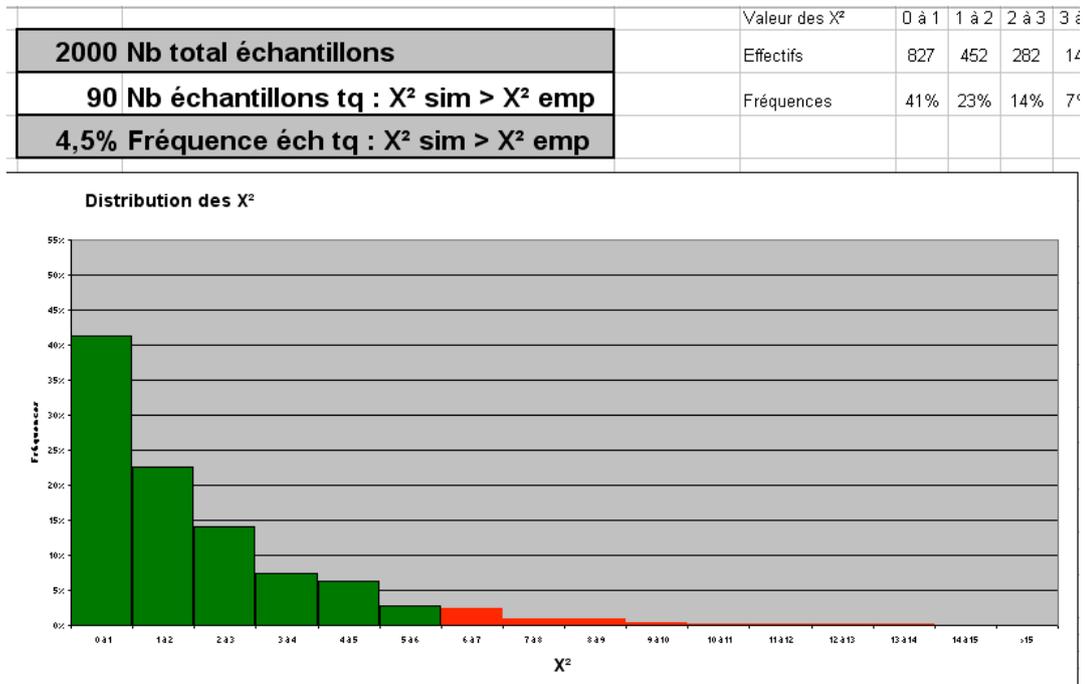


Figure 2 - Simulation de 2 000 échantillons aléatoires et répartition des distances associées

Comme il a déjà été indiqué, l'étudiant fait varier certains objets de ce système complexe et interroge ainsi les liens entre les variables pour en tirer des conjectures, des inférences. Une telle démarche est analogue à celle qui consiste à proposer à des élèves de faire varier des éléments d'une figure géométrique complexe dans un environnement géométrique dynamique afin d'en comprendre la complexité, de comprendre aussi parmi les mesures et les relations entre les différents objets celles qui sont libres et celles qui ne le sont pas, et de tirer des inférences à partir de ces constats. Dans la situation représentée par cette feuille de calcul en effet, des objets sont déterminés par d'autres, de nouveaux objets sont construits à partir de ceux existants. Les étudiants constatent en multipliant les simulations de tirage aléatoire de 2 000 classes fictives que la fréquence des cas où le khi-2 simulé est supérieur au khi-2 empirique subit de très faibles fluctuations. Cela les conduit d'une part à estimer la probabilité associée au khi-2 empirique et d'autre part à juger de l'importance de la valeur de ce khi-2 empirique. De manière analogue en géométrie dynamique, un élève peut constater en déplaçant un sommet du triangle que le côté opposé à ce sommet passe par le centre du cercle circonscrit à chaque fois que l'angle en ce sommet est un angle droit. Cela ne suffit à l'élève ni pour comprendre la raison de cette propriété caractéristique des triangles rectangles ni pour en établir la preuve ; de même, la feuille de calcul proposée aux étudiants ne suffit pas à établir la loi de probabilité du khi-2 ni les autres éléments théoriques sous-jacents au test du khi-2. C'est pourquoi nous qualifions une telle feuille de calcul d'ostensif : c'est un objet « matériel » qui permet un enseignement par ostension.

