

Mutation d'un cours de biostatistiques : évaluation d'un dispositif d'autoformation sur le Web

Grégoire **Vincke**

Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix
gregoire.vincke@fundp.ac.be

Eric **Depiereux**

Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix
eric.depiereux@fundp.ac.be

Compte rendu d'expérience intégrant les TIC

Résumé

Les biostatistiques représentent une discipline à l'intersection des mathématiques et de la biologie. Son enseignement relativement récent requiert encore de nombreux ajustements en vue d'être adapté à son public, généralement peu enclin à la formulation mathématique et très sceptique quant à son utilité. Le dispositif présenté ici expérimente les potentialités du multimédia et l'interactivité du Web 2.0 dans le but de rendre les concepts importants plus abordables et les étudiants plus autonomes. Nous insisterons particulièrement sur les mesures développées pour optimiser l'auto-apprentissage via le Web et sur les modifications du contrat didactique qui en ont découlé.

Mots-clés

Biostatistiques, auto-apprentissage, Web, contrat didactique

Abstract

Biostatistics is a hybrid discipline at the intersection of mathematics and biology. Compared with other scientific disciplines, such courses are relatively new and should be further adjusted to better fit the target audience, which is not highly familiar with mathematical formulation and is very skeptical about its usefulness. Our courses explored multimedia possibilities in order to make the concepts more accessible and the students more independent. We describe here the environment in which self-learning can be maximized. The teaching contract was also redefined in response to changes in the division of responsibilities between teachers and learners induced by this tool.

Keywords

Biostatistics, e-learning, teaching contract



©Auteur(s). Cette œuvre, disponible à http://ritpu.ca/IMG/pdf/RITPU_v07_n03_06.pdf, est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas de Modification 2.5 Canada : <http://creativecommons.org/licences/by-nd/2.5/ca/deed.fr>

1. Cadre de l'enseignement

1.1 Contexte institutionnel

Le public cible décrit ici est composé d'étudiants universitaires de seconde baccalauréat (BAC) en biologie, médecine, médecine vétérinaire et pharmacie, suivant des cours et travaux pratiques essentiels.

Le formalisme mathématique généralement rencontré dans les cours de statistiques a été réduit, tout en développant parallèlement une forte dimension conceptuelle. Notre but est d'amener les étudiants à pouvoir analyser une situation expérimentale et justifier tout choix de technique statistique en se basant sur des notions théoriques reconnues, en maîtrisant une technologie, au sens de Chevallard (1992). L'évolution du support Web a été sous-tendue par une volonté institutionnelle de développer les technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE), dans le but d'améliorer l'apprentissage et de rendre les étudiants plus autonomes. À l'époque du lancement du projet, nous pensions que le recours aux TICE permettrait de diminuer la charge d'encadrement des étudiants, la politique de nos universités étant de réduire le cadre horaire à cahier des charges égal. Force est de constater que cette charge a plutôt augmenté, vu l'investissement humain et technique que cette plateforme nécessite. La gestion des bases de questions et des forums de discussion a généré de nouvelles prestations. Si certains étudiants peuvent aujourd'hui acquérir les notions de base en parfaite autonomie, les séances présentielles permettent d'aborder aujourd'hui la matière plus en profondeur.

1.2 Savoir visé

Les biostatistiques se situent à la croisée des chemins, d'une part, de l'univers des sciences mathématiques, duquel relèvent les théories statistiques et, d'autre part, de l'univers des sciences biologiques, qui génère les hypothèses et les données expérimentales.

Les statistiques descriptives sont très anciennes. Les pratiques de recensement, par exemple, remontent aux plus anciennes civilisations. Il faudra néanmoins attendre le XVII^e siècle pour voir apparaître l'usage des statistiques prédictives dans les tables de mortalité (John Graunt, 1662, cité par Ourlanis, 1962).

Il est intéressant de constater que des concepts mathématiques anciens peuvent avoir des répercussions sur des développements technologiques récents en biologie. La théorie des valeurs propres (début du XIX^e siècle) donnera naissance à l'analyse en composantes principales en 1901, qui ne sera appliquée en écologie qu'à partir des années 1970, grâce à l'arrivée des premiers processeurs. Réciproquement, les interrogations du biologiste peuvent être à l'origine du développement de nouvelles théories mathématiques. Fisher (1890-1962), entre autres, est un généticien anglais qui a considérablement contribué à la conciliation statistique des données de l'hérédité selon Mendel et de la théorie de l'évolution de Darwin. Statisticien à ses heures, il révolutionna l'inférence en élaborant la théorie de l'analyse de la variance et de l'expérimentation factorielle.

De ces divers développements naquit une science hybride cherchant à répondre à des questions biologiques au moyen d'outils statistiques : les biostatistiques, formées d'outils spécialisés capables de fournir au biologiste une aide précieuse dans la perception et la quantification de son sujet d'étude. Son rôle d'analyse et d'aide à la décision se situe en aval de la démarche expérimentale, mais son utilité se trouve autant dans l'aide à la conception du plan expérimental optimal.

Le biologiste, le médecin, le vétérinaire et les autres professionnels du monde biomédical, qui constituent le public cible de l'enseignement analysé ici, sont rarement intégrés dans une équipe dont un membre maîtrise les statistiques. De ce fait, l'objectif assigné au cours est de les amener à maîtriser les concepts qui leur permettront d'optimiser leur protocole expérimental et de dégager de leurs analyses les conclusions appropriées (technologie), sans faire l'impasse sur un ensemble de techniques de base.

