



TITRE: MODÉLISATION MATHÉMATIQUE : OUTIL EFFICACE D'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES ET DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES

AUTEURS: NDIAYE FAGUÈYE ET BA Cissé

PUBLICATION: ACTES DU HUITIÈME COLLOQUE DE L'ESPACE MATHÉMATIQUE FRANCOPHONE – EMF 2022

DIRECTEUR: ADOLPHE COSSI ADIHOUE, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE (CANADA/BÉNIN) AVEC L'APPUI DES MEMBRES DU COMITÉ SCIENTIFIQUE ET DES RESPONSABLES DES GROUPES DE TRAVAIL ET PROJETS SPÉCIAUX

ÉDITEUR: LES ÉDITIONS DE L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ANNÉE: 2023

PAGES: 463 - 476

ISBN: 978-2-7622-0366-0

URI:

DOI:

Modélisation mathématique : outil efficace d'enseignement-apprentissage des mathématiques et de résolution de problèmes

NDIAYE¹ Faguèye - BA² Cissé

Résumé – Dans ce papier, nous avons mis en exergue l'efficacité de la modélisation mathématique dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques et dans la résolution de problèmes en s'appuyant sur toutes disciplines enseignées dans les classes. L'objectif visé est de faire développer chez l'élève des automatismes d'une démarche mathématique face à une situation complexe.

Mots-clefs : Modélisation, mathématiques, enseignement, apprentissage, interdisciplinarité.

Abstract – In this paper, we have highlighted the effectiveness of mathematical modelling in the teaching-learning of mathematics and in the problem solving based on all disciplines taught in the classroom. The aim is to develop automatic mathematical approaches to complex situations.

Keywords: Modelling, mathematics, teaching, learning, interdisciplinarity.

1. FASTEF/UCAD, Sénégal, fagueye.ndiaye@ucad.edu.sn

2. FASTEF/UCAD, Sénégal, cisse.ba@ucad.edu.sn

Introduction

De nos jours, l'enseignement-apprentissage des mathématiques reste un sujet majeur et est devenu l'un des volets les plus importants de nos systèmes éducatifs. Au Sénégal, il est dit dans le rapport général des assises de l'éducation nationale que, depuis 1991, le pays s'est engagé dans un processus de refondation de son système éducatif en adoptant l'approche par les compétences comme l'ont recommandé les états généraux de l'Éducation et de la Formation. Ainsi, les orientations du Programme d'Amélioration de la Qualité, de l'Équité et de la Transparence-Éducation/Formation (PAQUET-EF), pour la période 2018-2030, visent en priorité : « la rénovation de l'apprentissage des mathématiques, des sciences et de la technologie : réforme des curricula et de la pédagogie et création d'un environnement incitatif et motivant afin de renforcer leur place et leur attractivité, la clarification de leurs liens avec les problématiques de la vie courante et leur compréhension conceptuelle » et elles sont renforcées par la réforme du Baccalauréat UEMOA³ avec une redéfinition du profil de l'élève sortant de l'enseignement secondaire. Ces orientations sont opérationnalisées entre autres, par la Lettre de Politique Générale pour le Secteur de l'Éducation et de la Formation (LPGSEF) en son chapitre III relatif aux principes, valeurs et axes stratégiques d'action du secteur par « la mise en œuvre des réformes curriculaires et pédagogiques ainsi que la création d'un environnement propice et de fortes incitations aussi bien pour l'attractivité et la réussite des apprentissages en mathématiques, sciences et technologie»

L'approche par les compétences, largement promue dans de nombreux systèmes éducatifs, vise à rendre les élèves capables de mobiliser leurs savoirs et savoir-faire pour résoudre des situations-problèmes et fait aussi appel à une pédagogie de l'intégration ; un principe déjà introduit dans le système éducatif sénégalais plus précisément dans les programmes du cycle élémentaire. Ce processus qui devrait être continué depuis 2009 au moyen-secondaire tarde à y être implanté.

