Quand la délocalisation numérique d'une partie d'un dispositif d'apprentissage permet de recentrer le temps présentiel sur un obstacle : exemple de l'appropriation de la courbe de Gauss par la manipulation d'objets concrets

Grégoire **VINCKE**
Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
gregoire.vincke@fundp.ac.be

Anne-Cécile **WAUTHY**
Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
anne-cecile.wauthy@fundp.ac.be

Benoît **BIHIN**
Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
benoit.bihin@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 traitent les observations numériques réalisées sur le vivant. La référence à un modèle, telle la gaussienne, objet de cet article, représente pour notre public cible un obstacle épistémologique lié à son inaptitude à la modélisation mathématique. Les ostensifs graphiques interactifs sur lesquels repose notre dispositif didactique développé sur le Web lui restant encore peu accessibles, leur appropriation est assurée par la mesure d'objets et la transposition des données réelles d'un tableur en histogrammes concrets. Cette approche pratique n'a pu être mise en place que par la libération de temps didactique, inhérente à la délocalisation numérique d'une partie du dispositif original.

Mots-clés

Courbe de Gauss, ostensif, distribution de fréquence, histogrammes, modèles, manipulation

Abstract

Biostatistics is the processing of computer-based observations of living organisms. For our target audience, the reference to a model such as the Gaussian model, which is the focus of this article, constitutes an epistemological obstacle due to their inability to perform mathematical modelling. The interactive graphical representations on which our web-based teaching tool is based still remain largely inaccessible to them. Conceptual appropriation is made possible through the measurement of objects and the transfer of real data from a spread sheet into an actual histogram. This practical approach was made possible by the release of instructional time thanks to the transfer of part of the learning process to a computer-based system.

Keywords

Gaussian curve, graphical representations, frequency distribution, histograms, models, handling

* Ce texte adopte l'orthographe rectifiée.

Contexte

Public cible

Le public cible de cette étude est composé d'étudiants universitaires dans les orientations biologiques et médicales de seconde année du baccalauréat (équivalent de la deuxième licence en France) qui suivent le cours de biostatistiques. L'enseignement de cette discipline dans les sciences du vivant est récent (Dagnelie, 1988) et nécessite encore de nombreux ajustements. En effet, avant les expériences de Mendel (1822-1884), qui représentent l'une des premières approches expérimentales quantitatives dans les sciences du vivant, il fut impossible d'élaborer les modèles qui ont permis l'essor de la recherche biologique et médicale, parce que ceux-ci nécessitent une bonne maitrise de la variabilité, comme le montrent les controverses sur la variabilité de ses résultats (Pilpel, 2007). Cela explique, entre autres, l'énorme retard du développement de la biologie par rapport aux sciences « dures ». Il faudra ainsi attendre les travaux de R. A. Fisher (1890-1962), qui révolutionna l'inférence en élaborant la théorie de l'analyse de la variance et de l'expérimentation factorielle, pour que les biostatistiques s'imposent (lentement) comme une facette incontournable de toute expérimentation dans le monde du vivant et percolent à travers le système d'enseignement.

Ostensifs

Cette étude est centrée sur un concept clé de la statistique qui est la modélisation de la variabilité par la courbe de Gauss. Ce concept peut être représenté par plusieurs ostensifs[1] : une équation, une démonstration, des tables, un graphique (figure 1).

On entendra par « ostensif » tout objet qui peut être appréhendé par les sens (Bosh et Chevallard, 1999). À contrario, seront non ostensifs les idées, les intuitions, les concepts… qui ne peuvent être décrits que par l'intermédiaire d'ostensifs adéquats comme des mots, des graphiques, des images, des gestes...

Dans notre approche du cours d'introduction aux statistiques, la maitrise de l'ostensif graphique de la courbe de Gauss occupe une place centrale pour comprendre le théorème de la limite centrale, qui est lui-même la clé de la distribution d'échantillonnage et de toutes les techniques d'inférence paramétriques consacrées aux comparaisons de moyennes, en ce compris la gestion des risques d'erreurs liées aux résultats faux positifs et faux négatifs. Est donc en jeu un ensemble de concepts de base permettant de planifier et d'interpréter la grande majorité des expériences menées dans le domaine biologique et médical. Réciproquement, si ce concept est bien maitrisé, les techniques qui en dérivent ne sont pas très difficiles à mettre en œuvre. D'autres écoles ont des approches différentes (statistiques non paramétriques, bayésiennes, rééchantillonnage …**si l'on tient à éviter l'anglicisme pourtant consacré « bootstrap »: ok pour rééchantillonnage mais pas autoamorçage comme proposé**), mais il n'est pas approprié de développer ici l'ensemble de la problématique de l'enseignement de la statistique.

Dès les années 1980, nous avons développé dans notre unité d'enseignement et de recherche un dispositif d'apprentissage sur ordinateur (Van Vyve-Genette, Gohy et Feytmans, 1988), relayé à partir des années 2000 par un site Web statique (Calmant, 2004) et progressivement enrichi avec des outils dynamiques propres au Web 2.0 (Vincke et Depiereux, 2010). Cette approche est largement centrée sur des ostensifs graphiques rendus plus conviviaux et attractifs depuis le développement de la micro-informatique. Couplés à la simulation[2], ces ostensifs permettent de remplacer la démonstration algébrique par une « monstration », une approche qui se veut plus intuitive.

Nos dispositifs didactiques recourant au support informatique étaient censés apporter une aide au franchissement d'obstacles repérés au cours de l'évaluation. Pour l'approche du théorème de la limite centrale[3], par exemple, la simulation illustre la superposition progressive d'un histogramme au modèle gaussien lorsque l'effectif de l'échantillon augmente (figure 1). Nous misions sur le fait que l'histogramme soit pour les étudiants un ostensif plus concret, car construit directement à partir des données.

