

Une stratégie d'intégration pédagogique des TIC dans l'enseignement des mathématiques à Madagascar

A strategy for integration of ICT in teaching mathematics in Madagascar

Harrimann Ramanantsoa, André Totohasina

Laboratoire de mathématiques et d'informatique, École normale supérieure pour l'enseignement technique, Université d'Antsiranana, Madagascar

Résumé

Comme dans plusieurs pays africains, dans le contexte éducatif malgache, l'intégration pédagogique des TIC rencontre beaucoup de difficultés. En dépit de l'opportunité des logiciels libres spécifiques des thèmes (Cf. [framsoft](http://www.framasoft.net/) pour les mathématiques)¹, l'insuffisance des matériels informatiques figure parmi les premiers facteurs de blocage. Compte tenu des effectifs dans les salles de classe, la pratique actuelle qui consiste à regrouper les matériels dans une salle (salle informatique) n'arrange pas la situation. En se servant de la méthode d'analyse statistique implicite, une expérimentation² réalisée en classe de seconde lors de l'enseignement des généralités sur les fonctions numériques a montré un résultat satisfaisant. Comparée à l'approche pédagogique classique (sans outils informatiques), l'utilisation d'un seul ordinateur et d'un vidéoprojecteur dans une salle de classe classique apporte des compétences supplémentaires significatives aux élèves. Ce dispositif s'avère ainsi être un remède au problème de l'insuffisance du nombre d'ordinateurs.

Mots clés : TICE, pratique pédagogique, enseignement de mathématiques, fonction numérique, logiciels libres

Abstract

As in many African countries, in the Malagasy educational context, the pedagogical integration of ICT encounters many difficulties. Despite the appropriateness of specific free software topics ([framsoft](http://www.framasoft.net/) mathematics) the lack of computer tools is among the first blocking factors. Given the big number of pupils in classrooms, the current practice of grouping machines in a computer room does not give satisfactory results. By using the method of statistical implicative analysis, an experiment carried out in the first year of secondary school when teaching generalities on numerical functions showed a satisfactory result. Compared to the classical pedagogical approach (without computer tools), using of a single computer and a projector in a traditional classroom provides significant additional skills to students. This device thus proves to be a remedy to the problem of insufficient number of computers.

Keywords: ICT, pedagogical practice, teaching mathematics, numerical function, free software

¹ <http://www.framasoft.net/>

² Cet article est issu d'une recherche menée en collaboration avec le Laboratoire d'informatique et de mathématiques (LIM, EA 2525) de l'université de la Réunion (France)

I. Introduction

Si la présence des technologies numériques dans la vie quotidienne est de plus en plus marquante, ce n'est pas le cas dans le contexte éducatif africain. Selon une étude menée par Karsenti *et al.* (2012), dans un cadre d'observation d'intégration pédagogique des TICE dans treize pays d'Afrique, l'absence de politique clairement définie, l'inexistence de plans de financement, l'insuffisance des ressources humaines qualifiées constituent quelques-unes des principales raisons qui expliquent ce paradoxe. Toujours dans le contexte éducatif africain, nous avons classé les problèmes qui freinent l'intégration pédagogique des TICE en deux catégories : les problèmes relatifs aux contraintes matérielles et ceux relatifs aux motivations des enseignants et des décideurs.

Selon Karsenty *et al.*, atteindre un ratio d'un ordinateur pour 10 élèves et de 100 % de taux de connexion dans les écoles primaires, secondaires ou supérieures constitue des casse-tête et des idéaux difficiles à atteindre pour la plupart des établissements scolaires en Afrique. Les problèmes d'infrastructure, les formations initiales des enseignants qui ne prennent pas en compte le volet TICE (apprentissages d'existant et conceptions) constituent quelques-unes des principales raisons qui expliquent la réticence des enseignants et la « mauvaise » pratique des TICE. Ainsi, dans la majorité (80 %) des établissements observés, l'intégration des TICE se limite à la considération des TIC comme objet d'apprentissage, mais non comme outil d'apprentissage. L'intégration des TICE se résume donc à un simple cours d'informatique comme la bureautique.

Le contexte éducatif malgache n'échappe pas à ces constats africains. Malgré les efforts du gouvernement, des organismes non gouvernementaux (illustrés par le projet Educamad)³ sur la promotion de l'intégration pédagogique des TICE, la principale difficulté reste l'insuffisance des matériels informatiques et la réticence de certains enseignants. La plupart des établissements considérés comme mieux équipés aux yeux de leurs pairs ne possèdent qu'une seule salle informatique d'une vingtaine d'ordinateurs pour l'ensemble des élèves de l'établissement et on estime par exemple que le ratio élève/ordinateur s'élève à 30. Avec un effectif moyen de 60 élèves par classe, les enseignants sont obligés de diviser la classe en plusieurs petits groupes pour pouvoir travailler dans la salle informatique. Vis-à-vis des contraintes institutionnelles relatives aux volumes de programme officiel, des programmes qui ne tiennent pas du tout en compte l'utilisation des TIC dans la pratique enseignante, les enseignants choisissent seulement de remplir leurs obligations officielles et par conséquent, l'intégration pédagogique des TICE reste très marginale.

Toujours dans le contexte éducatif malgache, en plus des difficultés relatives à l'intégration pédagogique des TICE, on peut aussi constater le désintérêt des élèves à l'égard des disciplines scientifiques. Ce phénomène peut être ressenti à travers les statistiques portant sur les candidats au baccalauréat. Sur l'ensemble des candidats, le pourcentage de la série scientifique (série C) n'a pas dépassé la barre des 6 % durant ces dix dernières années (statistiques publiées sur le site du ministère de l'Enseignement supérieur)⁴, cette année 2014 encore, ce pourcentage est descendu à 4 %. Il semblerait que la société environnante y compris les parents encourage une telle démotivation. Ces constats nous ont amenés à poser deux questions fondamentales :

- Compte tenu des effectifs des élèves dans les établissements scolaires, comment dépasser le problème d'insuffisance des matériels informatiques pour réussir l'intégration pédagogique des TIC ?
- Comment regagner l'intérêt des élèves à l'égard des disciplines scientifiques ?