1.3 Transposition didactique

La réflexion au sein de notre laboratoire sur les liens entre l'évolution de notre dispositif didactique et de celle de la technologie du Web a été développée dans la thèse de Calmant (2004), que nous synthétisons ici. Selon Verret (1975, p. 140) : « toute pratique d'enseignement d'un objet pré-suppose la transformation préalable de son objet en objet d'enseignement ». La transformation des statistiques *pratiquées* en statistiques *enseignées* n'échappe pas à la règle (Chevallard, 1985). Cette transposition suppose une médiatisation du savoir qui permet de segmenter ce dernier en petits éléments qui pourront être abordés selon un parcours préétabli. Selon Chevallard, à côté des notions mathématiques, il existe d'autres objets de savoir, les notions paramathématiques qui « ne sont pas normalement des objets d'étude, mais des notions-outils de l'activité mathématique. Elles ne font pas l'objet d'une construction, mais sont préconstruites par monstration (on se contente d'en montrer des exemples) : ainsi, les notions d'équation, de variable, de paramètre ».

Le développement du site Web *Pratique des biostatistiques* (Calmant, 2004; Van Vyve-Genette, Gohy et Feytmans, 1988; Vincke, De Hertogh et Depieureux, 2005) a progressivement induit une évolution considérable du processus de transposition didactique. Au départ, l'enseignement était essentiellement un cours d'algèbre, largement inspiré de l'œuvre magistrale de Dagnelie (1969), rééditée à plusieurs reprises. Le texte, largement consacré à des démonstrations, soutenait l'élaboration des modèles et des formules (théorie) constituant la base sur laquelle reposent les techniques. Dans notre dispositif, les démonstrations ont cédé la place à des monstractions, sous forme d'animations (Flash, JavaScript) ou de simulation (tableurs). Dans le site, la matière a été subdivisée en modules centrés chacun sur un concept clé. Une carte de navigation interactive définit différents parcours entre ces modules, en fonction d'objectifs à atteindre.

Un des principaux obstacles didactiques que nous avons rencontrés est la notion de variabilité, qui génère celle d'incertitude, essence de cette discipline. Cette notion est d'autant plus problématique que dans la plupart des autres cours de baccalauréat, la variabilité n'est pas abordée, l'enseignement étant principalement focalisé sur des faits plutôt que sur des hypothèses. L'enseignement de l'incertitude, pourtant propre aux sciences du vivant, est ainsi relégué au seul cours de statistiques, dans un cadre horaire qui est souvent la portion congrue des programmes. Nous y voyons une cause potentielle de la faible rémanence des notions statistiques, relevée par nombre d'enseignants. Cette situation contribue également à entretenir chez l'étudiant l'idée que la matière est inutile, étant donné qu'elle n'est pas abordée par ailleurs, ce qui ne le motive pas à s'investir dans son apprentissage. Pour en revenir à la mesure de la variabilité, il est intéressant de relever un obstacle épistémologique, traduit par des termes ambigus comme « erreur type », observé au cours de l'histoire des statistiques et résultant de l'affrontement conceptuel entre la moyenne et la variabilité. L'histoire a ainsi mis en évidence que la variabilité des mesures que rapporte Mendel est inférieure à celle qui était biologiquement attendue, ce qui tend à prouver que, considérant la variabilité comme une *erreur*, et non comme une manifestation de la *diversité* naturelle, Mendel les avait un peu « accommodées » (Engel, 1990). Ceci conforte l'idée de Chevallard (1978) selon laquelle la première perception statistique est la moyenne : « L'idée centrale [...] c'est celle de tendance centrale ou de régularités ». Cette perspective n'est pas étrangère à la morale dominante de l'époque qui valorisait la conformité. Qu'elles soient *moyennes* ou *extrêmes*, les perceptions tronquées, dans notre imaginaire collectif, d'une réalité improbable, altèrent sévèrement la notion de variabilité biologique naturelle. La publicité ne canonise-t-elle pas, à travers les mannequins célèbres, des stéréotypes de silhouettes tout aussi improbables que celui de l'homme moyen imaginé par Quetelet (1871) à partir des mensurations moyennes des individus?

Comme relevé par Calmant (2004), la prise en compte, en ce qui a trait à l'analyse des causes, des écarts à la tendance centrale, viendra de problématiques extérieures aux statistiques telles que les théories de Galton et Binet, qui ont donné naissance à la psychologie différentielle. Ce changement de schèmes de pensée semble correspondre à une évolution des idéologies ambiantes relevées par Chevallard (1978) : « les transformations, tant politiques ou économiques que scientifiques, de la seconde moitié du XIX^e siècle, tendent à substituer à une idéologie du juste milieu, l'idéologie du progrès, de l'évolution, des élites ».

2. Site d'auto-apprentissage

2.1 Objectifs

Pour des raisons d'accessibilité, le site de biostatistiques se décline en deux versions qui impliquent chacune une technologie différente : une version Web et une version CD-ROM (Vincke *et al.*, 2005). Bien qu'il permette son utilisation par un autodidacte, il est essentiellement conçu comme un complément à un apprentissage présentiel.

Développé progressivement depuis 1985 au départ d'un didacticiel écrit en BASIC (Van Vyve-Genette *et al.*, 1992), ce support d'apprentissage a pour but d'expliquer les biostatistiques de façon plus intuitive et de diminuer le taux d'échec. Ses objectifs stratégiques sont les suivants :

- Diviser la matière en modules concis, centrés chacun sur un concept précis;
- Organiser les modules en parcours d'apprentissage visant un objectif concret;
- Proposer une navigation réticulaire, alliant souplesse et contraintes;
- Illustrer les modules par des animations rendant la théorie moins austère;
- Remplacer la démonstration par une monstration basée sur la simulation;
- Contextualiser les exemples pour mieux les insérer dans la spécialité du public;
- Développer une auto-évaluation formative

sous forme de questions à choix multiples (QCM) interactives;

- Favoriser la communication entre les enseignants et les étudiants par le biais d'un forum de discussion;
- Suivre les performances des étudiants afin d'évaluer et d'orienter l'enseignement.