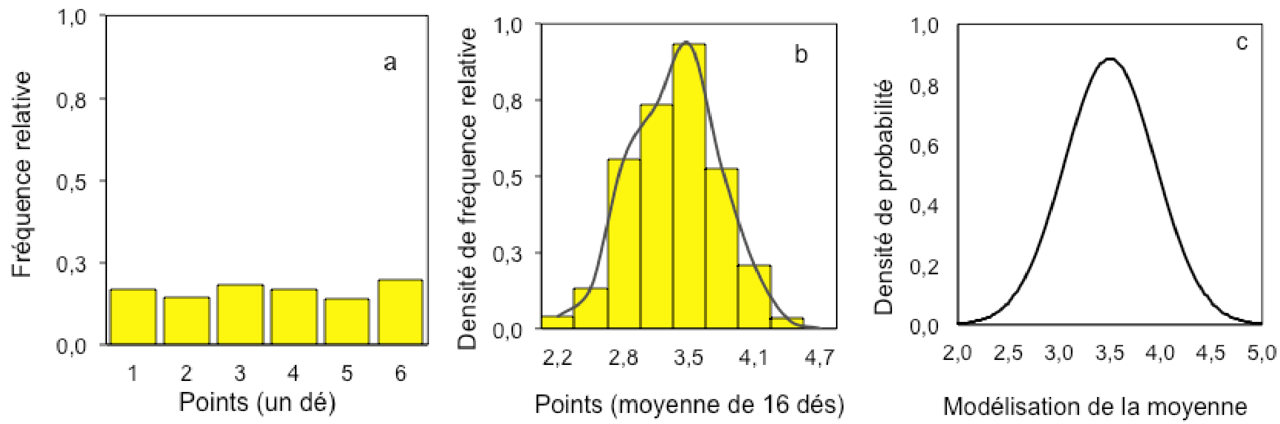

Figure 1. Monstration par simulation du théorème de la limite centrale par l'ostensif d'un diagramme de barre, en jaune (a) et celui d'un histogramme, en jaune, superposé à l'estimation de la courbe de Gauss, représentée par le lissage de l'histogramme par un trait noir (b). L'ostensif de la courbe de Gauss modélisée représenté à la même échelle (c).

Transposition didactique

Le « savoir savant » est représenté par des équations et démonstrations qui restent absconses pour le public cible. La transposition didactique en « savoir enseigné » (Chevallard, 1985; Mercier, 2002; Verret, 1975) repose sur une monstration que simule le jet, un grand nombre de fois, d'un seul dé équilibré. On observe une distribution de fréquences relatives qui tend vers une distribution rectangulaire (figure 1a) : la probabilité de chaque face étant constante (1/6), la *fréquence relative* observée est à peu près constante. Si l'on jette un grand nombre de fois *plusieurs* dés équilibrés (figure 1b : 16 dés), l'histogramme représentant la *densité de fréquence relative* en fonction de la moyenne de ces 16 dés tend vers une *fonction de densité de probabilité* représentée par la distribution de Gauss (figure 1c). Cette distribution sera d'autant moins dispersée de part et d'autre de la moyenne que le nombre de dés est grand. Ce qui revient à dire, trivialement, que ce qui est rare (obtenir 16 fois 1, ou 16 fois 6) correspond à une probabilité faible et que ce qui est fréquent (obtenir une moyenne de 3 par des combinaisons de 5 et 1, ou 2 et 4, ou 3 et 3…) correspond à une probabilité élevée.

Cependant, une analyse rétrospective de l'impact de notre site sur l'intégration de ce concept par les étudiants, basée sur l'enregistrement de la stratégie de résolution de problèmes par des binômes d'étudiants (Calmant, 2004), nous a amenés à reconsidérer notre approche. En effet, le décodage de l'ostensif d'un histogramme représenté sur un écran reste encore trop abstrait pour la plupart d'entre eux. Une cascade d'obstacles doit en effet être franchie : partant du diagramme de barre (figure 1a), qui représente X, et de la *fréquence relative* des observations de X, on demande à l'étudiant de faire le saut à l'histogramme (figure 1b), impliquant la notion peu évidente de *densité de fréquence relative* (transformation permettant que la surface de tout l'histogramme devienne unitaire), qui devient enfin une *densité de probabilité* dans la modélisation du modèle gaussien (figure 1c). Il ressort de cette observation que la notion d'abstrait et de concret est très relative. Pour un mathématicien, la manipulation répétée d'ostensifs abstraits finit par les rendre concrets à ses yeux. Pour le non-mathématicien, confronté sans préparation à ces mêmes ostensifs, ils restent abstraits.

Nous n'avons pas réussi à contourner *in silico* ces obstacles en cascade, car la représentation automatique des ostensifs à l'écran renforce leur abstraction. Nous avons dès lors remis en question notre paradigme du tout à l'écran et développé une séance de travaux pratiques dans le but de lever en partie ces obstacles. Le dispositif présenté ici s'attardera donc à aider les étudiants à s'approprier un histogramme de fréquence afin qu'ils le considèrent comme ostensif d'une distribution de *fréquence*, puis de *fréquence relative* et de *densité de fréquence relative*, et que lorsqu'il sera étendu à un nombre illimité de classes, ils acquièrent comme un ostensif concret la *fonction de densité de probabilité* normale. Le temps nécessaire à cette manipulation fut obtenu en délocalisant l'apprentissage de techniques découlant de ces concepts dans l'utilisation autonome des modules correspondants du cours en ligne.