Les problèmes d'infrastructure et des dotations des matériels informatiques incombent aux décideurs. Mais nous, en tant que chercheur, nous voulons montrer aux enseignants (en particulier, ceux qui sont encore réticents aux TICE) et aussi aux décideurs qu'il existe une stratégie d'intégration pédagogique des TICE qui peut constituer une alternative aux problèmes d'insuffisance des matériels

³ Projet de dotation des matériels informatiques dans des lycées (<http://accesmad.awdev.fr/>)

⁴ http://www.mesupres.gov.mg/IMG/pdf/0-2012_evolution_bacc_inscrits_et_admis_2000-2011.pdf

informatiques, aux explosions démographiques dans les lycées et surtout, aux désaffections des élèves à l'égard des disciplines scientifiques (en l'occurrence à l'égard de mathématiques).

Plusieurs études ont montré que l'intégration pédagogique des TIC influe positivement sur la motivation des élèves. Selon (Evgueni *et al.* 2002, p. 89), « *Les TIC peuvent être utilisées de nombreuses façons dans les différentes branches des mathématiques, afin de motiver les élèves et de montrer l'utilité de cette discipline dans la vie quotidienne.* » Selon un rapport de recherche de l'United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Artigue, 2011) « *L'enseignement des mathématiques dans la scolarité de base est trop souvent encore un enseignement peu stimulant : dans lequel les pratiques expérimentales, les activités de modélisation sont rares (...)* » et « *penser une éducation de qualité pour tous aujourd'hui ne peut se faire sans prendre en compte la dimension technologique* ». Par rapport à ces réflexions, les TIC peuvent être utilisées pour stimuler et par la suite, améliorer l'enseignement et apprentissage de mathématiques. Nous avons effectué une expérimentation sur l'enseignement des fonctions numériques en classe de seconde dans un lycée du nord de la grande île. Cette expérimentation était basée sur l'hypothèse selon laquelle l'utilisation « appropriée » d'un seul ordinateur et d'un vidéoprojecteur dans une salle de classe classique⁵ pourrait apporter une plus-value significative à l'égard, d'une part, de la motivation des élèves et, d'autre part, de la qualité des connaissances acquises par ces derniers.

Cet article a donc pour objectif de rapporter les résultats de cette expérimentation. Après avoir précisé le contexte de l'étude, nous décrivons la méthode (analyse statistique implicite) et l'outil d'analyse (logiciel CHIC⁶) utilisés, puis nous interpréterons les résultats obtenus. Nous apporterons un regard critique sur les limites de l'étude et nous concluons en ouvrant quelques perspectives.

II. Description du contexte d'expérimentation

Par rapport aux problématiques citées ci-dessus, nous avons fixé l'objectif de montrer aux enseignants réticents aux TICE (pour de diverses raisons), montrer aux décideurs qui vont choisir des stratégies pour améliorer la qualité de l'éducation que malgré ces contraintes, il est possible de faire bénéficier aux élèves les plus-values que peuvent apporter les TICE (en l'occurrence la possibilité d'expérimenter, de simuler) avec un certain minimum d'équipement. Ces plus-values vont par la suite, rendre la discipline mathématique beaucoup plus attractive, beaucoup plus stimulante.

Pour essayer d'atteindre ces objectifs, nous avons pris trois classes de seconde, classe de quarante élèves chacune. Nous tenons à souligner qu'avant notre expérimentation (dans cette même année ou dans les années antérieures), l'ensemble de ces élèves a été enseigné dans les mêmes conditions (même établissement, mêmes professeurs). On peut donc supposer qu'ils ont à peu près les mêmes niveaux de compétence et de connaissance avant l'expérimentation. Ensuite, nous avons utilisé deux approches pédagogiques différentes : une approche utilisant un vidéoprojecteur et un ordinateur en supplément du tableau noir (pour les deux premières classes) et une approche d'enseignement basée sur l'utilisation du tableau noir uniquement (pour la troisième classe). L'idée est d'évaluer l'ensemble de ces trois classes de la même manière (même sujet lors du contrôle) après l'enseignement des généralités sur les fonctions numériques d'une variable réelle pendant une période d'environ quatre semaines afin de pouvoir repérer l'effet de ces deux approches pédagogiques. Avant de présenter le mode d'évaluation retenu, nous allons examiner en détail les modèles d'enseignement pratiqués dans ces trois classes et procéder à la description des variables qui joueront le rôle d'indicateurs des résultats.

A. Modèles d'enseignement

Pour les deux premières classes, en plus de l'utilisation du tableau noir, un vidéoprojecteur et un ordinateur étaient essentiellement utilisés pour illustrer le cours, introduire une activité, animer les courbes, etc. Cette pratique, ne nécessitant qu'un seul ordinateur et un vidéoprojecteur, a été adoptée

⁵ Contrairement à une salle informatique.

⁶ Classification Hiérarchique Implicite et Cohésive.

pour répondre aux problématiques engendrées par les sureffectifs et l'insuffisance des ordinateurs dans la salle informatique, réalité observée dans plusieurs établissements malgaches. En effet, pour essayer d'utiliser les TIC au quotidien dans les pratiques pédagogiques, le modèle actuellement pratiqué dans le pays, illustré par le projet Educmad (cité ci-dessus) consiste à équiper la salle informatique des établissements. Ce modèle rencontre plusieurs difficultés telles que la gestion de ladite salle informatique (souvent unique dans un établissement) entre toutes les disciplines et tous les niveaux, des équipements inappropriés aux effectifs des élèves, etc. Ces difficultés sont en partie responsables de la réticence des enseignants à la pratique des TICE. C'est exactement ce constat qui nous a motivés à expérimenter une autre pratique.