2.2 Contrôle de la navigation

La modélisation de la navigation dans un produit didactique multimédia a fait l'objet de plusieurs recherches au sein de notre équipe (Ndaye-Mukuna *et al.*, 2003), et les détailler ici nous écarterait de notre propos. Les points essentiels en sont les suivants :

- La navigation dans un apprentissage encyclopédique, comme un atlas histologique (Remy *et al.*, 2004), répond à des exigences différentes de celles de l'apprentissage conceptuel (Housen *et al.*, 2001).
- La navigation dans un site peut être linéaire (l'apprenant est invité à suivre des modules ou des pages dans un ordre déterminé) ou réticulaire (l'étudiant est libre d'aborder différentes ressources : exercices, simulations, auto-évaluation) suivant une séquence personnelle (Housen *et al.*, 2001). La navigation linéaire est ressentie comme contraignante et offre peu de plus-value par rapport à un syllabus. La navigation réticulaire est proche de la navigation sur Internet : elle offre une liberté qui peut être excessive, dispersant l'étudiant en ne lui permettant pas de cerner son objectif à court terme et de maintenir sa motivation sur le long terme.

Le site *Pratique des biostatistiques* (Vincke *et al.*, 2005) propose un compromis en offrant au visiteur de choisir le mode de navigation qu'il préfère. La navigation entre les modules du site peut en effet être linéaire ou réticulaire, selon que les modules sont abordés dans l'ordre de la table des matières (figure 1a) ou selon un parcours prédéfini en fonction d'objectifs de formation bien précis, détaillés dans une carte de navigation (figure 1b).

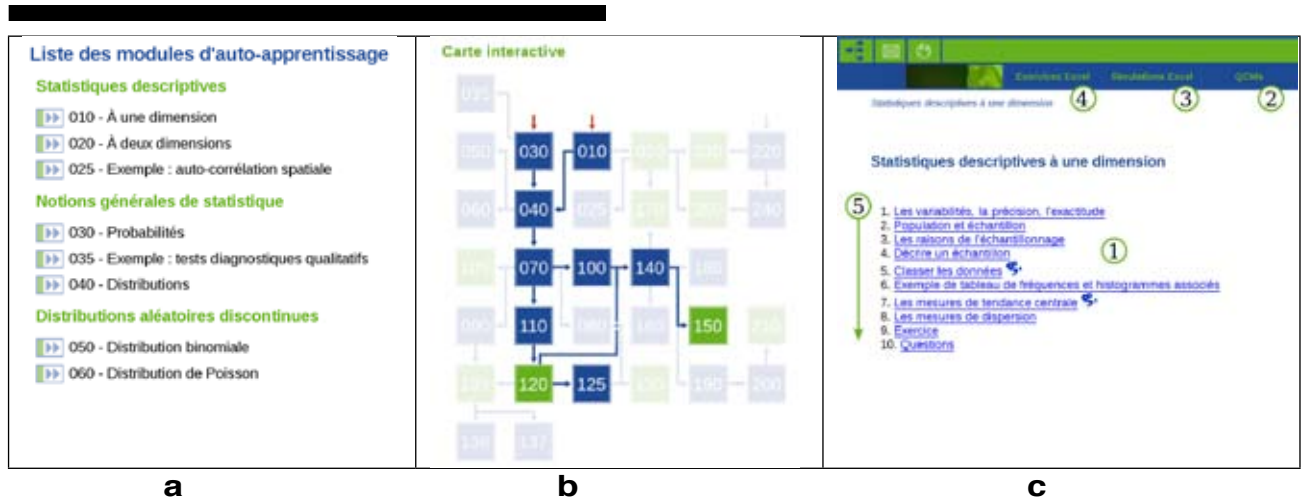


Figure 1. Modes de navigation dans le site d'auto-apprentissage des biostatistiques

a) Table des matières des modules (Vincke et al., 2005, page d'accueil), b) Carte de navigation interactive détaillant les différents parcours proposés. c) Page de garde d'un module offrant accès aux différentes notions théoriques (1), à des évaluations formatives (2), à des simulations (3), ou à des exercices sous forme de tableurs (4). Les pages d'un module sont proposées dans un ordre bien précis (5).

Dans chaque module, les pages sont présentées selon un ordre déterminé, chaque page présentant un point essentiel de la matière. Le mode de navigation réticulaire (figure 1c) permet d'accéder à des ressources complémentaires.

Contrairement à la navigation sur le Web qui est centrifuge (l'apprenant part d'une question et finit par en documenter d'autres), la navigation du site est centripète, la visite des ressources périphériques ne pouvant ramener l'apprenant qu'au point de départ.

2.3 Ressources didactiques complémentaires

Chaque module offre des outils didactiques complémentaires (figure 1c).

2.3.1 Exercices sous forme de tableurs

Des simulations et des exercices sont proposés sous forme de classeurs Excel (figure 2). Certains de ces exercices sont résolus en groupe lors des séances

de travaux pratiques, sous la tutelle d'un enseignant, mais la résolution de la majorité d'entre eux est laissée à l'initiative des étudiants, qui peuvent comparer leur solution au corrigé fourni.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A propos de Pratique des biostatistiques - www.fardis.ac.be/biostat Eric Depierreux - Université de Namur							
2			dose					
3			500	1000	2000			
4		0 h	15	15,89	16,72			
5			15,2	16,44	16,63			
6			14,9	16,28	16,44			
7		24 h	15	15,16	15,36			
8			14,2	14,94	16,85			
9			14,8	14,5	16,11			
10		48 h	15,2	15,03	16,18			
11			14,6	14,75	15,75			
12			14,4	15,69	15,85			
13	en savoir plus							
14	http://perso.wanadoo.fr/papillon.macro/bombix.htm							
15	Pour étudier l'effet des rayons X sur le temps de développement embryonnaire des œufs du ver à soie Bombyx mori, on a irradié 27 œufs à 3 stades de développement (incubation de 0, 24 et 48 heures) avec 3 doses de rayons X (500, 1000, 2000 Roentgen). Le tableau ci-dessous donne le temps de développement embryonnaire exprimé en jours.							
16	Écrivez le modèle, les hypothèses, les tests à réaliser, complétez les calculs et interprétez les résultats.							
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								