Modèles

Modèle pédagogique

Selon Altet (1997), le modèle pédagogique est centré sur la transformation de l'information en savoir par la pratique relationnelle et l'action de l'enseignant en classe et par l'organisation de situations pédagogiques pour l'apprenant. Notre modèle centre l'apprenant entre deux sphères, l'une numérique et l'autre présentielle (figure 2). La sphère numérique correspond à un dispositif d'enseignement asynchrone, équivalent à un « cyberprofesseur » selon l'expression de Lombard (2007). Elle est détaillée dans un autre article (Vincke et Depiereux, 2010) et nous nous contenterons de dire ici qu'elle induit une nouvelle dévolution des tâches, au sens de Brousseau (1998) et une modification du temps didactique, au sens de Chopin (2005). L'autoapprentissage en ligne est basé sur un site Web commun à plusieurs institutions, au sens de Chevallard (1999) : par exemple, l'institution « Bac 3 biologie » est différente de « Master 1 biologie » et de « Bac 2 médecine », le cahier des charges du cours et son volume horaire étant différents d'une institution à l'autre. Il est donc complété d'une carte de navigation interactive représentant le réseau sémantique des concepts destinés à chaque institution et de notes de cours **syllabus est peut etre un belgissisme.. traduire alors par « notes de cours » et non par plan de cours comme propose**(accessible en ligne, mais aussi imprimé) propre à chaque institution, qui détaille le contenu et l'illustre de contextes expérimentaux qui lui sont spécifiques. L'acquisition d'une partie du savoir enseigné est donc dévolue à l'apprenant, la sphère présentielle se focalisant sur les concepts qui représentent les principaux obstacles à l'apprentissage. Par la réduction du temps présentiel, la charge globale de l'étudiant comptabilisée en ECTS[4] tend à rester constante. Ce modèle vise la mise en application de la pédagogie différentiée décrite par Hotte, Basque, Page-Lamarche et Ruelland (2007) : multiplication des cheminements d'apprentissage, convergence entre activités d'apprentissage, contenu de cours, cheminement d'apprentissage, instrumentalisation technologique et caractéristiques propres aux apprenants. En effet, chacun de nos dispositifs couvre quasi toute la matière et offre des approches (presque) complètes, mais abordant les mêmes concepts sous des angles et des supports différents. Ils induisent manifestement des comportements d'apprentissage différents chez les étudiants.

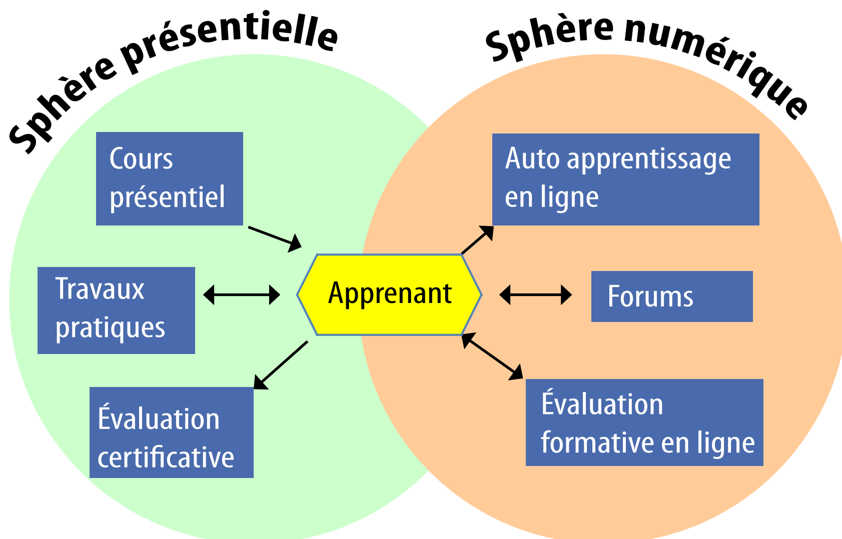

Figure 2. Modèle pédagogique. Sphères numérique et présentielle réglant la dévolution des tâches et la gestion du temps didactique. En encadré bleu, les dispositifs développés au sein de chaque sphère

Modèle didactique

Altet (1997) décrit le modèle didactique (figure 3) comme le système de gestion de l'information et de la structuration du savoir par l'enseignant et de leur appropriation par l'apprenant. Le savoir savant visé ici est formel, il appartient à l'institution mathématique. Son objectif est la formalisation et la démonstration des phénomènes qu'il décrit. Les équations et théorèmes qui le composent n'étant ni accessibles ni indispensables au public visé par notre dispositif, le travail de transposition didactique vise à élaborer un savoir compréhensible sur le plan intuitif, en évitant de s'éloigner trop de son essence mathématique au point de risquer de le dénaturer. Pour le module détaillé dans cet article, les tâches sont la représentation des données et leur modélisation en supposant un nombre de données infini, et les ostensifs associés sont les graphiques et les simulations (*cf. supra,* § Transposition didactique). Ce niveau est largement dévolu au « cyberprofesseur », et donc à l'autoapprentissage de l'étudiant dans la sphère numérique. Nos observations ayant remis en question ce modèle à deux niveaux, il est ici complété d'un troisième niveau, pragmatique (ou « praxéologique » selon Chevallard, 1999), qui est un dispositif présentiel et dévolu à l'équipe enseignante. Les tâches associées à ce niveau, pour le module envisagé ici, sont la manipulation d'objets concrets et la prise d'observation à l'aide d'ostensifs qui sont des instruments de mesure et leur mise en ordre dans un tableur. C'est donc à ce niveau que se situe notre dispositif, destiné à offrir un « marchepied » pour franchir des obstacles didactiques en cascade.