Par contre, pour la troisième classe, classe utilisée comme témoin, nous nous sommes contentés de recourir à la pratique pédagogique classique reposant sur l'utilisation d'un tableau noir. Soulignons que dans notre approche, c'est le caractère dynamique des objets projetés par le vidéoprojecteur et la possibilité d'utiliser ces objets dynamiques comme support d'explication qui représentent la grande différence entre les deux approches.

B. Description des variables à observer

Le choix des variables à observer dans un processus d'analyse des données dépend fortement de l'objectif de l'étude. Dans notre cas, l'objectif est d'observer et de comparer les acquis des élèves après l'expérimentation. Nous allons donc commencer ce paragraphe par un tour d'horizon du programme officiel (dans le système éducatif malgache) sur l'enseignement des fonctions numériques d'une variable réelle en classe de seconde. Ce tour d'horizon nous donnera des idées sur ce que nous devons mesurer à la fin de l'expérimentation.

1. Objectifs du programme officiel

Initier les élèves aux démarches scientifiques (Rochdi-Tuffery, 2011) afin de former l'esprit scientifique constitue l'un des objectifs de l'enseignement des mathématiques au lycée. Selon (Cariou, 2009, p.15), « *Former l'esprit scientifique des élèves est une tâche dans laquelle se reconnaissent volontiers les enseignants scientifiques. Ils souhaitent pour cela les initier à la « démarche scientifique» ou à la «démarche expérimentale», et sont encouragés par les programmes et recommandations, aujourd'hui comme par le passé et dans de très nombreux pays.* » Dans le cas particulier de la classe de seconde du système éducatif malgache, on peut lire dans le programme officiel que l'élève doit être capable de résoudre des problèmes conduisant à la résolution d'équations ou d'inéquations du premier et du second degré, et maîtriser la notion fondamentale de fonction numérique (image-antécédent, ensemble de définitions, sens de variation, etc.). C'est pourquoi nous avons proposé d'examiner deux catégories de compétences dans cette expérimentation : compétences liées à la résolution d'un problème formel et compétence liés à la résolution d'un problème « concret ». Ces deux types de compétences seront identifiés dans deux situations que nous avons désignées respectivement par situation formelle et situation problème. Nous allons détailler les caractéristiques de ces deux types de situations.

a. Situation formelle

Nous appelons « situation formelle », tous problèmes (exercices) donnés sous forme de modèle mathématique sur lequel on peut tout de suite appliquer les calculs formels. En guise d'exemple, cela se produit si on demande aux élèves de résoudre l'équation $f(x) = 0$, où $f(x)$ est une expression donnée, ou encore si on demande aux élèves de résoudre graphiquement une équation ou une inéquation en partant d'une représentation graphique. Dans la majorité des cas, ce type de problème ne demande qu'une simple application des définitions, théorèmes et propriétés connus. Au mieux, on y trouve des démonstrations de propriétés, sans trop se soucier des applications concrètes possibles.

b. Situation problème

Par contre, nous appelons « situation problème », toute forme de problème nécessitant une modélisation mathématique avant une quelconque résolution. La modélisation fait donc partie des compétences exigées des élèves. Pour mieux comprendre ce type de situation, reprenons les deux exemples précédemment cités (dans la situation formelle), au lieu de demander aux élèves de résoudre une équation du type $f(x) = 0$ en leur donnant l'expression de f , on leur donne plutôt un problème conduisant à la construction de l'expression de f , et ce n'est que dans un second temps qu'on leur demande de résoudre l'équation, en leur proposant éventuellement des questions relatives au problème initialement posé. Pour le second exemple, au lieu de demander de résoudre graphiquement l'équation $f(x) = 0$ en leur donnant la représentation graphique de f , on associe plutôt la représentation graphique à un contexte différent de celui des mathématiques (social, économique, physique, etc.) et ensuite, on leur propose des problèmes se ramenant à la résolution graphique de l'équation.

Au fil des années d'enseignement, nous avons constaté que, même si les élèves arrivent à obtenir de bons résultats lorsqu'on leur propose des exercices dans la situation formelle, la plupart d'entre eux rencontrent de sérieuses difficultés face à une situation problème. Grâce aux possibilités de simulation, d'animation et d'interactivité offertes par les TICE, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle ces outils informatiques pourraient aider les élèves à dépasser ces difficultés. Par conséquent, nous avons considéré la réussite des élèves face aux situations problèmes comme indicateur de performance de l'utilisation des TICE.

2. Mode d'évaluation et variables à observer

Après quatre semaines d'enseignement selon les deux approches précédemment citées, nous sommes passés au stade de l'évaluation en proposant les mêmes problèmes à l'ensemble des trois classes. En effet, en évaluant l'ensemble des trois classes avec les mêmes problèmes, nous espérons identifier des caractéristiques propres à ces deux approches pédagogiques. Dans le test d'évaluation, nous avons proposé deux classes de problèmes qui nous permettent d'identifier les compétences des élèves compte tenu des deux situations que nous avons prises comme situations de référence : situation formelle et situation problème. Nous avons ensuite identifié un certain nombre d'indicateurs de compétence. À titre d'exemple, on peut se demander si l'élève est capable de chercher l'image (ou l'antécédent) d'une fonction lorsqu'on lui donne l'expression de la fonction (dans la situation formelle) et lorsqu'on lui donne un problème qui conduit à la recherche d'image et antécédent (dans la situation problème). Ces indicateurs vont jouer le rôle des variables. Ces variables vont prendre deux valeurs possibles (variables binaires) et elles vont être observées sur l'ensemble des élèves. Une variable prend la valeur 1 lorsque la compétence qu'elle identifie est présente chez l'élève, dans le cas contraire elle prend la valeur 0. Ces variables sont décrites en annexe.