Figure 2. Exemple d'exercice téléchargeable sous forme de tableur (Excel)

Les données numériques sont mises en contexte en se référant à des situations expérimentales concrètes, illustrées par des photographies, généralement associées à un lien vers un site Web qui permet d'en savoir plus sur le thème biologique abordé. Un second onglet, non illustré ici, présente l'exercice résolu et les conclusions qu'on peut en tirer.

Saisie d'écran de l'interface de la plateforme eTests. Les questions sont à choix multiples mais à réponse unique, et les réponses doivent être associées à un coefficient de certitude. Des solutions générales complètent par défaut les propositions.

2.3.3 : Animations interactives

Des animations interactives, réalisées en Flash ou en JavaScript, permettent aux étudiants de cerner certaines subtilités qui demandent une approche dynamique, par exemple, la régression linéaire http://Webapps.fundp.ac.be/biostats/module_20, page 9 (figure 4) ou le calcul matriciel ([webapps.fundp.ac.be/biostats/biostats module240](http://webapps.fundp.ac.be/biostats/biostats_module240), page 2).

2.3.4 : Interaction entre acteurs dans un forum de discussion

Un forum de discussion facilite l'interaction des étudiants entre eux ou avec les assistants. Cet outil a été implanté pour permettre aux étudiants de partager leurs questions, trucs et astuces. Ce forum, qui a la particularité d'indiquer précisément la page du site où la question est posée, permet aussi un dialogue avec un des enseignants, qui consacre aux étudiants du temps en dehors des séances présentielles.

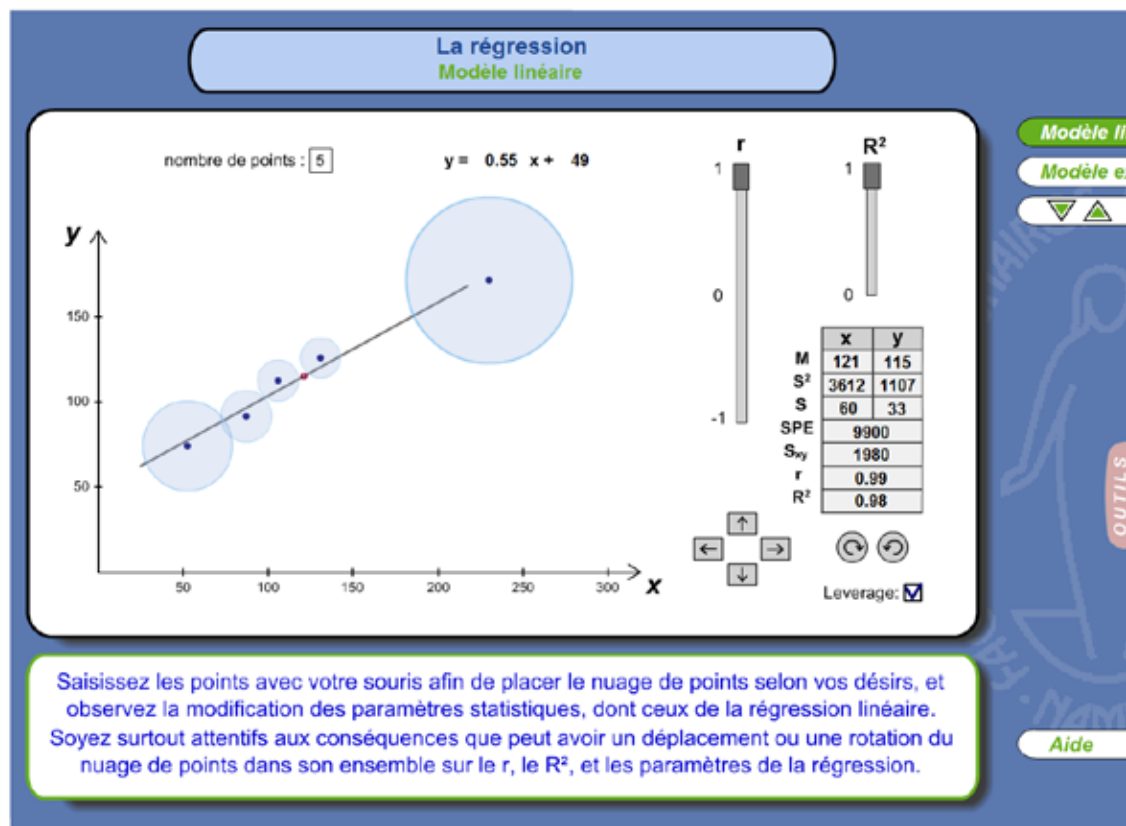


Figure 4. Exemple d'animation interactive

Illustration du poids relatif de chaque point dans le calcul des moindres carrés d'une régression linéaire et de l'influence prépondérante des données extrêmes (logiciel Flash).

3. Dispositifs complémentaires

3.1 Évolution du contrat didactique

Le développement du site d'auto-apprentissage a procuré un nouveau vecteur de formation aux étudiants. La majorité d'entre eux ont été séduits, peut-être par l'attrait de la nouveauté ou le caractère « tendance » du site, mais aussi par sa réelle plus-value didactique (Vincke, 2010).