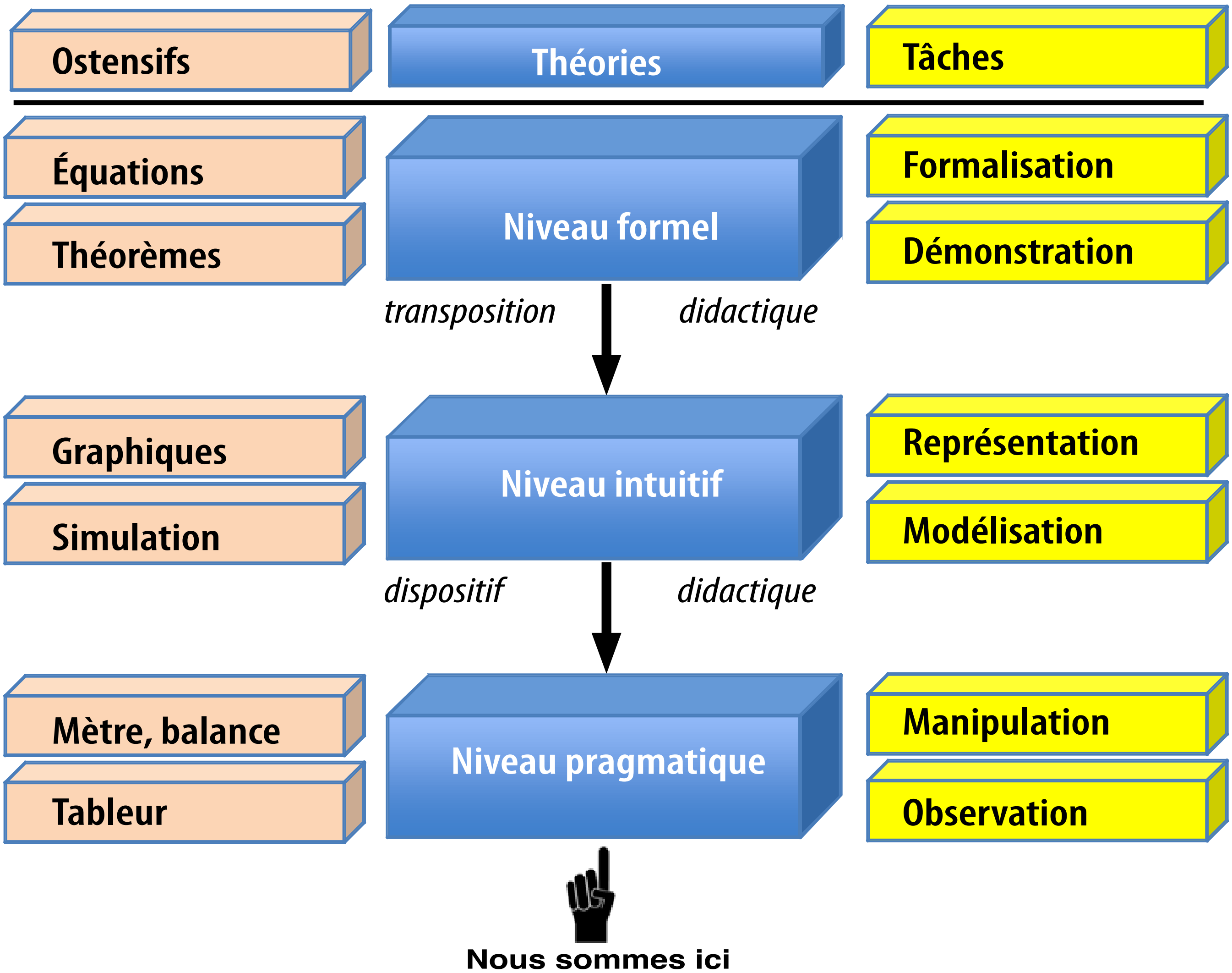

Figure 3. Modèle didactique : niveaux théoriques (en bleu), tâches associées (en jaune), ostensifs mis en œuvre (en rose)

Dispositif didactique

Objectifs

Le but est que le public cible défini ci-dessus appréhende le concept de la courbe de Gauss et le théorème de la limite centrale d'une façon pragmatique et active. L'idée de réaliser des mesures expérimentales nous est venue d'une discussion avec le professeur émérite P. Dagnelie, auteur d'une édition magistrale en plusieurs volumes de notions de statistiques (Dagnelie, 1969) rééditée à plusieurs reprises, mais comprenant fort peu d'ostensifs graphiques : «… *de mon temps*, on n'avait pas d'ordinateur. On prenait des feuilles de marronnier et les étudiants devaient les mesurer… » (Dagnelie, *comm. pers.*). Loin de supplanter le cours d'autoapprentissage, ce dispositif constitue une approche complémentaire permettant d'y accéder. Le temps consacré à cette séance représentant 20 % du temps total de travaux pratiques, elle a pour objectif collatéral d'introduire la notion de corrélation, ce qui demande de mesurer deux variables aléatoires. La relation entre la taille et le poids étant un concept classique, accessible aux différentes institutions et facile à mesurer, elle fut choisie comme contexte de l'exercice. Pour la construction des maquettes d'histogramme, nous avons suivi une démarche similaire à celle de Galand et Fresnay (2005), qui utilisent du matériel LEGO pour leurs séances d'apprentissage par problèmes (Bac 1 ingénieur civil, Université de Louvain-la-Neuve).

Matériel et méthode

L'objet que les étudiants ont à mesurer doit être de taille et de masse variables, et de forme irrégulière afin que la mesure de longueur ne soit pas triviale. Nous avons choisi des galets de rivière qui sont des objets gratuits, inertes, solides et inaltérables, contrairement à des objets biologiques comme des fruits, des légumes ou des animaux.

Les instruments de mesure doivent avoir une précision limitée, afin d'illustrer l'impact que peuvent avoir tant le matériel que l'expérimentateur sur la valeur d'une mesure. Trois balances de cuisine à affichage numérique d'une précision de l'ordre du gramme (Phillips HR2389/7) et une vingtaine de lattes de 20 cm (précision au millimètre) sont à la disposition des étudiants. Les briques d'assemblage devant être obligatoirement carrées et d'une taille suffisante pour être visibles à distance lors d'un travail en groupes, 500 cubes de 3 cm de côté (4 tenons) de différentes couleurs et 10 plaques d'assemblage (n° 2304, 24 x 24 tenons) de marque DUPLO ont été commandés au fabricant.

Mesures

Les étudiants sont répartis en groupes de trois ou quatre, et prélèvent aléatoirement 10 galets par groupe. Chaque galet est ensuite numéroté à la craie afin de pouvoir l'identifier de manière certaine lors des étapes de mesure ultérieures. La masse est mesurée une seule fois, les mesures étant considérées comme précises et indépendantes de l'expérimentateur. La mesure de taille pose intentionnellement un problème de méthodologie laissée à l'appréciation de l'expérimentateur, vu les formes courbées des galets et la rigidité de la latte. Nous y reviendrons dans la discussion.