Problématique et cadre conceptuel

Il est bien vrai que la pédagogie de l'intégration, selon De Ketele (2000), est une approche qui « cherche à développer la possibilité par les apprenants de mobiliser un ensemble intégré de ressources pour résoudre une situation-problème appartenant à une famille de situations ». En revanche, les situations d'apprentissage ne prennent pas en considération systématiquement des situations-problèmes liées à la vie quotidienne, familiale, environnementale faisant intervenir l'exploitation d'un ou de plusieurs supports nécessitant d'identifier un problème de la vie courante et de le résoudre. Une situation d'apprentissage est une situation didactique au sens de Brousseau qui est l'ensemble des circonstances dans lesquelles l'apprenant se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu. Prendre comme objet d'études les circonstances qui président à la diffusion et à l'acqui-

3. Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

tion des connaissances conduit à s'intéresser aux situations. Dans ce texte, nous considérons que la situation est un outil d'enseignement et/ou de contrôle de son acquisition.

Cependant, s'intéresser à des situations complexes liées à des problèmes de la vie semble essentiel pour la formation de l'élève dans la mesure où nous pensons qu'elles lui permettent de mobiliser des outils faisant appel à plusieurs disciplines comme les sciences physiques, la chimie, les sciences de la vie et de la terre, la géographie, le français, les mathématiques, etc. pour apporter des réponses à la fois qualitatives mais aussi quantitatives. Mais aussi d'avoir un regard critique et de pouvoir prendre des décisions face à des situations du monde qui se présenteront à lui : c'est la modélisation mathématique.

Selon Allaire (2007), la modélisation mathématique d'une manière générale, traite des sujets essentiels en mathématiques appliquées. Pour lui, dire que les mathématiques appliquées sont des mathématiques tournées vers les applications serait une tautologie et une fausse caractérisation. L'avènement des ordinateurs au lendemain de la seconde guerre mondiale, plus que pour tout autre discipline, a été une révolution pour les mathématiques. Il a ouvert la voie à la modélisation mathématique et à la simulation numérique. Ces progrès ont aussi permis aux mathématiques de jouer un rôle crucial à la résolution de problèmes concrets et complexes à caractères scientifiques ou industriels, auxquels elles ont apporté des réponses à la fois qualitatives mais aussi quantitatives.

De ce point de vue, les mathématiques appliquées se situent à l'intersection de plusieurs disciplines scientifiques : mathématiques, calcul informatique, sciences physiques, chimiques, mécaniques, biologiques, économiques, et sciences de l'ingénieur (sous ce dernier vocable on regroupe usuellement les différents domaines d'applications industrielles comme l'aéronautique, la production d'énergie, etc.). Le mathématicien Joseph Keller (2004) affirmait sous forme de boutade que les mathématiques appliquées sont « la science dont les mathématiques pures sont juste une branche ». Il voulait ainsi mettre en relief le caractère pluridisciplinaire des mathématiques appliquées.

Ces spécialistes ont démontré qu'à partir des expériences tirées de la vie courante, les mathématiques en plus d'être abstraites sont aussi présentes dans la société (médecine, nature, construction ...) et concernent pratiquement tous les secteurs de la société. Elles permettent de résoudre des situations liées au vécu quotidien de l'élève, en ce sens qu'elles se présentent comme un art, une activité créatrice, un produit de l'imagination, de beauté et d'harmonie. Son enseignement contribue donc à entraîner les élèves à la pratique d'une démarche scientifique.

L'un des objectifs pour l'enseignement des mathématiques est de mobiliser ses acquis de base pour résoudre, avec une documentation toujours actualisée, des problèmes concrets de la vie.

Trois principes guideront l'action de l'enseignant :

- le principe de la participation active de l'apprenant à son apprentissage fondé sur entre autres :
 - la manipulation et l'expérimentation ;
 - la verbalisation ;
 - l'abstraction ;
- le principe de l'ancrage du processus de résolution de problèmes à toutes les étapes du système enseignement-apprentissage en donnant la place à la notion de preuve ;
- le principe du décloisonnement des connaissances mathématiques, d'abord au niveau interne et ensuite au niveau des autres disciplines et de la technologie :
 - en privilégiant la menée de front de plusieurs domaines au niveau de la progression ;
 - en mettant en pratique l'interdisciplinarité à travers des activités (problèmes, projets, ...) faisant intervenir plusieurs disciplines.

A cet effet, l'élève doit être initié à la modélisation. L'enseignement et l'apprentissage de la modélisation, selon Hankeln et Hersant (2020) et leurs références, ont fait l'objet d'études dès les premiers travaux didactiques en France (Chevallard, 1989) et en Allemagne (Klein, 1907 ; Freudenthal, 1978 ; Winter, 1981). Mais les problèmes de modélisation trouvent toute leur place dans la démarche d'investigation (Artigue & Blomhoj, 2013).