Parallèlement, la présence au cours a largement chuté depuis la mise en place de ce dispositif. Cela peut poser certains problèmes sur le plan institutionnel, la réputation d'un professeur étant généralement corrélée au taux de remplissage de sa salle de cours. Cependant, aucune corrélation n'a pu être établie entre la présence au cours et le taux de réussite (tableau I). Plutôt que de chercher des artifices pour rendre l'assemblée captive de l'exposé oral, le contrat didactique (Sarrazy, 1995) a été modifié. La référence pour l'évaluation certificative de l'étudiant est désormais l'ensemble des notes de cours fournies par le professeur et non plus ce qui a été exposé au cours ou ce qui est accessible sur le site, qui est simplifié et destiné à plusieurs cursus. Cette disposition a demandé la rédaction de notes de cours spécifiques pour chacun des cursus, ceux-ci ayant des cahiers des charges différents. Les exposés *ex cathedra* ont été centrés sur les concepts problématiques et une tranche horaire est strictement réservée aux questions posées par les étudiants suivant un calendrier préalablement déterminé. Pas de question : pas de cours. Les étudiants, pourtant peu enclins au changement de règles, se sont rapidement adaptés et les plus studieux préparent des questions dont les réponses peuvent occuper toute la séance. Cependant, bien que la majorité des étudiants considèrent cette ressource comme essentielle à leur réussite, contrairement au cours *ex cathedra* (tableau II), seule une petite minorité d'entre eux assiste à ces séances.

Tableau I. Indépendance de la réussite à l'examen et de la présence au cours

Test d'indépendance de χ^2 . Présence et absence au cours : moyenne de 3 sondages par an réalisés au cours, sans annonce préalable. Les résultats sont cumulés pour les années 2009 et 2010. N.S. : test non significatif.

	Présence	Absence	Total		Présence	Absence	Total
Échec	9	13	22	Échec	14	23	37
Réussite	41	117	18	Réussite	27	42	69
Total	50	130	80	Total	41	65	106
BAC 2 Médecine vétérinaire $\chi^2 = 2,15$ N.S.				BAC 2 Biologie $\chi^2 = 0,017$ N.S.			

Tableau II. Enquête de satisfaction

Pourcentage de réponse à la question : « Quelle ressource considérez-vous comme essentielle à votre réussite? » Réponses anonymes, 2008 (n = 200)

Site Web	Exercices dirigés	Séances de questions	Exposés ex cathedra
98 %	95 %	58 %	35 %

3.2 Évaluation formative encadrée par la réalisation de simulations d'examen

En plus des QCM à correction instantanée, accessibles librement sur la plateforme eTests (webapps.fundp.ac.be/umdb/etests), un système d'évaluation d'accès contrôlé et à correction différée, développé au laboratoire, est géré par l'assistant durant les séances de travaux pratiques (Vincke et Depiereux, 2008). Pratiquement, les étudiants reçoivent nominativement une série de six questions représentatives du niveau de compétence attendu, dans un format identique à celui de l'examen certificatif. Ils ont 20 minutes pour résoudre ces six exercices et remplir à l'écran une grille de réponse personnelle, chaque réponse étant assortie d'un coefficient de certitude. Le corrigé n'est mis en ligne qu'à la fin du temps réglementaire et commenté en séance. Les étudiants reçoivent un détail anonyme des fréquen-

ces de réponses enregistrées pour chaque item des questions. Ils peuvent ainsi confronter leurs réponses à celles de leurs condisciples. S'ils constatent qu'ils sont parmi les seuls de leur groupe à avoir sélectionné un item incorrect, ils prendront conscience de leur retard sur le groupe et des points de la matière qu'ils doivent approfondir. Les enseignants peuvent consulter les résultats individuels de chaque étudiant et les profils de réponse du groupe.

4. Évaluation du processus

4.1 L'avis de la communauté

Le site Web est ouvert sur le monde sans inscription ni mot de passe et les statistiques de visite sont suivies par Google Analytics (<http://analytics.google.com>). Les accès représentent en moyenne 100 visites par jour, en provenance de l'ensemble du monde francophone, Canada et Afrique compris, avec un grand nombre de pages lues et un taux de rebond faible, ce qui témoigne du fait qu'un bon nombre de visiteurs s'y attendent.

Le site a été primé en 2008 par le Fonds international Wernaers (créé auprès du Fonds de la recherche scientifique belge - FNRS), qui récompense des projets originaux en matière de communication des connaissances, instaurés en Europe ou en Afrique noire de langue française.

4.2 L'avis des étudiants

Une évaluation des enseignements a été réalisée par les étudiants en 2009 à l'échelle de toute l'université. Sur les 59 étudiants qui ont répondu à l'enquête, seuls 38 % sont en accord avec l'affirmation : « le cours est utile à ma formation professionnelle » et 90 % d'entre eux plébiscitent le site Web comme étant « une aide précieuse à l'apprentissage ». En 2010, dans le cadre d'une étude sur la plateforme eTests, 84 % des 51 répondants ont déclaré fréquenter régulièrement le site *Pratique des biostatistiques*, et 88 % ont déclaré que la mise à disposition de questions à choix multiples sur eTests était une

véritable aide à l'apprentissage des biostatistiques (Vincke, 2010). Par ailleurs, ces deux dernières années, nous avons observé qu'un nombre appréciable d'étudiants avaient déjà pris connaissance des exercices avant les séances de travaux pratiques, ce qui tend à démontrer un engagement accru de leur part.