Calculs et expression graphique

Après avoir expérimenté sur plusieurs années différentes techniques de calcul de moyenne et de variance, nous avons finalement choisi de leur faire remplir un tableau Excel, programmé pour le calcul des paramètres demandés. Le calcul manuel demande en effet beaucoup de temps, or le calcul mental ou par calculette, ou la programmation d'un tableur ne sont pas des compétences visées à ce stade. Afin de limiter l'effet « boite noire », chaque étape de calcul (moyenne, médiane, variance) est néanmoins détaillée dans le tableur. Bien qu'Excel prenne en charge le calcul de la classe modale, il ne le décompose pas. La dévolution du choix du mode aux étudiants est donc volontaire, pour qu'ils en comprennent le sens. Le temps de calcul économisé par l'utilisation de tableurs a permis de développer la phase de discussion sur les paramètres obtenus par calcul et les histogrammes construits à partir des données récoltées.

Une fois les calculs terminés, les étudiants sont en effet invités à exprimer la distribution de leurs résultats sous forme d'histogrammes et de stéréogrammes (figure 4a), en plaçant sur une plaque trois briques DUPLO par galet : une dans l'histogramme des tailles, une dans l'histogramme des masses (tous deux sur les bords de la plaque), et une dans le stéréogramme central illustrant la relation entre la masse et la taille des galets (figure 4b).

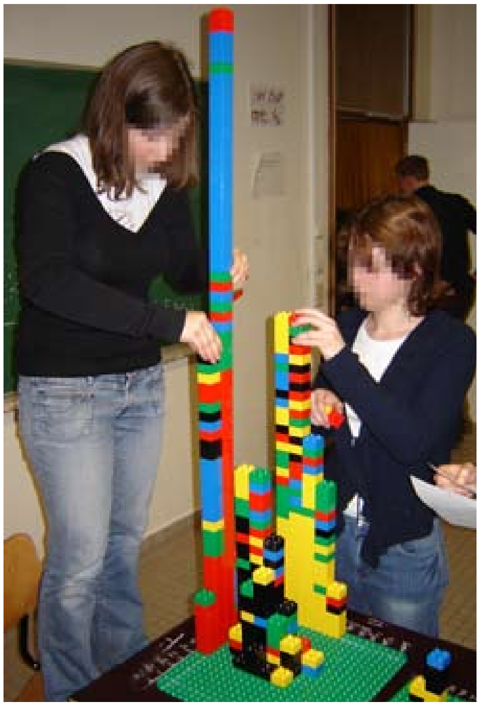

Figure 4 a). Un groupe transférant ses notes sous forme graphique

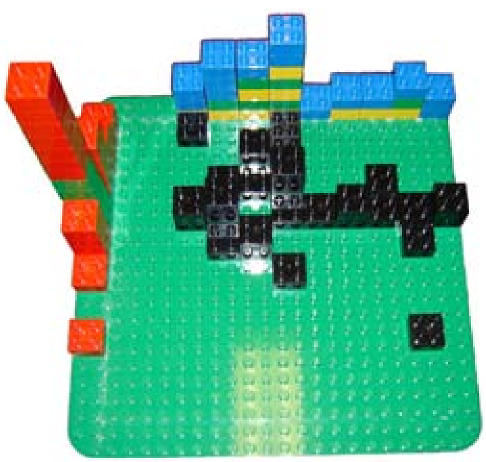

Figure 4 b). Histogrammes des fréquences de la taille (histogramme de gauche, intervalle de classe constant de 2 cm) et de la masse (histogramme du haut, intervalle de classe constant de 50 g) et stéréogramme de la relation taille-masse (zone centrale en briques noires), réalisés avec des briques DUPLO, sur la base d'un échantillon de 30 galets. L'ordonnée à l'origine est dans le coin supérieur gauche.

Discussion

Nous prenons comme grille d'évaluation de notre dispositif 10 recommandations de Viau (2000) pour qu'une activité soit potentiellement motivante :

1. Être signifiante

L'apprenant doit, de lui-même, considérer que l'activité proposée lui sera utile, au moins à terme dans l'exercice de sa profession. Le contexte de ce cours est problématique par rapport à la motivation. Les enquêtes systématiques sondant l'opinion des étudiants sur le cours via la plateforme d'enseignement montrent que la majorité des étudiants considèrent cette matière comme accessoire et peu motivante, bien qu'ils en reconnaissent l'intérêt dans leur cadre professionnel futur.

Perrenoud (1993) rappelle cependant que le sens se construit continuellement en chacun des apprenants, se négocie *in situ,* ce qui demande de la part de l'enseignant une sensibilité particulière et une certaine propension au dialogue. À la mise en place de cette activité, la mise en commun des résultats étant assez longue, les étudiants décrochaient petit à petit et, donc, toute l'utilité de la stratégie mise en place était perdue. Pour pallier cette lacune, nous avons introduit deux temps de mise en commun (au lieu d'un seul en fin de séance). Afin de stimuler la réflexion des étudiants, nous leur avons fourni un document (Bihin, Dreze, Coquette, et Wauthy, 2011) reprenant les grandes questions de la mise en commun. 2. Être diversifiée et s'intégrer aux autres activités

Le problème essentiel est que les notions de variabilité sont « encapsulées » dans le cours de statistiques sans être mobilisées dans des cours connexes. Le premier exercice sur la détermination d'une méthodologie de mesure permet de faire prendre conscience qu'en sciences expérimentales et en statistique, de nombreux choix doivent être pris arbitrairement et que tout ne repose pas sur des algorithmes complexes issus d'une théorie obscure. L'acceptation de l'arbitraire est indispensable avant d'aborder des concepts complexes tels que les tests d'hypothèses et les erreurs de type I et II, dont les seuils sont déterminés arbitrairement. Cette acceptation de l'arbitraire se poursuit lors du calcul des paramètres. Si le calcul de la moyenne, de la médiane et de la variance ne demandent qu'une simple application des formules ou des méthodes imposées, la détermination du mode demande un choix purement arbitraire, dépendant du type et de l'intervalle des classes à utiliser pour déterminer les classes modales, choix qui est dévolu aux étudiants (*cf.* § Calculs et expression graphique). Il est en effet rare que sur 10 valeurs, il y en ait au moins deux qui se répètent. La détermination d'un mode selon la définition de la valeur la plus fréquente de l'échantillon n'est donc pas possible. Les apprenants doivent donc solliciter leur encadrant, qui les oriente alors vers la détermination des classes modales. À eux de déterminer le nombre et le type de classes qu'ils vont utiliser. Intervalle fixe ou variable? Quelle amplitude utiliser? Une fois de plus, ils sont livrés à eux-mêmes et doivent choisir arbitrairement.