Cependant, le niveau de performance des élèves en mathématiques et le déséquilibre entre les filières scientifiques (30%) et les filières littéraires (70%) au Sénégal, nous font penser que, face à ces situations, les élèves sont désarmés, démunis de stratégie, et peut-être baissent-ils très vite les bras et se résignent en pensant ne pas posséder les compétences requises pour exécuter la tâche. D'où l'idée de notre réflexion sur la « **Modélisation mathématique : outil efficace d'enseignement-apprentissage des mathématiques et de résolution de problèmes** ».

C'est pourquoi nous allons essayer de répondre à ces trois questions :

- Quelle place et quel rôle, les mathématiques peuvent-elles et doivent-elles jouer comme outil de modélisation ?
- Comment ce rôle peut-il être traduit dans l'enseignement et la formation pour donner un réel statut à l'interdisciplinarité à l'école ?
- Comment enseigner la modélisation en tant qu'outil de pensée et non d'apprentissage de modèles tout faits ?

Place et rôle des mathématiques comme outil de modélisation de situations

De tout temps les mathématiciens ont été inspirés par des problèmes pratiques qu'ils ont essayé de modéliser et de résoudre. La modélisation mathématique est alors l'art de représenter ou de transformer une réalité physique en des modèles abstraits accessibles à l'analyse et au calcul.

En effet, le modèle doit représenter la réalité le mieux possible. Il doit être correct du point de vue des mathématiques ce qui risque de l'éloigner un tout petit peu de la réalité à représenter. Il doit être utile pour des applications concrètes donc ne doit pas être trop éloigné de la réalité qu'il représente. Il y a donc un enjeu parfois difficile à remplir quand on établit un modèle d'une situation concrète.

Le modèle comprend trois éléments : des hypothèses, des principes fondamentaux et des relations mathématiques entre les variables. Il est fondamental de faire l'analyse mathématique des modèles pour qu'ils soient significatifs, motivants, pertinents et pour que le résultat attendu dans l'exploitation de ce modèle soit observé.

Ainsi, le modèle choisi permet de poser un problème qui admet au moins une solution : c'est le minimum quand le modèle est censé représenter une réalité. Ensuite, pour des critères bien définis et identifiés il faut que la solution soit unique. Enfin, il faut que la solution dépende continûment des données, c'est-à-dire si les paramètres changent la solution change aussi. C'est dire que le problème doit être bien posé au sens de Hadamard (1923) ; il s'agit d'un problème dont :

- La solution existe ;
- Elle est unique ;
- Elle dépend continûment des données.

Dans de nombreux cas le modèle mathématique n'est pas tout fait, ou il faut en sélectionner un pertinent parmi plusieurs disponibles, ou bien il faut simplifier des modèles connus mais trop complexes, ou encore il faut être capable d'en créer. Néanmoins, il est important de prendre conscience de l'importance de cette démarche de modélisation. Il faut commencer par choisir le moment, l'objectif visé et le contexte. Il y a des modèles pour introduire un objet mathématique, d'autres orientés et motivants dans le sens de sensibiliser sur un phénomène qui peut être nuisible à la santé, à l'environnement, de sensibiliser sur la bonne gouvernance ou pour gérer des situations de conflits, etc. Dans la plupart du temps le modèle a une fonction sociale. Cet exemple que nous présentons en est une illustration :

Pour contribuer à la lutte contre la pollution atmosphérique, un industriel décide de ramener progressivement la quantité de rejet en gaz toxique de son entreprise qui était de 60000 tonnes par an jusqu'en 2007 à une valeur inférieure ou égale 30000 tonnes en 2017 au plus tard. Il s'est engagé à

réduire chaque année la quantité de rejet de 5% à partir de 2007. A l'aide des outils mathématiques au programme de terminale L2⁴, réponds aux questions suivantes :

1. En 2009 la quantité de rejet de son entreprise était de 55000 tonnes, avait-il respecté ses engagements ?
2. Une réduction annuelle de 10% de la quantité de rejet lui permettrait-il de respecter ses engagements au bout de 10 ans ?