III. Description de la méthode et de l'outil d'analyse utilisés

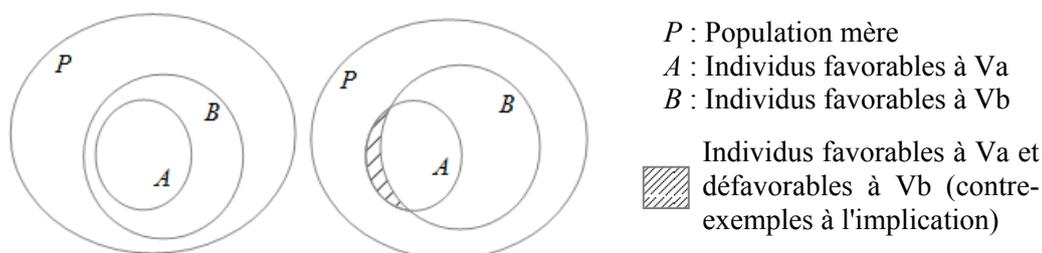
Plusieurs méthodes d'analyse statistique sont envisageables pour traiter les données issues d'une expérimentation de ce type. On peut par exemple se contenter de faire une analyse descriptive en prenant une à une les variables. L'inconvénient de ce type d'analyse repose sur le fait qu'on ne peut pas établir des liens éventuels entre les variables. On peut aussi envisager l'utilisation de méthodes d'analyse statistique descriptive multidimensionnelle. Cette fois, on pourra avoir des caractéristiques qui peuvent établir des liens entre les variables ou groupes des variables, sauf que ces caractéristiques sont souvent symétriques (comme le coefficient de corrélation par exemple).

Compte tenu de ces raisons, nous avons plutôt choisi d'utiliser la méthode d'analyse statistique implicative développée par Régis Gras et ses collaborateurs (Gras et Totohasina, 1994 ; Gras et Régnier, 2009). Le caractère implicatif, donc non symétrique, de cette méthode en a fait une méthode privilégiée dans la recherche de causalité. Étant données deux variables V_a et V_b , l'analyse statistique implicative permet de valider ou non si on peut affirmer que, lors de l'examen de la population étudiée, l'occurrence de la variable V_a s'accompagne presque toujours de l'occurrence de

la variable V_b (si V_a , alors V_b). Dans le contexte des recherches en didactique, ces implications peuvent s'interpréter ainsi : « presque tous les élèves possédant la caractéristique V_a possèdent la caractéristique V_b » ou encore : « très peu d'élèves ont fait V_a sans avoir fait V_b , ont réussi V_a sans avoir réussi V_b , ont répondu V_a sans avoir répondu V_b ». Pour comprendre la validité d'une implication statistique selon le concept développé par l'équipe de Régis Gras, il faut au moins comprendre la notion d'intensité d'implication et la signification du seuil d'implication.

Considérons deux variables V_a et V_b , désignons par A et B les ensembles des individus de la population qui sont respectivement favorables aux variables V_a et V_b . Remarquons d'abord que l'implication entre V_a et V_b est considérée comme implication stricte lorsqu'on a l'inclusion $A \subset B$ (tous les individus favorables à la variable V_a sont aussi favorables à la variable V_b). Sauf que, dans une étude statistique, il est rare de rencontrer des situations ramenant à une implication stricte, il y a souvent quelques exceptions à la règle. Mais, il faut reconnaître que ce n'est pas parce que quelques individus échappent à la règle qu'on va tout de suite abandonner l'implication ; tant que le nombre d'exceptions reste « admissible », on peut accepter la règle ou l'implication « si V_a , alors V_b » (on parle alors de quasi-implication ou quasi-règle). C'est justement la fameuse intensité d'implication qui valide cette admissibilité (figure 1).

Figure 1 : Implication stricte et quasi-implication



Désignons par N_c le nombre de contre-exemples à l'implication « V_a implique V_b » et par \bar{Y} l'ensemble des individus non favorables à Y (Y : une partie quelconque de P). Admettons maintenant qu'on accepte la règle « V_a implique V_b » au seuil α . Cela signifie concrètement que lorsqu'on choisit au hasard deux parties indépendantes X et Y dans la population mère (avec $\text{Card}(X) = \text{Card}(A)$ et $\text{Card}(Y) = \text{Card}(B)$), et que l'on s'intéresse au $\text{Card}(X \cap \bar{Y})$, l'événement ($\text{Card}(X \cap \bar{Y}) < N_c$) est très improbable ; dans le sens où la probabilité de cet événement est plus petite que le seuil α . Dans ce cas, la quantité $1 - P(\text{Card}(X \cap \bar{Y}) < N_c)$ ⁷ est appelée intensité d'implication. Remarquons que si $P(\text{Card}(X \cap \bar{Y}) < N_c)$ est plus petite que α , alors $1 - P(\text{Card}(X \cap \bar{Y}) < N_c)$ est grande que $1 - \alpha$. C'est-à-dire qu'on valide une implication au seuil α lorsque l'intensité d'implication est plus grande que $1 - \alpha$.

La méthode d'analyse implicative qui vient d'être décrite est à la base du logiciel CHIC, logiciel d'analyse des données (Classification Hiérarchique Implicative et Cohésitive). Parmi les résultats fournis par CHIC, nous allons nous intéresser essentiellement au graphe implicatif et à l'arbre hiérarchique. Le graphe implicatif nous permettra d'avoir une représentation graphique de toutes les implications retenues à un seuil fixé (Gras et Régner), tandis que l'arbre hiérarchique nous donnera des informations sur l'implication entre variables et/ou entre classes (jargon utilisé en Analyse Statistique Implicative (ASI) et dans le logiciel CHIC) des variables.

Dans cette analyse, nous avons utilisé quinze variables principales et deux variables supplémentaires. Les variables Out_Tice et Out_TN sont considérées comme variables supplémentaires. C'est-à-dire qu'elles ne vont pas participer à la construction du graphe implicatif, ni à celle de l'arbre hiérarchique. Elles seront utilisées pour déterminer l'approche d'enseignement qui contribue le plus à la construction d'une classe de variable. En effet, comme nos deux variables (Out_Tice et Out_TN)

⁷ $P(A)$ désigne la probabilité de l'événement A .

caractérisent le type d'enseignement reçu par les élèves, le fait de les considérer comme variables supplémentaires nous permettra de distinguer, parmi les deux types d'approches pédagogiques, celle qui contribue le plus à la construction d'une telle ou telle classe de variable.