2. Représenter un défi

L'activité doit donc représenter un défi, mais être réaliste quant à sa difficulté, afin de renvoyer aux apprenants une image valorisante. Lors de la lecture des tableaux de données calculées en Excel, les étudiants sont déstabilisés par les valeurs de variances. Celles-ci ont une valeur de quelques cm^2 pour les tailles, alors qu'elle est de quelques dizaines de milliers de g^2 pour les masses, ce qui ne signifie pas pour autant que les masses varient *dix-mille fois plus*que les tailles. Après un petit débat pour savoir lequel des deux paramètres varie le plus, l'encadrant attire l'attention des étudiants sur le fait que la variance est exprimée dans le carré des unités et que sa valeur absolue est donc très dépendante de l'ordre de grandeur des valeurs utilisées pour la calculer. Ceci permet de leur montrer que des valeurs telles que l'écart-type ou le coefficient de variation sont des indicateurs nettement plus faciles à appréhender, car dans la même unité que les mesures.

3. Être authentique

L'étudiant doit avoir le sentiment que ce qu'il a réalisé a un sens pour lui-même, et non seulement pour satisfaire l'enseignant ou pour réussir l'évaluation certificative. S'il s'avère que l'approche par les fréquences, et leur expression graphique par des DUPLO, peut être surprenante, elle permet d'éviter certains écueils propres aux logiciels informatiques lorsqu'il s'agit d'expliquer les fréquences relatives. Une brique DUPLO est de taille fixe. La distinction entre un histogramme de 10 briques et un autre de 30 ou 100 briques est donc manifeste. Là où un logiciel aurait adapté les axes pour garder le graphique dans une taille standard, les histogrammes DUPLO sont d'autant plus grands qu'il y a de valeurs (figure 4a). Ils arrivent à démontrer eux-mêmes l'intérêt du calcul des fréquences relatives, notion qui ne leur est pas toujours évidente de prime abord.

4. Exiger un engagement cognitif

Les exercices qui sont proposés aux étudiants ont été conçus pour leur faire prendre conscience de réalités propres au procédé d'échantillonnage – l'importance de la méthodologie, du matériel utilisé, du personnel qualifié –, le tout dans le but d'éviter au maximum d'obtenir des mesures imprécises, ou pire, inexactes. Par la manipulation des objets et la construction d'histogrammes représentatifs d'échantillons de taille différente, les étudiants s'approprient les histogrammes comme ostensif du concept de distribution de fréquence, perçoivent mieux les limites existant entre des données observées et modélisées par l'ostensif de la courbe de Gauss. Enfin, la comparaison des distributions de fréquence de galets avec celles des moyennes des échantillons les prépare au concept de distribution d'échantillonnage, dont la maitrise conditionne l'intégration du principe de tests d'hypothèse, autour duquel va s'articuler le reste de leur formation. La séance, très dense, entraine donc la mobilisation de nombreux concepts, et les étudiants ne décrochent pas.

5. Responsabiliser l'apprenant en lui permettant de faire des choix

C'est pour illustrer les notions d'imprécision et d'inexactitude que l'instrument de mesure de la taille est délibérément inadapté : mesurer avec un objet rectiligne le diamètre d'un volume de forme variable génère une mesure imprécise et, après prise de conscience de cette limitation et réflexion, la méthodologie de prise de données doit être standardisée au maximum.

Dès les premières mesures, les étudiants se rendent à l'évidence que mesurer un galet avec une règle plate n'est pas simple. Il est du ressort de l'encadrant de saisir le moment opportun pour attirer l'attention sur la manière de gérer imprécisions et inexactitudes, les laisser proposer leurs solutions et résister à la tentation de leur expliquer trop rapidement la bonne démarche.

6. Permettre à l'apprenant d'interagir et de collaborer avec les autres

Les étudiants, confrontés à certaines réalités, se questionnent et découvrent par eux-mêmes les raisons de certains choix stratégiques ou techniques, qui seront justifiés dans les conclusions de l'encadrant. Le dispositif est conçu pour les faire participer, pas pour leur donner la matière à disposition. Ils sont censés s'investir dans les exercices et les débats suscités par l'encadrant, ce n'est qu'à cette condition que le dispositif apporte une plus-value didactique. S'il est rare que les apprenants ne s'investissent pas dans ce dispositif, il n'en reste pas moins que tous ne le font pas, que ce soit par désintérêt, timidité, etc. C'est le rôle de l'encadrant de repérer ces apprenants et de susciter chez eux un investissement qui tient compte de leur sensibilité, sinon ils risquent d'être laissés pour compte.

7. Avoir un caractère interdisciplinaire

Les étudiants appartiennent à différentes institutions abordant le monde vivant par diverses disciplines. Une contextualisation trop poussée pose d'autres problèmes, la compréhension du contexte disciplinaire pouvant être un obstacle en soi et faire écran à l'objet de l'apprentissage. Par exemple, un exercice mobilisant la notion d'acidité par une simple mesure de pH introduit un biais si la notion de pH elle-même n'est pas maitrisée, alors que ce n'est pas cet obstacle qu'il faut résoudre dans ce cadre. C'est la raison pour laquelle les mesures choisies (taille, poids) sont faciles à comprendre. Le dispositif n'est donc pas à proprement parler interdisciplinaire, mais il met toutefois en présence la modélisation relevant de la discipline mathématique et la mesure expérimentale relevant de la discipline des sciences appliquées.