Un artefact didactisé en tant que milieu interactif

À ce point, il convient de souligner que les artefacts conçus dans le cadre de notre recherche ne sont pas tous du type précédent. Certains possèdent d'autres fonctions que celles indiquées jusqu'ici et constituent, en fait, une sorte de logiciel ouvert de statistique permettant de traiter les situations les plus fréquemment rencontrées dans les calculs de khi-2. Les traitements numériques sont toujours effectués de façon « visible » si bien que l'artefact constitue simultanément un logiciel de traitement et un milieu pour une situation d'apprentissage.

Par exemple (voir fig. 3), le tableur exécutant de façon « visible » pour l'utilisateur le calcul de l'écart entre la distribution observée et la distribution théorique permet aux étudiants de questionner les propriétés de cette nouvelle « distance ». Utilisant alors la feuille de calcul comme un milieu antagoniste (au sens didactique du terme) les étudiants peuvent réaliser diverses tâches, comme changer les valeurs de la distribution observée sans changer l'écart, les changer pour augmenter l'écart d'une valeur donnée, etc.

En fonction des valeurs entrées et des valeurs affichées en retour, ils observent les régularités et en infèrent des lois ; au sens de la théorie des situations didactiques, ils produisent des connaissances d'une situation d'action (Brousseau, 1997) :

« *Agir* consiste pour un sujet à choisir directement les états du milieu antagoniste en fonction de ses propres motivations. Si le milieu réagit avec une certaine régularité, le sujet peut être conduit à anticiper ces réactions et à en tenir compte dans ses propres actions. Les connaissances sont ce qui permet de produire et de changer ces anticipations. L'apprentissage est le processus par lequel les connaissances se modifient. »

Autre exemple, les étudiants peuvent interroger les valeurs des différents paramètres, variables et fonctions qui sont affichés ainsi que leurs relations : seuil de signification et khi-2 théorique, degré de signification et khi-2 calculé, signification du test, etc. Différentes tâches sont ainsi proposées qui conduisent à des activités favorisant d'une part l'apprentissage des tests statistiques et d'autre part l'apprentissage de l'interprétation de la signification du test, notamment en expérimentant les effets de variations des valeurs de la distribution observée sur ce résultat.

Les étudiants apprennent donc du milieu. Dans la mesure où ce dernier est une feuille de calcul, l'activité des étudiants ne conduit pas seulement à une construction de connaissances en statistique, elle génère aussi des apprentissages relatifs au tableur.

Autrement dit, l'environnement mis à la disposition des usagers leur permet de se l'approprier et de mener avec lui des genèses instrumentales. Ainsi, ils peuvent apprendre à utiliser les fonctions implémentées dans le logiciel dont les caractéristiques sont généralement transparentes pour l'utilisateur, alors qu'elles ont été explicitement rendues visibles, à des fins d'enseignement et d'apprentissage, dans l'artefact didactisé. On peut penser par exemple à la fonction TEST.KHIDEUX qui dans « Excel » comme dans « Calc » permet d'obtenir directement le degré de signification à partir des distributions empirique et théorique.

Finalement, du fait que les étudiants ont d'une part la possibilité d'apprendre du milieu (des connaissances statistiques) et d'autre part d'apprendre sur le milieu (des connaissances informatiques), l'artefact didactisé est davantage qu'un milieu au sens classique. En ce sens, nous le qualifions de « milieu interactif ».

Comparaison d'une distribution observée à une distribution de référence										
Saisir dans les zones vertes : 1. Le seuil du risque accepté - 2. Les modalités et leurs effectifs observés sur l'échantillon - 3. Les fréquences de référence pour ces modalités.										
Règle de décision										
Seuil alpha	5%		ddl = 2					X ² théorique =	5,9914764	
Distribution empirique des effectifs										
Modalités	Echec	Passable	Mention						Total	
Effectifs	7	7	14						28	
Distribution théorique des fréquences										
Modalités	Echec	Passable	Mention						Total	
Fréquences	20,0%	48,0%	32,0%						100%	
Conclusion du test			Ecart Significatif							p = 4,3482%
Distribution empirique des fréquences										
Modalités	Echec	Passable	Mention						Total	
Fréquences	25%	25%	50%						100%	
Distribution théorique des effectifs										
Modalités	Echec	Passable	Mention						Total	
Effectifs	5,6	13,44	8,96						28	
Ecart entre les distributions des effectifs (X ² empirique)										
Modalités	Echec	Passable	Mention						X ² empirique	
	0,35	3,085833333	2,835						6,27083	
Recherche d'effectifs théoriques inférieurs à 5									Absence	
Modalités	Echec	Passable	Mention						Bilan	
	1	1	1						1	