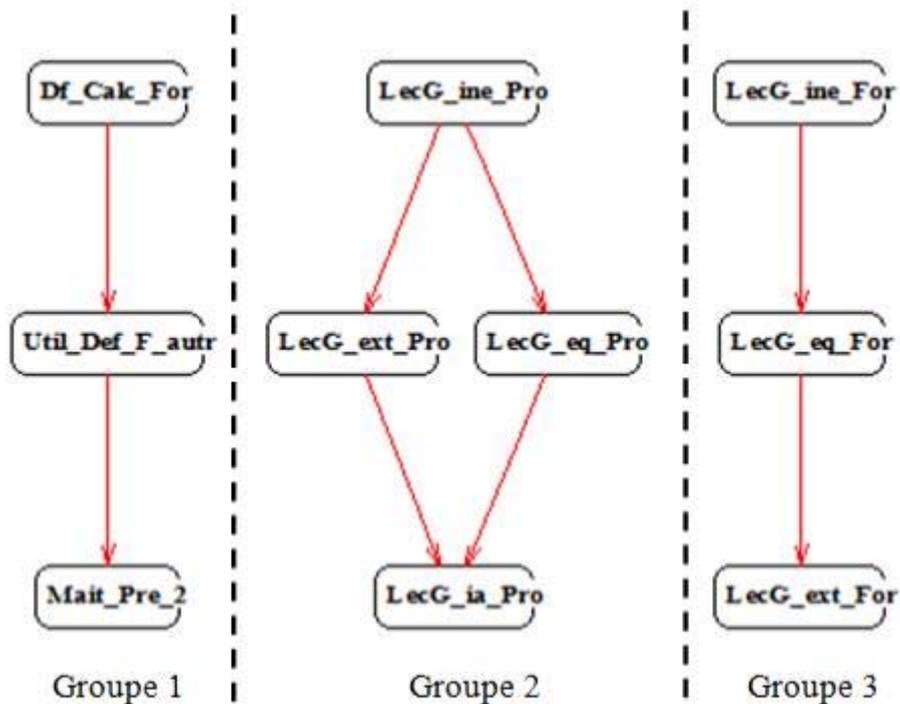
IV. Interprétation des résultats

Après avoir repéré les quinze variables principales et deux variables supplémentaires, nous avons passé à l'analyse des productions de ces élèves en observant la présence ou absence des connaissances ou compétences caractérisées par chacune de ces variables. Ces analyses ont abouti à un tableau de contingence croisant la liste des élèves et la liste des variables. Rappelons que les trois classes de seconde ont été évaluées avec un même sujet d'examen et l'ensemble des résultats d'analyse de production de ces élèves constitue notre base des données. Une fois que ces données sont introduites dans le logiciel CHIC, il nous donne aussitôt des résultats de traitement basé sur l'utilisation des théories sur l'analyse statistique implicite. Dans les paragraphes ci-dessous, nous allons interpréter le graphe implicatif et l'arbre hiérarchique.

A. Graphe implicatif

En prenant un seuil $\alpha = 2\%$, c'est-à-dire une intensité d'implication (une quantité qui mesure la significativité des liens implicatifs) plus grande que 98 %, nous avons obtenu le graphe implicatif ci-dessous (figure 2).

Figure 2 : Graphe implicatif



En première lecture, nous pouvons facilement voir que l'analyse des données de ces élèves a sorti trois réseaux des variables que nous avons appelées groupe 1, groupe 2 et groupe 3. Soulignons qu'il ne faut pas confondre les trois groupes qui viennent d'être formés et les trois classes initialement observées. Ici, c'est le logiciel CHIC (l'analyse des données) qui a réparti les variables en trois groupes. Nous pouvons aussi constater tout de suite que le groupe 2 relie exclusivement des variables

relatives aux situations problèmes (définies au paragraphe II.B.1.b), tandis que les deux groupes restants relient exclusivement des variables relatives aux situations formelles (définies au paragraphe II.B.1.a). Maintenant, nous allons interpréter un à un les trois réseaux des variables, en prenant d'abord les deux groupes semblables (groupe 1 et groupe 3) puis nous terminerons avec le groupe 2.

1. Groupe 1

Selon notre lecture, ces implications s'interprètent comme suit : les élèves qui arrivent à déterminer l'ensemble de définitions d'une fonction (rationnelle ou irrationnelle) en procédant par calcul formel (Df_Calc_For) sont généralement les élèves qui savent poser la définition d'un ensemble de définitions d'une fonction (Util_Def_F_autr) et les élèves qui ont une maîtrise des prérequis relatifs aux équations et inéquations de second degré. Autrement dit, cette implication montre que la maîtrise des prérequis (équations et inéquations de second degré) et la maîtrise des définitions constituent des conditions nécessaires à la réussite de recherche de l'ensemble de définitions dans une situation formelle. Cette implication semble évidente, mais elle témoigne de l'importance de la maîtrise des définitions dans l'apprentissage de mathématiques en général.

2. Groupe 3

Nous sommes en présence d'un réseau de variables dont l'interprétation est plus ou moins évidente elle aussi, car les notions sont très liées (lecture graphique d'inéquation, lecture graphique d'équation et notion d'extremum). La réussite de la lecture graphique des solutions d'une inéquation est conditionnée par la réussite de la lecture graphique des équations et d'un extremum. On peut donc affirmer qu'il est inutile de passer à la l'enseignement/apprentissage de la lecture graphique des inéquations qu'après avoir maîtrisé la lecture graphique des équations et, à son tour, la réussite de lecture graphique des images et antécédents (lecture graphique d'un extremum) conditionnent la réussite de la lecture graphique des solutions d'une équation. En dehors de cet aspect évident, les deux implications montrent la hiérarchie des difficultés entre les trois notions. Dans la majorité des cas, un élève qui arrive à lire graphiquement la solution d'une inéquation arrivera à lire graphiquement la solution d'une équation et les coordonnées des extremums. Donc, lors de l'enseignement de ces notions, une attention particulière doit être accordée à la lecture graphique des solutions d'inéquations. Nous tenons à faire remarquer que la découverte de règles plus ou moins évidentes montre la cohérence et la crédibilité de notre expérimentation.