8. Comporter des consignes claires

Après avoir écouté les propositions des apprenants sur la mesure de taille (point 6), l'encadrant propose de prendre arbitrairement la longueur de la plus grande diagonale des galets. L'absence de consignes pour le choix des intervalles de classe s'est révélée problématique, et après l'avoir laissé à leur réflexion, la discussion s'ouvre sur le sens de chaque choix, en confrontant les solutions. Ensuite, on impose une consigne commune pour qu'il soit possible de comparer les résultats. Ce choix reste arbitraire et n'est pas présenté comme « la *meilleure* solution ».

9. Se dérouler sur une période de temps suffisante

La séance durant entre trois et quatre heures, les baisses de régime et les occasions de décrocher ne manquent pas de se présenter. Il s'agit de rester vigilant et d'adapter le rythme en fonction des réactions de l'auditoire. Ce type de dispositif requiert du temps. À matière couverte égale, une mise en activité demande plus de temps qu'un cours magistral, d'autant plus qu'elle est limitée à une trentaine d'étudiants au maximum, ce qui oblige l'encadrant à répéter l'atelier pour chaque groupe. Cependant, cet investissement favorise l'appropriation des concepts plus qu'un simple apprentissage et favorise la rémanence de l'information.

Conclusions et perspectives

Le dispositif présenté ici est réalisé à l'Université de Namur depuis sept ans en Bac 2 (l'équivalent de la seconde licence en France) comme séance introductive aux travaux pratiques du cours de notions de biostatistiques. Les apprenants sont en tout début de formation en statistique. Il ne s'agit donc pas de les noyer de concepts mathématiques, mais de leur faire prendre conscience, par la pratique, de certains principes fondamentaux de la discipline. Un de ces principes est que les statistiques se basent sur des observations réelles, réalisées dans des conditions expérimentales parfois complexes, et qui impliquent un certain degré d'imprécision, concept différent de celui de l'« erreur humaine » (selon Mendel et bien d'autres après lui). Cette confusion entre imprécision et erreur reste un obstacle épistémologique important. Le choix des objets et des paramètres mesurés, ainsi que des méthodes de mesure, a été réalisé pour faciliter cette prise de conscience. La taille et la masse sont en effet des paramètres bien conceptualisés par tous les apprenants. Ils sont à priori faciles à mesurer, avec des instruments de mesure qui leur sont familiers, mais qui posent des problèmes insoupçonnés par l'étudiant.

Le développement de ce dispositif est cependant intégré à d'autres modifications du dispositif didactique, décrites dans un article séparé, dont l'ensemble entraine globalement une augmentation de la motivation et une diminution du taux d'échec (Vincke et Depiereux, 2010). Il est cependant difficile de mesurer objectivement l'impact spécifique de cette séance présentielle sur l'acquisition des concepts visés par les apprenants et, de façon générale, périlleux de prétendre établir une relation causale entre l'évolution d'un dispositif pédagogique et celle du taux de réussite.

Qualitativement, une première constatation s'impose : la majorité des étudiants, très déconcertée au départ par le caractère « bac à sable » du matériel, se prend au jeu et participe activement. Au cours des séances suivantes, il semble plus facile aux étudiants de progresser dans la matière, car de nombreux fondements trouvent dans cet exercice des référents solides, remobilisés ultérieurement. Par exemple, le calcul des probabilités par la distribution normale réduite ou de Student semble, moins qu'auparavant, se heurter à des obstacles ostensifs. La courbe de Gauss n'en devient pas pour autant évidente pour tout un chacun, mais certainement plus accessible à une majorité des étudiants, les questions à son sujet étant nettement moins fréquentes qu'avant la mise en place de ce dispositif. L'un des effets positifs de cette séance, inspirée de la démarche d'apprentissage par problèmes de Galand et Fresnay (2005), est d'induire d'emblée chez les étudiants une posture active, motivée et indépendante, qui contraste avec l'attitude plus passive induite dans la plupart des autres dispositifs d'enseignement auxquels ils sont confrontés. Cette mise en condition influence favorablement l'implication des étudiants dans les dispositifs d'autoapprentissage et d'évaluation formative mis à leur disposition sur le Web (Vincke, De Hertogh et Depiereux, 2005; Vincke et Depiereux, 2008; Vincke et Depiereux, 2010). L'exploitation des plus-values apportées par les deux types de dispositifs (présentiel, à distance) nous permet ainsi de favoriser l'acquisition de concepts clés reconnus comme des obstacles épistémologiques avérés, tout en préparant les étudiants à l'autonomie qui leur sera demandée par la suite.

Notre but pour l'avenir est de continuer à déterminer plus précisément les facteurs favorisant ou empêchant l'appropriation totale des concepts visés, afin de compléter le dispositif global d'éventuelles autres séances présentielles inspirées de ce modèle. Il ne s'agit pas de privilégier l'un ou l'autre modèle d'apprentissage, mais d'exploiter de manière adéquate leur plus-value didactique selon les concepts à acquérir. La séquence de notre stratégie est la suivante :

1. Détecter les obstacles, par des évaluations formatives à distance via la plateforme eTests[5] et/ou par des interviews semi-structurées d'étudiants;

2. Améliorer le dispositif proposé par l'intégration, en présentiel et/ou en numérique, de dispositifs didactiques censés surmonter les obstacles déterminés à l'étape précédente;
3. Mesurer l'impact de ces modifications de dispositif, par l'analyse des statistiques de la plateforme eTest sur les questions spécifiques mentionnées ci-dessus, pour comparer différentes cohortes d'étudiants et mettre en évidence – ou non – l'évolution de la réduction des obstacles par l'augmentation des performances des étudiants, ou par la réalisation d'enquêtes, un outil de recueil possible étant la plateforme d'enseignement de notre université (Claroline, détaillée par Lebrun, 2004).