Figure 3 - Feuille de calcul testant la conformité d'une distribution empirique

Discussion

Le tableur est utilisé ici comme élément essentiel de différentes situations d'enseignement de la statistique inférentielle, à la fois comme ostensif dynamique et comme milieu interactif. Du point de vue des activités des étudiants, les feuilles de calcul de type « ostensif dynamique » s'apparentent à des imagiciels, tels qu'ils ont été explorés au seuil des années 1980 (INRP, 1983 ; Beaufile, 1986), et dont la fonction est de fournir un pont entre le concret et l'abstrait en donnant accès à des niveaux intermédiaires d'abstraction. Bien qu'elles soient utilisées de manière ponctuelle, elles constituent un ingrédient fondamental du scénario d'enseignement et d'apprentissage organisé par l'enseignant. Les feuilles de calcul de type « milieu interactif » jouent un rôle double pour les étudiants ; ils peuvent les utiliser aussi bien pour réaliser des apprentissages mathématiques et statistiques en menant des investigations, que pour résoudre des problèmes de sciences humaines et sociales nécessitant le recours à des outils de statistique inférentielle.

Ces artefacts didactisés correspondent moins à l'intégration de technologies numériques dans un système d'enseignement existant qu'à la conception de tâches pour de nouvelles activités permettant aux étudiants de questionner les concepts mathématiques ainsi que de lier concepts mathématiques et problèmes concrets. Une voie possible pour cela est celle de la création, par des enseignants en position d'auteur, de nouveaux artefacts didactisés à l'aide de logiciels généralistes comme le tableur.

Dans son ensemble, le travail de conception n'a mobilisé que des compétences de base dans le domaine informatique : il s'agissait « simplement » de modéliser la situation en définissant ce qui était données entrantes (par essence modifiables), formules opérant sur ces dernières et zones de résultats destinées à focaliser l'attention de l'auditoire. Le travail de modélisation a donc été essentiellement didactique.

Notre travail empirique n'est pas assez avancé pour nous permettre de proposer des conclusions bien étayées quant aux apprentissages réalisés par les étudiants observés. Il nous semble cependant que nombre d'entre eux se sont appropriés, dans le cas du test du khi-2, les principes fondamentaux du raisonnement inférentiel, qu'ils savent mettre en œuvre les outils mis à leur disposition dans des situations variées et interpréter les résultats obtenus en référence aux problèmes posés. Afin de confirmer ces conjectures, nous envisageons désormais de poursuivre la recherche par une étude détaillée de l'activité des étudiants en nous focalisant sur deux types d'analyses. D'une part celles qui concernent les apprentissages de savoirs statistiques dans les processus de résolution des problèmes de sciences humaines et sociales, d'autre part celles des difficultés et des genèses instrumentales, par exemple dans la conception de formules ou la gestion de représentations graphiques.

Éric Roditi

Université Paris Descartes - Laboratoire EDA
eric.roditi@paris5.sorbonne.fr

Georges-Louis Baron

Université Paris Descartes - Laboratoire EDA
georges-louis.baron@paris5.sorbonne.fr