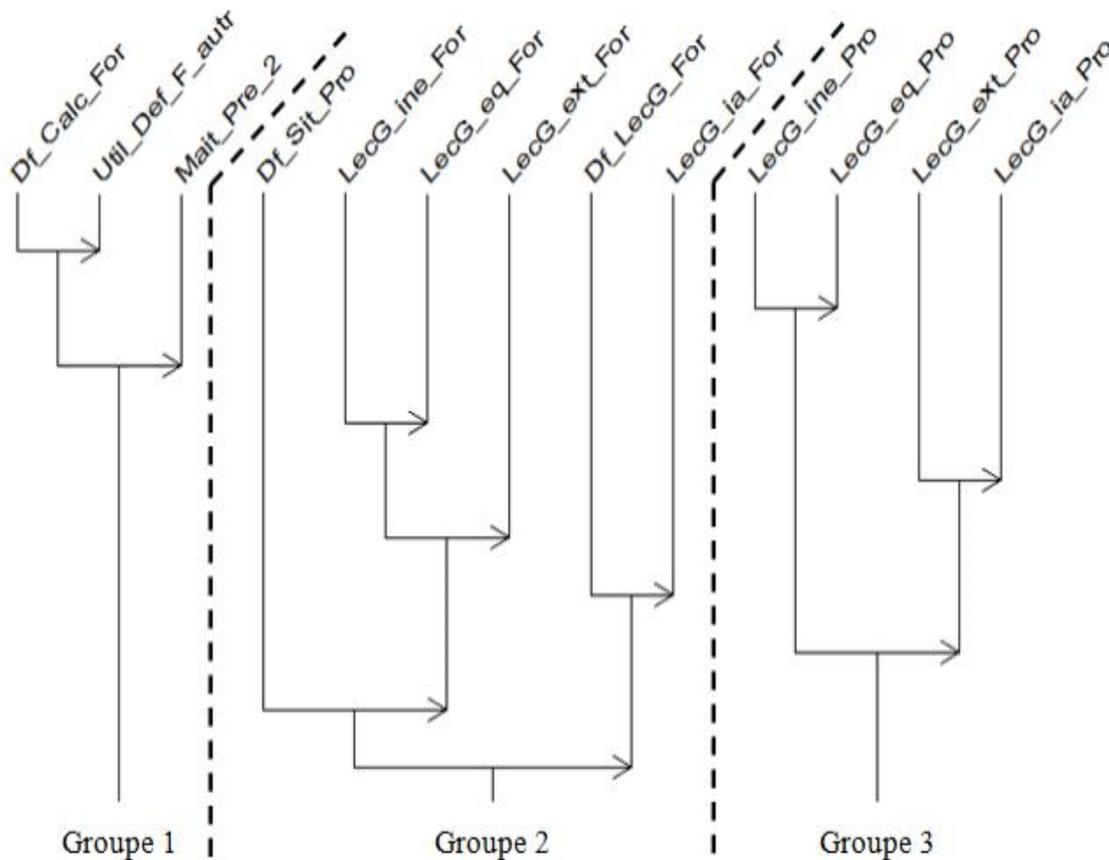
3. Groupe 2

Cette fois nous sommes en présence des variables caractérisant la situation problème. En comparant les implications dans les groupes 2 et 3, on peut voir que la hiérarchie de difficulté reste la même dans les deux situations (situation formelle et situation problème). Les élèves ont donc une perception plus ou moins similaire des hiérarchies de difficulté des notions d'équation et inéquation que se soit dans la situation formelle ou situation problème. Par conséquent, nous avons à peu près la même interprétation que dans le groupe 3. Presque tous les élèves qui maîtrisent la résolution graphique des inéquations réussissent la lecture graphique des solutions d'équations, des coordonnées d'extremums et, évidemment, la lecture graphique de l'image et de l'antécédent. On peut aussi interpréter les règles par contraposées ; rappelons que logiquement, pour toutes variables binaires a et b, (a implique b) est équivalente à (non b implique non a). Donc, selon notre graphe implicatif, la non-maîtrise de la lecture graphique des images et antécédents pourrait entraîner la non-maîtrise du reste. En général, un enseignant doit tenir compte de ces hiérarchies de difficulté, d'une part dans l'évaluation (en n'évaluant plus les items de niveau de difficulté un peu plus bas, après avoir évalué un item se trouvant à un niveau de difficulté un peu plus haut), d'autre part dans le processus d'enseignement proprement dit (en faisant attention au passage d'un item à l'autre, le fait de sauter un item non maîtrisé pouvant entraîner un blocage chez les élèves pour le reste du processus). Ainsi, en effectuant régulièrement une analyse statistique de ce type, un enseignant peut se perfectionner d'une expérimentation à l'autre, d'une année à l'autre.

B. Arbre hiérarchique

Nous pouvons remarquer que dans l'interprétation du graphe implicatif, nous n'avons pas utilisé les deux variables (Out_TN, Out_Tice) qui sont directement liées à notre principale préoccupation. Remarquons d'abord que ces deux variables caractérisent le type d'approches pédagogiques utilisées dans l'expérimentation : la variable Out_TN spécifie l'approche utilisant seulement le tableau noir, par contre la variable Out_Tice caractérise l'approche utilisant le vidéoprojecteur en supplément du tableau noir. Comme nous l'avons précisé au troisième paragraphe, nous avons statué ces deux variables comme étant des variables « supplémentaires ». Ces variables seront utilisées dans l'interprétation de l'arbre hiérarchique pour déterminer leurs contributions dans la formation des classes. Soulignons qu'avec le logiciel CHIC, on peut savoir le pourcentage de la contribution d'une variable supplémentaire à la construction d'une classe. Il faut noter que l'arbre hiérarchique confirme et complète l'analyse du graphe implicatif (Ottaviani *et* Zannoni, 2001). Il la complète dans le sens où il donne des implications entre variables et règles, ou encore entre plusieurs règles (*figure 3*). Mais, conformément à notre principale préoccupation, dans cette interprétation, nous allons plutôt nous intéresser à l'interprétation des variables supplémentaires.