Ainsi, ces modèles doivent prendre niche dans des contextes familiers aux élèves ou tout au moins connus par ces derniers, à savoir : les sciences physiques, chimiques, les questions environnementales, l'histoire, la géographie, la biologie, bref dans toute discipline enseignée aux élèves. Ces types de modèles qui sont des situations d'intégration sont présentés à l'élève pour lui apprendre à réinvestir ses acquis, à les transférer, et pour vérifier s'il est compétent pour les réinvestir. Les autres modèles qui lui sont présentés pour mener un nouvel apprentissage sont des situations didactiques au sens de Brousseau. Dans le paragraphe qui suit nous présentons deux exemples de situations. La **situation 1** est un exemple de situation didactique et la **situation 2** est une situation d'intégration.

Quelques illustrations de modélisation mathématique.

Situation 1 :

Abdoulaye et Jeanne sont envoyés au supermarché pour effectuer des achats. En dépensant au plus 5000f, ils doivent acheter des boîtes de conserve de bœuf et de sardinelles. La boîte de conserve de bœuf est à 400f l'unité, celle de sardinelles est à 600f l'unité. Abdoulaye propose d'acheter 5 boîtes de conserve de bœuf et 6 boîtes de conserve de sardinelles. Jeanne propose d'acheter 7 boîtes de conserve de bœuf et 3 boîtes de conserve de sardinelles. Leurs propositions sont-elles bonnes ?

Cette situation est pour introduire la leçon sur l'inéquation à deux inconnues.

Elle a une fonction didactique pour de nouveaux apprentissages. Les objectifs visés sont les suivants :

- L'élève de 3^{ème} doit être capable de mettre en équation une situation complexe.
- L'élève de 3^{ème} doit être capable de vérifier qu'un couple de réels est solution ou non d'une inéquation à 2 inconnues du type indiqué.

4. Sciences sociales et humaines

La démarche attendue est la suivante :

- Choisir la variable x représentant le nombre de boîtes de conserve de bœuf et y celle représentant le nombre de boîtes de sardinelles.
- Traduire cette situation au modèle : $400x + 600y \leq 5000$.
- Donner la *réponse attendue après vérification* : « la proposition de Jeanne est la bonne ».

Toute la difficulté des élèves dans cette situation est le choix des inconnues et la relation entre elles. Des élèves choisissent au hasard un nombre pour les boîtes de conserve de bœuf et un autre pour les boîtes de conserve de sardinelles et puis faire des calculs sans être sûr de la validité des résultats obtenus. D'autres attendent que l'enseignant leur donne plus d'indications pour savoir par où commencer. Cette situation n'est donc pas uniquement de l'ordre du geste, ne se limite pas à une tâche élémentaire (comme par exemple aller faire une course en ville) : elle nécessite une mobilisation cognitive, gestuelle et /ou socio-affective de plusieurs acquis de l'élève.

Le rôle de l'enseignant dans cette phase est déterminant pour susciter la réflexion de l'élève afin qu'il expérimente et verbalise dans un premier temps, et puis qu'il énonce une règle dans un second temps.

Situation 2

A l'hôpital Abass NDAO de Dakar, un médecin a relevé pour un groupe de 10 patients l'âge et la tension artérielle. Il a obtenu les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Âge	30	28	35	42	51	42	63	32	70	67
Tension artérielle	11,5	11,3	12,3	13,5	14,6	13	16,6	12	16,9	

Ce médecin a lu dans la revue scientifique spécialisée en biologie NATURE, que : « la tension artérielle d'un être vivant dont l'âge est compris entre 30 à 70 ans, est fortement liée à son âge ». Consigne : En utilisant les informations données dans le tableau ci-dessus aide le médecin à vérifier l'assertion de la revue scientifique spécialisée.

La situation 2 est proposée aux élèves de Terminale S2⁵ au Baccalauréat blanc UEMOA. Elle a une fonction d'intégration des acquis et une fonction d'évaluation.

Cette situation d'intégration est une situation complexe qui nécessite d'articuler plusieurs ressources. La complexité réside dans l'articulation d'opérations cognitives, de savoirs, de savoir-faire, et non pas dans le niveau de difficulté.

L'élève à qui est proposé cette situation est familiarisé en classe à la modélisation mathématique, suite à l'organisation de séances d'intégration.

La démarche attendue de lui est la suivante :

- Choisir X la variable statistique représentant l'âge du patient et Y celle représentant sa tension artérielle.
- Traduire cette situation en **modèle** mathématique en posant le coefficient de corrélation linéaire $\rho_{XY} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$ où $Cov(X, Y)$ est la covariance entre X et Y , σ_X l'écart-type de X et σ_Y l'écart-type de Y .
- Calculer la valeur de ρ_{XY} , la comparer à 1 et puis donner un jugement.