Références

Altet, M. (1997). *Les pédagogies de l'apprentissage* (1997). Paris : Presses Universitaires de France.

Bihin, B., Dreze,F., Coquette, V. et Wauthy A-C.(2011). *Statistiques descriptives à une et à deux dimensions*. Récupéré du site des Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, Belgique, section *Unité de méthodologie et de didactique de la biologie* : http://www.fundp.ac.be/sciences/biologie/umdb/liens/questionnaire/view

Bosch, M. et Chevallard, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. Objet d'étude et problématique. *Recherches en didactique des mathématiques, 19*(1), 77-123.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, France : La pensée sauvage.

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. (1985). *La transposition didactique – Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, France : La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques, 19*(2), 221-265.

Chopin, M.-P. (2005, octobre). *Le temps didactique en théorie anthropologique du didactique : quelques remarques méthodologiques à propos des moments de l'étude*. Communication présentée au 1er congrès international sur la théorie anthropologique du didactique **« Société, école et mathématiques : apports de la TAD »**, Baeza, Espagne. Récupéré du site du congrès : http://www4.ujaen.es/~aestepa/TAD-frances

Dagnelie, P. (1969). *Théories et méthodes statistiques* (vol. 1 et 2). Gembloux, Belgique : Presses agronomiques.

Dagnelie, P. (1988). Le développement de la biométrie en Belgique. *Biométrie-Praximétrie, 28*(1), 1-7.

Galand, B. et Frenay, M. (2005). *L'approche par problèmes et par projets dans l'enseignement supérieur. Impact, enjeux et défis*. Louvain-la-Neuve, Belgique : Presses universitaires de Louvain.

Hotte, R., Basque, J., Page-Lamarche, V. et Ruelland, D. (2007). Ingénierie des compétences et scénarisation pédagogique. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire, 4*(2), 38-56. Récupéré du site de la revue : http://ritpu.org

Lebrun, M. (2004). *Enseigner et apprendre en ligne. Claroline et le site iCampus de l'UCL : fondements, outils, dispositifs*. Récupéré du site Claroline.net : http://w2.claroline.net

Lombard, F. (2007). Du triangle de Houssaye au tétraèdre des TIC : comprendre les interactions entre les savoirs d'expérience et ceux de recherche. Dans B. Charlier et D. Peraya (dir.), *Transformation des regards sur la recherche en technologie de l'éducation* (chap. 8, p. 137-155). Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.

Loi normale (2012, 11 avril). Dans *Wikipédia*. Récupéré de http://fr.wikipedia.org

Mercier, A. (2002). La transposition des objets d'enseignement et la définition de l'espace didactique, en mathématiques. *Revue française de pédagogie, 141*, 135-171. Récupéré du site *Persée* : http://www.persee.fr

Perrenoud, Ph. (1993). Sens du travail et travail du sens à l'école. *Cahiers pédagogiques*, *314-315*, 23-27.

Pilpel, A. (2007). Statistics is not enough: Revisiting Ronald A. Fisher's critique (1936) of Mendel's experimental results (1866). *Studies in History and Philosophy of Science – Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 38*(3), 618-626. doi:10.1016/j.shpsc.2007.06.009

Théorème central limite (2012, 21 avril). Dans *Wikipédia*. Récupéré de http://fr.wikipedia.org

Van Vyve-Genette, A., Gohy, J. M. et Feytmans, E. (1988). *Statistique élémentaire pour les sciences bio-médicales : apprentissage par la micro-informatique*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.

Verret, M. (1975). *Le temps des études* (vol. 1 et 2). Paris, France : Honoré Champion.

Viau, R. (2000). Des conditions à respecter pour susciter la motivation des élèves. *Correspondances, 5*(3), 2-4. Récupéré du site de l'auteur : http://www.pages.usherbrooke.ca/rviau

Vincke, G., De Hertogh, B. et Depiereux, E. (2005, mise à jour décembre 2009). *Pratique des biostatistiques* (version 2.7). Récupéré du site des Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, Belgique : http://www.fundp.ac.be

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 20e colloque de l'ADMEE-Europe*. Récupéré du site du colloque : https://plone2.unige.ch/admee08

Vincke, G. et Depiereux, E. (2010). Mutation d'un cours de biostatistique : auto-apprentissage sur le web, autoévaluation, transformation du contrat didactique et diminution du taux d'échec. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire, 7*(3), 6-12. Récupéré du site de la revue : http://ritpu.org

Note

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. 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, Annick Van Vyve-Genette, Benoit De Hertogh, Isabelle Housen, Marcel Lebrun, Isabelle Motte, Marcel Remon, Daniel Rousselet.

Notes

1 Ce n'est pas le lieu pour développer ces ostensifs, mais le lecteur qui veut se persuader qu'ils sont assez rebutants pour le non-mathématicien peut consulter, par exemple, l'encyclopédie *Wikipédia* (« Loi normale », 2012).

2 L'ostensif de la distribution gaussienne est le principal support de l'explication des risques d'erreurs de type I (faux positifs) et de type II (faux négatifs) dans les tests de comparaison de moyenne , risques qui sont illustrés par une simulation Flash insérée dans Vincke, De Hertogh et Depiereux (2005, module 120, section 3).

3 Pour un exemple de développement théorique du théorème de la limite centrale, voir (« Théorème central limite », 2012).

4 ECTS : « European credit transfer and accumulation system » ou « système européen d'unités capitalisables transférables ». Cette unité représente un temps de travail global pour l'étudiant, depuis l'acquisition du savoir jusqu'à et y compris la préparation et la réalisation de l'évaluation certificative. Un crédit correspond à un volume de travail d'environ 25 à 30 heures et à une année d'étude de 60 ECTS.

5 Plateforme d'évaluation formative en ligne développée au laboratoire (http://webapps.fundp.ac.be/umdb/etests); le code source est diffusé sous licence libre https://sourceforge.net/projects/etest