Figure 3 : Arbre hiérarchique



Avant tout, constatons la formation des classes compatibles avec les trois groupes que nous venons d'identifier dans l'interprétation de graphe implicatif. Cette représentation graphique est donc compatible avec les résultats que nous avons avancés dans l'interprétation du graphe implicatif. Analysons maintenant la contribution de nos deux variables supplémentaires. Pour cela, nous avons copié ci-dessous les résultats d'analyse de contribution relatifs à nos trois groupes, résultat fourni par CHIC. La figure 4 représente une copie d'écran de CHIC, figure que nous allons interpréter.

Figure 4 : Contributions des variables supplémentaires

« Contribution à la classe : Df_Calc_For, Util_Def_F_autr, Mait_Pre_2 (1,3)

La variable Out_Tice contribue à cette classe avec un risque de : 0.19

La variable Out_TN contribue à cette classe avec un risque de : 0.862

La variable qui contribue le plus à cette classe est Out_Tice avec un risque de : 0.19

Contribution à la classe : Df_Sit_Pro, LecG_ine_For, LecG_eq_For, LecG_ext_For, Df_LecG_For, LecG_ia_For(4,6,7,9,10)

La variable Out_Tice contribue à cette classe avec un risque de : 0.815

La variable Out_TN contribue à cette classe avec un risque de : 0.0743

La variable qui contribue le plus à cette classe est Out_TN avec un risque de : 0.0743

Contribution à la classe : LecG_ine_Pro, LecG_eq_Pro, LecG_ext_Pro, LecG_ia_Pro(2,5,8)

La variable Out_Tice contribue à cette classe avec un risque de : 0.204

La variable Out_TN contribue à cette classe avec un risque de : 0.84

La variable qui contribue le plus à cette classe est Out_Tice avec un risque de : 0.204»

Premièrement, remarquons la très forte contribution de la variable Out_TN, variable caractérisant l'approche pédagogique sans utilisation d'outils informatiques, sur la construction du groupe 2 (groupe caractérisé par les variables relatives à l'évaluation des compétences aux problèmes donnés dans des situations formelles). Cette variable contribue à la construction de ce groupe (de cette classe selon le jargon employé dans CHIC) avec un risque très faible. C'est à dire, d'après ce résultat, les élèves qui ont eu une approche d'enseignement non assisté par les TICE contribuent le plus dans la construction des classes de variables identifiées par le groupe 2, variables utilisées pour évaluer des compétences sur la résolution des problèmes formels (situation formelle).

Par contre, c'est plutôt la variable Out_Tice, variable caractérisant l'approche pédagogique avec utilisation d'outils informatiques qui contribue le plus à la construction du groupe 3, classe de variable relative à l'évaluation des compétences sur les exercices donnés en situation problème. Sur l'échelle de un, le risque 0,20 peut paraître grand, mais si on regarde de plus près les deux implications qui constituent le groupe, on peut s'apercevoir que la contribution de Out_Tice dans la construction de ces deux règles est respectivement de 0,19 et de 0,008. On peut donc affirmer qu'à l'issue de l'expérimentation, c'est l'approche pédagogique caractérisée par la variable Out_Tice qui est responsable de la construction de cette classe (groupe 3).

En ce qui concerne le groupe 1, groupe formé par des variables relatives au calcul formel, on a encore une fois une forte contribution de la variable Out_Tice.

Compte tenu des deux premières tendances, on peut affirmer que l'approche pédagogique utilisant les outils informatiques (un ordinateur et un vidéoprojecteur) contribue fortement à la réussite des élèves face aux exercices donnés sous forme de problèmes (situation problème). Par contre, l'approche n'utilisant que le tableau noir contribue plutôt à la réussite des élèves face au calcul formel (situation formelle). En observant la formation du groupe 1, on constate que l'approche utilisant les outils informatiques peut aussi contribuer à la réussite des élèves face aux problèmes formels. Bref, cette expérimentation montre que la combinaison « équilibrée » de ces deux approches peut apporter un grand changement à la qualité d'enseignement.

Dans le but de lutter contre la réticence de certains enseignants, les résultats de ce type d'expérience doivent être vulgarisés au niveau de la population enseignante. Le prochain paragraphe rapporte justement un résultat de sensibilisation et de formation soutenue par le projet EducMad.

V. Expérience dans la sensibilisation et formations des enseignants

Comme nous l'avons annoncé dans l'introduction, la réticence des enseignants constitue un problème non négligeable à l'intégration pédagogique des TICE. Après quelques années à côté du projet EducMad, nous pouvons affirmer que tant que l'enseignant ignore les plus-values que peuvent apporter les TICE, il résiste au changement. Néanmoins, nous avons constaté que derrière ces réticences se cache en fait un besoin de sensibilisation et de formation.

En effet, notre humble expérience de sensibilisation, voire de formation face à une vingtaine d'enseignants de mathématiques venant des diverses régions de la grande île nous a révélé la perméabilité des enseignants. Après avoir convaincu ces enseignants de la potentialité du logiciel Carmetal, ils s'approprient facilement et rapidement les fonctionnalités de ce dernier. Il est donc très important d'inclure le volet formation dans tous projets d'intégration pédagogique des TICE.