Références

- Arzarello F., Bazzini L. & Chiappini G. (2002). La pensée algébrique dans une perspective sémiotique : l'environnement du tableur. *Sciences et techniques éducatives*, 9 (1-2).
- Baker J. & Sugden S. (2003). Spreadsheets in Education: The First 25 Years. *Spreadsheets in Education*, 1 (1). <http://www.sie.bond.edu.au/vol1number1.htm>
- Baron G.-L. (2006). De l'informatique à « l'outil informatique » : considérations historiques et didactiques sur les progiciels. Le cas particulier des logiciels de traitement de tableaux. In Pochon, L-O, Bruillard, E. & Marechal, A. (2006) *Apprendre (avec) les progiciels. Entre apprentissages scolaires et pratiques professionnelles*. Neuchâtel Lyon. Institut de recherche et de documentation pédagogique : Institut national de recherche pédagogique, pp. 39-54.
- Beaufils D. (1986). Images et imagiciels en physique. In *Colloque « Du tableau noir vers l'ordinateur graphique »*. Actes des journées du CNAM. Paris : CNAM, pp. 183-187.
- Bernier J., Parent E., Boreux J.-J. (2000). *Statistiques pour l'Environnement. Traitement Bayésien des Incertitudes*. Technique & Documentation.
- Bordier J. (1991). *Un modèle didactique utilisant la simulation sur ordinateur, pour l'enseignement de la probabilité*. Thèse de Doctorat, Université Paris 7.
- Brousseau G. (1997). *La théorie des situations didactiques*, cours donné à l'université de Montréal. http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/TDS_Montreal.pdf
- Bruillard E., Blondel F.-M. (2007). *Histoire de la construction de l'objet tableur*. Pré-publication. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00180912/fr/> [16/02/2008].
- Capponi B. (1990). *Calcul algébrique et programmation dans un tableur : le cas de Multiplan*. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Corroyer D. (1992). Le traitement statistique des données en psychologie et son enseignement : de l'ère des tables à l'ère informatique. Thèse de doctorat. Université Paris V.
- Dutarte P. (2002). La simulation en statistique. *Repères* n°47, 93-111.

- Dutarte P. et al. (1998). *Simulation d'expériences aléatoires*. Commission inter-IREM Lycées technologiques, IREM Paris Nord.
- Dutarte P. et al. (2000). *Simulation et statistique en seconde*. IREM de Paris-Nord.
- Favre Nicolin R. & Maraninchi J.-B. (1987). Tableur et récursivité en classe de seconde. In *DLC - Direction des lycées et collèges. Pratiques et savoir-faire des élèves de l'option informatique*, pp. 82 - 88.
- Girard J.-C. & Henry M. (2005). *Modélisation et simulation en classe, quel statut didactique ?* In *Statistique au lycée*, volume 1. Brochure APMEP n° 156.
- Haspekian M. (2003). Entre arithmétique et algèbre : un espace pour le tableur ? Perspectives didactiques et réalités. Dans Communication « *Actes en ligne du colloque International ITEM* ». Reims, France. [OAI : oai:edutice.archives-ouvertes.fr:edutice-00001333_v1]
- INRP (1983). *Imagiciels, enseignement des mathématiques illustré par ordinateur*. Paris : INRP. (Rencontres pédagogiques, 1983, n° 1).
- IREM de Paris Nord (2000). *Simulation et statistique en seconde*.
- Lahanier-Reuter D. (1999). *Conceptions du hasard et enseignement des probabilités et statistiques*. Paris, P.U.F.
- Pichard J.-F. (2005). Théorie des erreurs, courbes en cloche et normalité. In *Statistique au lycée* volume 1. Brochure APMEP n° 156.
- Piednoir J.-L. (2006). La statistique Bayésienne. *Bulletin de l'APMEP* n°464, 373-388.
- Regnier J.-C. (2002). À propos de la formation en statistique. Approches praxéologiques et épistémologiques de questions du champ de la didactique de la statistique, *Questions éducatives. Revue du centre de recherche en éducation*, 22-23, 157-201.
- Regnier J.-C. (2006). Formation de l'esprit statistique et raisonnement statistique. Que peut-on attendre de la didactique de la statistique ? In Houdement C. & Castela C. (Eds.) *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2005*, ARDM.
- Roditi É. (2009). Un tableur-grapheur pour enseigner les statistiques en SHS, l'exemple du test du χ^2 . *Actes du colloque DIDAPRO-3*.
- Wozniak F. (2005), *Conditions et contraintes de l'enseignement de la statistique en classe de seconde générale. Un repérage didactique*. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard, Lyon 1.