Ces deux exemples illustrent à bien des égards la place primordiale et le rôle important que jouent les mathématiques dans l'acquisition des savoirs et dans l'intégration des savoirs acquis. C'est pourquoi, il est impératif d'en tenir compte dans l'enseignement et dans la formation des enseignants.

Comment ce rôle peut-il être traduit dans l'enseignement et la formation pour donner un réel statut à l'interdisciplinarité à l'école ?

Ne dit-on pas qu'enseigner, c'est inventer les conditions dans lesquelles les connaissances de l'élève vont être appelées à fonctionner ; c'est articuler l'apprentissage autour de leurs stratégies, de leurs conceptions, pour essayer de les faire progresser dans la construction d'un concept donné. C'est pourquoi, dans les options méthodologiques de nos programmes de mathématiques, un des trois principes majeurs qui guidera notre action c'est le décroisement des connaissances mathématiques, d'abord au niveau interne et ensuite au niveau des autres disciplines et de la technologie. Ceci en mettant en pratique l'interdisciplinarité à travers des activités (problèmes, projets, ...) faisant intervenir plusieurs disciplines.

En outre, dans la réforme du Baccalauréat en cours dans la zone UEMOA, en mathématiques, on doit chercher à développer chez l'élève le profil de citoyen critique. Celui pour qui les mathématiques constituent une dimension importante de la formation générale, notamment dans sa dimension humaniste, conscient des limites et des pouvoirs des mathématiques, capable d'une réflexion épistémologique à leur propos, qui peut les utiliser de façon critique, qui peut les situer d'un point de vue historique, voire anthropologique ; c'est aussi celui qui peut décrypter et problématiser les contextes et/ou les situations-problèmes du monde qui nous entoure ; les épreuves d'évaluation seront des situations-problèmes qui tendront davantage vers l'interdisciplinarité et le recul critique.

A cet effet, la modélisation nécessite une connaissance approfondie, non seulement des objets mathématiques, mais aussi de la discipline à laquelle elle s'appuie. Dans la formation initiale et continue des enseignants de mathématiques il est alors impératif de faire des échanges, de travailler en équipe, de mutualiser et capitaliser des savoirs et des compétences avec les enseignants des autres disciplines. Cela leur permettrait d'apprendre à évaluer leurs besoins de formation et à les compléter, à développer des compétences nouvelles, à avoir accès à des informations et données mises à jour, à la richesse des supports où et quand ils veulent, et aux banques de données spécialisées. Ce renforcement de capacités des enseignants leur permet d'avoir des éclairages, des orientations à prendre en mathématiques pour amener les élèves à être compétents à résoudre des problèmes concrets. Mais la difficulté de cette approche sera le manque de temps auquel seront confrontés les formateurs pour préparer et mettre en œuvre cette mutualisation, et de l'institutionnaliser dans la formation.

Ainsi, l'école et les structures de formation des enseignants doivent initier les futurs enseignants à l'élaboration et à la résolution de situations complexes afin que, plus tard, ils puissent familiariser leurs élèves à la mobilisation des connaissances acquises et des compétences développées par le plus haut degré de réinvestissement possible. Et que celles-ci soient transférables dans la résolution de problèmes concrets. C'est dans ce sens que l'on dira que l'élève est compétent.

Selon Jacques Tardif, « le transfert fait essentiellement référence au mécanisme cognitif qui consiste à utiliser dans une tâche cible une connaissance construite ou une compétence développée dans une tâche source » (Tardif, 1999, p. 58). Nnang (2015), quant à lui rappelle que « Le concept de compétence ne renvoie pas uniquement aux savoirs et savoir-faire, il implique aussi la capacité à répondre à des exigences complexes et à pouvoir mobiliser et exploiter des ressources psychosociales (dont des savoir-faire et des attitudes) dans un contexte particulier ».

Quelques approches de l'intégration de l'interdisciplinarité dans la modélisation mathématique.

Modèle pour la formation :

Les formateurs (Inspecteurs de l'enseignement-Moyen et Conseillers pédagogiques Itinérants) sont initiés à l'élaboration et la résolution de situations complexes ; ils démultiplient la formation dans leurs académies respectives afin que tous les professeurs de mathématiques soient formés à leur tour. Ils feront le suivi de la formation en faisant des visites de classes. Au bout de quelques mois de pratique, des situations complexes sont proposées dans les épreuves d'évaluation (BFEM⁶, Bac blanc UEMOA). L'exploitation des résultats des élèves dans les évaluations, en analysant leurs notes puis en comparant leurs performances quand ils sont en face d'exercices classiques et quand ils sont en face de situations complexes, permet de faire une évaluation de cette approche.