4.3 Le taux de réussite

En toute généralité, il est difficile, voire dangereux, de mettre en lien l'évolution d'un dispositif pédagogique avec une modification du taux de réussite à l'examen certificatif, celle-ci pouvant être indépendante de la modification apportée au dispositif. Par ailleurs, la rémanence des acquis et le fait qu'ils puissent être acquis plus tôt et/ou par un plus grand nombre d'apprenants sont autant d'indices difficilement quantifiables, n'influençant pas forcément le succès à l'examen certificatif, mais qui doivent être considérés comme des plus-values lors d'une modification de dispositif d'enseignement. La diminution du taux d'échec étant un objectif essentiel de l'évolution de notre dispositif, nous avons tenté d'exprimer les performances des étudiants le plus indépendamment possible du niveau global de l'année et de la section d'étude. Pour cela, nous avons calculé, pour l'ensemble des étudiants, le rapport entre le nombre de notes d'échec ($< 10/20$) dans le cours de statistiques et le nombre de notes d'échec pour l'ensemble de tous leurs cours, qui reflète le niveau global annuel de la promotion (figure 5).

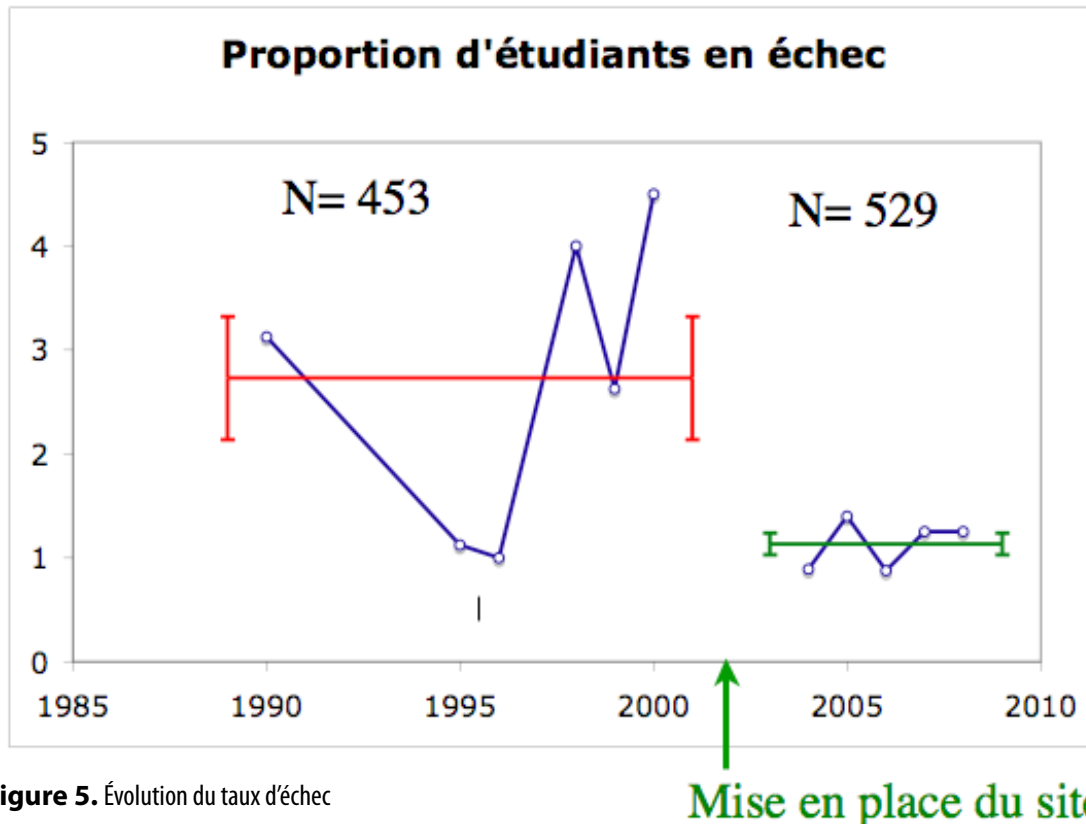


Figure 5. Évolution du taux d'échec

Ordonnée : rapport entre le nombre de notes d'échec (< 10/20) dans le cours de statistiques et le nombre d'échecs sur la moyenne de tous les cours. Abscisse : années. La moyenne globale de deux périodes (rouge : avant la mise en place du site, vert : après la mise en place du site) est représentée par des barres horizontales. Les barres verticales rouges et vertes représentent \pm une erreur standard de la moyenne par période. N = nombre total d'étudiants concernés par période.

Nous constatons qu'avant la mise en place du site, le rapport moyen est très variable et se situe à 95 % entre 1,6 et 4,1. Ceci signifie qu'avant la mise en place du site *Pratiques des biostatistiques*, le taux d'échec dans ce cours a été jusqu'à quatre fois supérieur au taux d'échec pour la moyenne générale des cours. Après la mise en place du site, ce rapport apparaît beaucoup moins variable et le rapport moyen se situe à 95 % entre 0,8 et 1,2. Ceci signifie que les étudiants en échec en statistiques ont aussi plusieurs autres échecs par ailleurs et sont donc des étudiants de faible niveau.

En conclusion, notre interprétation de l'analyse de l'évolution des notes est que les performances dans le cours de statistiques se sont nettement améliorées, par rapport aux performances globales des étudiants, à niveau d'exigence égal à l'examen certifié. Le dispositif d'enseignement ayant été modifié sur plusieurs plans (développement de modules d'auto-apprentissage, mise en ligne d'évaluations formatives similaires à l'évaluation certificative, réorganisation du temps didactique, évolution du processus didactique en fonction des obstacles détectés dans l'apprentissage), il nous semble vain de tenter d'isoler le poids relatif de chacune de ses étapes dans l'amélioration des performances.

4.4 L'appropriation des concepts

Nous nous sommes par ailleurs demandé si l'amélioration des performances des étudiants traduisait une réelle amélioration de leur compréhension de la matière. Le biais possible dans l'analyse des notes d'examen serait attribuable au fait que les étudiants auraient simplement mieux intégré les règles du processus d'évaluation sans pour autant mieux comprendre les biostatistiques.