VI. Conclusions et perspectives

Malgré l'insuffisance des outils informatiques et l'insuffisance des ressources humaines qualifiées dans le secteur de l'éducation, des efforts en faveur de l'intégration pédagogique des TICE sont constatés à travers la Grande Île. Il faut juste que ces efforts soient canalisés en fonction des ressources disponibles pour optimiser la qualité de l'enseignement proposé aux élèves. L'expérimentation a montré l'efficacité de l'utilisation d'un seul ordinateur et d'un vidéoprojecteur pour simuler, pour animer ou pour illustrer les cours. Vis-à-vis des compétences acquises par les élèves, nous avons vu la différence entre l'approche pédagogique assistée par un vidéoprojecteur et l'approche utilisant seulement le tableau noir. En plus des compétences de résolution des problèmes dans un cadre formel, les élèves qui ont eu des enseignements utilisant les outils informatiques se sentent beaucoup plus à l'aise à l'égard de résolution des exercices donnés sous forme d'un problème par rapport aux élèves qui ont eu un enseignement utilisant seulement le tableau noir. Ce sentiment de compétence va jouer en faveur de motivation des élèves. Selon (De Moura Braga, 2009), plus le sujet se sent compétent, plus il s'engage dans l'activité, plus il apprend. Ces résultats montrent que l'approche pédagogique assistée par un vidéoprojecteur peut constituer une alternative aux problèmes posés par l'explosion démographique, par les désaffections des élèves à l'égard de mathématiques. Il est donc préférable d'équiper (en vidéoprojecteur et ordinateur) quelques salles de classe au lieu d'équiper une salle informatique. Ce sera plus facile de gérer quelques salles de classe équipées que de maintenir une salle informatique. Bien sûr, nous ne sommes pas contre l'existence d'une salle informatique, au contraire, il n'y a rien de plus motivant pour les élèves que d'aller faire des travaux pratiques dans une telle salle. Mais si l'on doit choisir (insuffisance du matériel et effectif des élèves obligent), nous devons d'abord équiper quelques salles de classe avant d'équiper une salle informatique. La sensibilisation et la formation continue des enseignants constituent une condition nécessaire aux réussites de tous projets d'innovation pédagogique. Certes, nous avons obtenu des résultats plus ou moins satisfaisants dans cette expérimentation. Mais il faut souligner que ces résultats peuvent souffrir d'un problème de représentativité. Par rapport à notre contexte d'expérimentation, nos résultats peuvent être perçus comme ponctuels. Ainsi, dans le but de les généraliser, d'autres expérimentations s'imposent. Par conséquent, une suite logique de ce travail serait de refaire des expérimentations en considérant une population beaucoup plus importante et, surtout, des thèmes d'enseignement variés.

Références

Artigue, M. (dir.). (2011). *Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base*. Paris : UNESCO. [En ligne] <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001917/191776F.pdf>

Cariou, J. Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences* (thèse de doctorat). Université de Genève, Suisse.

De Moura Braga, E. (2009). *Enseignement apprentissage de la statistique, TICE et environnement numérique de travail : Étude des effets de supports didactiques numériques, médiateur dans la conceptualisation en statistique* (thèse de doctorat). Université lumière Lyon 2, France.

Gras, R. et Totohasina, A. (1994). Chronologie et causalité, conceptions sources d'obstacles épistémologiques à la notion de probabilité conditionnelle. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 15 (1), 49-95.

Gras, R. et Régnier, J.-C. (2009). Fondements théorique de l'analyse statistique implicite. *Revue des nouvelles technologies de l'information*, E-16, 17-130.

Karsenti, T., Collin, S. et Harper-Merrett, T. (2012). *Intégration pédagogique des TIC : Succès et défis de 100+ écoles africaines*. Ottawa : IDRC/CRDI.

Ottaviani, M. G. et Zannoni, S. (2001). Implication statistique et recherche en didactique : utilisation d'un outil non symétrique d'analyse de données pour l'interprétation des résultats d'un test d'évaluation. *Mathématique et Sciences humaines*, 154-155, 61-79.

Tuffery-Rochdi, C. (2011). *Comment et pourquoi mettre en place un apprentissage de la démarche scientifique dans l'enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques ?* (Mémoire de master 2). Université de La Réunion, France.

Annexe : Les variables observées

Variables	Commentaires Variable qui observe la réussite de l'élève dans la recherche ou la maîtrise (selon les cas) de :
Df_Calc_For	L'ensemble de définition d'une fonction en utilisant le calcul formel
Df_Sit_Pro	L'ensemble de définition d'une fonction dans une situation problème
LecG_eq_For	Solution d'équation de type $f(x) = C$ (en partant de la représentation graphique de f)
LecG_eq_Pro	Solution d'équation de type $f(x) = C$ (en partant de la représentation graphique de f donnée sous forme d'un problème)
LecG_ine_For	Solution d'inéquation de type $f(x) < C$ (en partant de la représentation graphique de f)
LecG_ine_Pro	Solution d'inéquation de type $f(x) < C$ (en partant de la représentation graphique de f donnée sous forme d'un problème)
Mait_pre_1	Solution d'équation et d'inéquation du premier degré (prérequis)
Mait_pre_2	Solution d'équation et d'inéquation du second degré (prérequis)
Util_Def_F_autr	L'écriture de la définition d'un ensemble de définition d'une fonction non rationnelle
Util_Def_F_ratio	L'écriture de la définition d'un ensemble de définition d'une fonction rationnelle
LecG_ext_For	La lecture graphique des extremums dans une situation formelle
LecG_ext_Prob	La lecture graphique des extremums dans une situation problème
LecG_ia_For	La lecture graphique des images et antécédents dans une situation formelle
LecG_ia_Prob	La lecture graphique des images et antécédents dans une situation problème
Df_LecG_For	La lecture graphique de l'ensemble de définition dans une situation formelle
Out_Tice	C'est une variable qui identifie les élèves qui ont suivi une approche d'apprentissage assistée par les TICE
Out_TN	C'est une variable qui identifie les élèves qui ont suivi une approche classique d'apprentissage (utilisation d'un tableau noir)

Dans tous les cas, C désigne une constante réelle donnée.