6. Brevet de Fin d'Etudes Moyennes

Dans les structures de formation initiale, des modules de production et de résolution de situations complexes doivent être intégrés dans chaque élément constitutif d'une unité d'enseignement ou au bout de quelques semaines de formation. Même si dans la pratique, des élèves-professeurs en stage dans les établissements scolaires proposent des situations complexes dans les apprentissages de ressources, ils doivent apprendre à en proposer en évaluation de ressources. Il est à noter qu'à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Éducation et de la Formation (FASTEF) des sujets de recherche portant sur l'intégration des situations complexes sont donnés à des élèves professeurs pour leur mémoire de fin de formation. Ainsi, l'introduction des modules de production et de résolution de situations complexes renforcerait la capacité des futurs professeurs à tenir compte de l'interdisciplinarité dans leurs pratiques de classes.

Modèle pour l'enseignement :

A l'issue de la formation des enseignants sur l'élaboration de situations complexes, les élèves doivent, à leur tour, être formés et familiarisés à la modélisation et à la résolution de situations complexes, plus précisément de situations d'intégration. L'approche consiste à organiser les apprentissages de manière à développer différents types de ressources (savoirs, savoir-faire, savoir-être, capacités méthodologiques, mise en projet, etc.) pendant une période de cinq ou six semaines et amener ensuite les élèves à mobiliser ces ressources dans des situations d'intégration, que l'élève est invité à résoudre individuellement. Cette période d'apprentissage d'intégration s'étend sur une durée d'une, de deux ou de plusieurs semaines, selon le contexte. Ces situations d'intégrations doivent être choisies afin d'apprendre aux élèves à mobiliser des ressources interdisciplinaires pour résoudre des problèmes. C'est l'approche par l'intégration des acquis, ou encore la pédagogie de l'intégration (De Ketele, 2000; Roegiers, 2000). Cette approche curriculaire rencontre les exigences du complexe, tant dans les situations d'intégration que dans les apprentissages de ressources.

Comment enseigner la modélisation en tant qu'outil de pensée et non d'apprentissage de modèles tout faits ?

Les Japonais ont leurs Jukus (des centres d'entraînement après l'école), une longue tradition d'étude de la leçon et une forte concentration de l'enseignement sur la résolution de problèmes. A Singapour, il existe des contenus scolaires excellents et les élèves, comparés à d'autres à l'équivalent du cours préparatoire, ont une meilleure connaissance des nombres et de l'arithmétique de base, alors que certains concepts mathématiques sont introduits bien plus tôt qu'ailleurs. Mais il faut aussi noter que les conditions de travail sont propices à la réussite de l'élève ; les parents donnent le primat à l'excellence et à la réussite, et les apprentissages se font en silence en classe, dans la discipline avec l'idée que l'on peut apprendre sans parler tout en étant engagé dans l'activité.

A cette pratique singapourienne, il faut ajouter la façon dont les professeurs de plusieurs disciplines doivent travailler ensemble. Ils doivent concevoir ensemble des activités de recherche en s'impliquant dans la modélisation mathématique de situations, en s'observant mutuellement et en échangeant sur leurs pratiques de classe.

Dans ces conditions, pour enseigner la modélisation en tant qu'outil de pensée on pourrait, en distinguant plusieurs étapes, amener l'élève à

- faire des hypothèses sur la situation à étudier. Les hypothèses sont traduites mathématiquement en un modèle;
- étudier le modèle mathématique en résolvant le problème posé. Il en tire des conséquences qualitatives ou quantitatives et fait des prévisions;
- comparer les prévisions aux réalités expérimentales;
- revenir éventuellement sur les hypothèses pour modifier le modèle, et le cycle continue.

Conclusion

La modélisation mathématique est un outil privilégié pour développer, mobiliser et combiner plusieurs compétences et donner statut à l'interdisciplinarité. Dans les structures de formation initiale, le travail collaboratif entre les élèves-professeurs des différents départements leur permettrait de se familiariser à la production des modèles pertinents, significatifs et motivants et de les résoudre. Cela les aiderait, sur le terrain, à familiariser les élèves à la résolution de situations complexes.