Un élément de réponse vient des biologistes, seule section que nous suivons en second baccalauréat (BAC2), objet de cette étude, en troisième baccalauréat (BAC3) et en première maîtrise (M1). L'évaluation des BAC3 est orale et l'interview couvre largement les techniques et l'interprétation de modèles complexes. Les prérequis de BAC2 y apparaissent bien maîtrisés. Par ailleurs, en M1, dans le cadre d'un travail personnel, les étudiants évalués se montrent capables d'élaborer un plan expérimental, de mettre en œuvre les techniques *ad hoc* et d'interpréter correctement les résultats. À la question posée au cotitulaire, professeur dans une autre université : « au seuil de leur vie professionnelle, les étudiants maîtrisent-ils les techniques de biostatistiques? », la réponse est fondamentalement oui, pour la grande majorité des étudiants.

Cette évolution positive au cours de la formation nous permet de réfuter, provisoirement au moins, l'idée que les étudiants ont simplement réussi à contourner l'apprentissage en maîtrisant seulement le processus d'évaluation.

L'effet spécifique du dispositif sur la modification du taux d'échec n'a pas été évalué quantitativement. L'idée d'instaurer un enseignement différencié, avec des groupes contrôles, pour lesquels la matière serait dispensée avec l'ancien dispositif, et des groupes tests, pour lesquels elle le serait suivant ce nouveau dispositif a été évoquée par différents intervenants lors de colloques. Elle nous semble irréaliste au moins à deux points de vue. Tout d'abord, notre philosophie prônant un site ouvert sur le monde est contraire à l'idée que les étudiants contrôles puissent ne pas y avoir accès. Ensuite,

notre évolution nous apparaît irréversible : il semble tout à fait impossible de donner à nouveau le cours sous la forme où il était dispensé auparavant, et éthiquement difficile de justifier le taux d'échec supérieur des « cobayes », le cas échéant.

4.5 Rôle des différentes composantes du processus

Enfin, nous abordons une dernière question, celle de l'impact des différentes composantes de la modification du processus d'enseignement et d'apprentissage. Une seule d'entre elles n'aurait-elle pas mené au même résultat? La réduction du taux d'échec peut être la cause du passage des démonstrations à des monstrosités et/ou de l'enthousiasme plus élevé de l'instructeur qui travaille avec le logiciel et/ou la mise en ligne de question types et/ou la modification du temps didactique et/ou le développement du processus d'auto-apprentissage. Plus encore que la mesure quantitative de l'effet du processus dans son ensemble, cette analyse s'avère complexe et peu réaliste. Cependant, y aurait-il un intérêt réel à chercher à mettre en évidence le rôle des différentes composantes d'un dispositif si, dans sa globalité, celui-ci atteint les objectifs essentiels : susciter une critique positive des étudiants et augmenter le taux de réussite, sans revoir à la baisse les concepts enseignés et leur appropriation par la majorité des étudiants?

5. Conclusion

Notre approche de l'enseignement des biostatistiques a permis de résoudre une série d'obstacles liés au manque de motivation des apprenants et à l'existence d'obstacles didactiques et épistémologiques.

Les outils mis en place dépassent le développement d'un site Web interactif. Ils impliquent une simplification de la formulation mathématique, la présence de l'approche technologique sur la diversification des techniques, l'auto-évaluation formative, la remise en cause des procédés pédagogiques et la modification du contrat didactique.

Le dispositif que nous avons mis en place a diminué le taux d'échec, sans brader les exigences quant à la maîtrise des concepts. Cependant, il échoue toujours sur un point fondamental, celui de la gestion des probabilités d'erreur dans les conclusions d'un test statistique, dont la perception par les étudiants reste très problématique. Cette difficulté n'est pas propre à notre cours et affecte les mémoires, thèses et publications de bon nombre de scientifiques. Cette appropriation conceptuelle est cependant celle qu'il est fondamental que le futur scientifique retienne du cours. Plus que la maîtrise des techniques, la lecture critique des conclusions est essentielle dans tous les domaines scientifiques, à commencer par le médecin qui interprète une analyse de sang pour poser un diagnostic, même si au cours de toute sa carrière il n'effectuait jamais lui-même, techniquement, un test statistique.

6. Perspectives

En se penchant sur l'obstacle didactique soulevé dans notre conclusion, comprendre la différence entre le rejet ou l'acceptation d'une hypothèse, nous pouvons relever qu'il met en jeu de façon complexe des concepts dont la maîtrise relève des statistiques et d'autres qui dépendent de registres différents. Devant une double négation, la difficulté se situe dans le registre linguistique. À la question : « si vous vous trompez en acceptant un modèle, celui-ci est-il vrai ou faux? », la majorité des étudiants restent pantois. Il s'agit pourtant d'une des clés du raisonnement : si je me trompe en acceptant un modèle, il est faux. Les probabilités déterminées à partir de ce faux modèle sont fausses, la probabilité de se tromper en acceptant un modèle est donc inconnue.

Devant l'absence d'évidence expérimentale, l'étudiant se trouve confronté à une difficulté qui est dans le registre de la logique. Il s'agit de faire la différence entre une évidence expérimentale et une hypothèse. L'affirmation « il y avait de la vie sur la Terre il y a deux milliards d'années » est scientifiquement prouvée. L'affirmation « il n'y a pas de vie sur Mars » est potentiellement réfutable, mais

n'est pas susceptible d'être prouvée actuellement. Pourtant, il suffira de trouver une bactérie dans un prélèvement de roche martienne pour invalider, par une évidence expérimentale, cette hypothèse. Il est donc par essence impossible de prouver la non-existence d'un fait, ce qui est le cas d'un test statistique « non significatif ».