La formation à l'élaboration et la résolution de situations complexes des formateurs (Inspecteurs de l'enseignement Moyen-Secondaire et des Conseillers Pédagogiques itinérants), de quelques enseignants sur le terrain tenant des classes de Terminales et les notes obtenues par les élèves au cours des évaluations aux baccalauréats blancs UEMOA (**sources** : les notes de mathématiques en série L2 comprises généralement entre 00/20 et 12/20 dans les épreuves classiques, et comprises entre 02/20 et 20/20 au Bac blanc UEMOA 2019) au Sénégal ont montré l'importance et l'efficacité de la modélisation mathématique dans l'enseignement et l'acquisition des savoirs. A cet effet, les élèves sont attentifs et motivés quand ils sont invités à résoudre une situation concrète d'apprentissage ; l'exploitation pertinente des résultats par l'enseignant afin de leur permettre de découvrir de nouveaux concepts suscite leur intérêt aux savoirs mathématiques. L'élève doit donc disposer d'automatismes pour prendre des initiatives, proposer un modèle, le valider ou l'invalidier, imaginer des pistes de solution, s'y engager sans s'égarer et communiquer un résultat. Ces automatismes facilitent en effet le travail intellectuel de l'élève en l'amenant à prendre conscience de la richesse et de la variété de la démarche mathématique. Cela est important dans la définition de son devenir.

Références

- Allaire G. (2007) *Numerical analysis and optimization: an introduction to mathematical modelling and numerical simulation*. OUP Oxford.
- Artigue M. & Blomhoj M. (2013) Conceptualizing inquiry-based education in mathematics. *ZDM*, 45(6), 797-810.
- Assises de l'éducation du Sénégal. Rapport général. (2014). http://ekldata.com/VsEYubtB_tfL25iiSwpfrX-x4o0/Rapport-Final-des-Assises.pdf
- Chevallard Y. (1989) *Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège. Deuxième partie. Perspectives curriculaires : la notion de modélisation*. Petit x, n° 19, 45-75.
- De Ketele J-M. (2000) *Approche socio-historique des compétences dans l'enseignement*, in Ch. Bosman, F-M. Gérard, X. Roegiers (éds.), *Quel avenir pour les compétences ?* (83-92). Bruxelles: De Boeck Université.
- Freudenthal H. (1978) *Vorrede zu einer Wissenschaft vom Mathematikunterricht*. München : Oldenbourg.
- Hadamard J. (1923) *Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations*. Yale University Press.
- Hankeln C. & Hersant M. (2020) Processus de modélisation et processus de problématisation en mathématiques à la fin du lycée, *Éducation et didactique*. 14-3, 39-67.
- Keller J. (2004) Interview with Joseph Keller. *Notices of the American Mathematical Society* 51, 751-760.
- Klein F. (1907) *Vorträge über den mathematischen Unterricht an den höheren Schulen*. Teil 1. Leipzig, Teubner.
- Lettre de politique générale pour le secteur de l'éducation et de la formation (LPGE-EF) (2018) Sénégal. http://www.formation.gouv.sn/?page_id=2184
- Manuel de référence pour l'harmonisation progressive des épreuves du baccalauréat dans les États Membres de l'UEMOA (2014) Ouagadougou, Décembre 2014. <http://www.examens-concours.net/pdf/Bac%20UEMOA%20-%20Manuel%20de%20reference.pdf>
- Nnang E. (2015) *L'approche par les compétences dans les pays en voie de développement*, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01103705>.
- Programme d'amélioration de la qualité, de l'équité et de la transparence 2018-2030. Sénégal (PAQUET-EF) (2019) Sénégal. <https://www.globalpartnership.org/fr/content/programme-damelioration-de-la-qualite-de-lequite-et-de-la-transparence-2018-2030-senegal#:~:text=Le%20plan%20sectoriel%20de%20l,durable%204%20sur%20l'%C3%A9ducation>.

Roegiers X. (2000) *Une pédagogie de l'intégration : Compétences et intégration des acquis dans l'enseignement*. Bruxelles : De Boeck.

Tardif J. (1999) *Le transfert des apprentissages*. Montréal : Éditions Logiques

Winter H. (1981) Der didaktische Stellenwert des Sachrechnens im Mathematikunterricht der Grund- und Hauptschule. *Pädagogische Welt* 35, 666-674.