Enfin, lorsqu'il s'agit de modéliser les probabilités d'erreur dans les conclusions d'un test statistique, l'étudiant est confronté aux problèmes des ostensifs, « distributions gaussiennes » et « tables de probabilités », qu'il est difficile de s'approprier** et qui se basent sur une longue cascade de concepts préliminaires.

Notre prochain défi est de résoudre ces problèmes en mettant en œuvre une nouvelle stratégie de diagnostic des obstacles didactiques par l'utilisation généralisée d'évaluations formatives sur la plateforme eTests (Vincke 2010), qui nous permettra de suivre l'évolution de questions de complexité croissante élaborées en « poupées russes » de façon à déterminer précisément le point de décrochage d'une cohorte d'étudiants.

Références

- Calmant, P. (2004). *Favoriser l'apprentissage des biostatistiques par le Web? Essai de problématisation d'une question issue du terrain* (thèse de doctorat non publiée). Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, Belgique.
- Chevallard, Y. (1978). *Notes pour la didactique de la statistique*. Marseille, France : Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) d'Aix-Marseille.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, France : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12(1), 73-112.

- Dagnelie, P. (1969). *Théories et méthodes statistiques* (vol. 1-2). Gembloux, Belgique : Presses agronomiques.
- Engel, A. (1990). *Les certitudes du hasard*. Lyon, France : Aléas.
- Housen, I., Calmant, P., Ndaye-Mukuna, M., Vaiser, D., de Baenst, A., Rousselet, D., ... Depiereux, E. (2001). *Programme multimédia d'apprentissage des principes et des applications du génie génétique* [cédérom]. Namur, Belgique : Presses universitaires de Namur. Version de démonstration récupérée le 14 février 2011 du site des Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix à Namur : http://webcampus.fundp.ac.be/courses/MAI/document/Apprentissage_des_principes_et_des_applications_du_genie_genetique/MAI/index.html
- Ndaye-Mukuna, M., Vanleve, J., Calmant, P., Pirotte, C., Housen, I. A., de Baenst-Vandenbroucke, A., ... Noirhomme-Fraiture, M. (2003). MAI: An authoring system for designing interactive learning modules. Dans M. Rauterberg, M. Menozzi et J. Wesson (dir.), *Human-Computer Interaction INTERACT'03* (p. 1111-1112). Amsterdam, Pays-Bas : IOS Press. Récupéré du site de Matthias Rauterberg, section *Scientific background - Conference [co-]chair* : <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg>
- Ourlanis, B. Ts. (1962). Le tricentenaire de la démographie. *Population*, 17(4), 725-738. Récupéré du site Persée, section *Revue scientifique* : <http://www.persee.fr/web/revues>
- Quetelet, A. (1871). *Anthropométrie ou Mesure des différentes facultés de l'homme*. Bruxelles, Belgique : C. Muquardt. Récupéré du site Internet Archive : <http://www.archive.org/details/anthropmetrieou00quetgoog>
- Remy, S., Bodson, M., Troussart, J.-P., Welcomme, L., Calmant, P., Vanleve, J. ... Depiereux, E. (2004). *Atlas d'histologie et d'anatomie des plantes vasculaires* [cédérom]. Namur, Belgique : Presses universitaires de Namur. Version de démonstration récupérée le 14 février 2011 du site des Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix à Namur : <http://webapps.fundp.ac.be/umdb/histoplantvasc>
- Sarrazy, B. (1995). Le contrat didactique. *Revue française de pédagogie*, 112, 85-118. Récupéré du site de la revue : <http://dx.doi.org/10.3406/rfp.1995.1229>
- Van Vyve-Genette, A., Gohy, J. M. et Feytmans, E. (1988). *Statistique élémentaire pour les sciences biomédicales : apprentissage par la micro-informatique*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études* (vol. 1-2). Paris, France : Honoré Champion.
- Vincke, G. (2010). *Évaluation formative en support de l'apprentissage des biostatistiques. Analyse d'une pratique et identification des facteurs d'apprentissage développés dans la plate-forme eTests* (mémoire de master complémentaire, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique. Récupéré du site des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix : http://www.fundp.ac.be/recherche/publications/page_view/71388
- Vincke, G., De Hertogh, B. et Depiereux, E. (2005, mise à jour décembre 2009). *Pratique des biostatistiques* (version 2.7). Récupéré le 7 janvier 2011 du site des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, section *Faculté des sciences - Biologie - UMDB - Multimedia* : <http://Webapps.fundp.ac.be/biostats>
- Vincke, G. et Depiereux, E. (2008). Exemple d'utilisation d'auto-évaluation formative en support de l'apprentissage des biostatistiques en premier cycle universitaire, ou quand l'évaluation des étudiants conduit à la remise en question du système d'apprentissage lui-même. Dans L. Mottier Lopez, Y.-E. Dizerens, G. Marcoux et A. Perréard Vité (dir.), *Actes du 20^e colloque de l'ADMEE-Europe*. Récupéré du site des Actes : <https://plone2.unige.ch/admee08/communications-individuelles/j-a1/j-a1-4>

Note de l'auteur

Sur le plan conceptuel et technique, ce travail qui s'étale sur plus de 10 ans est intimement lié à d'autres développements de produits didactiques multimédias et il est impossible de citer nommément toutes les personnes qui s'y sont impliquées directement ou indirectement. Qu'elles se sentent associées à la courte liste des personnes citées ici : Philippe Calmant, Pierre Dagnelie, Ernest Feytmans, Isabelle Housen, Marcel Lebrun, Monique Noirhomme, Isabelle Motte, Marcel Remon, Daniel Rousselet, Maggy Schneider, Marianne Bodson, Suzy Remy, Jean-Pierre Troussart...