



**HAL**  
open science

# CONTRIBUTION À L'ÉLABORATION D'UNE Q-MATRICE POUR L'AMÉLIORATION DE L'APPRENTISSAGE EN CONTEXTE D'APPROCHE PAR COMPÉTENCE

Denon Arthur Richmond Gono

## ► To cite this version:

Denon Arthur Richmond Gono. CONTRIBUTION À L'ÉLABORATION D'UNE Q-MATRICE POUR L'AMÉLIORATION DE L'APPRENTISSAGE EN CONTEXTE D'APPROCHE PAR COMPÉTENCE. Informatique [cs]. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 2024. Français. ⟨NNT : 2024STI017⟩. ⟨tel-04829004⟩

**HAL Id: tel-04829004**

**<https://theses.hal.science/tel-04829004v1>**

Submitted on 10 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE  
Union-Discipline-Travail

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY



N° d'ordre : 017/2024

**THÈSE**

Pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY**

Mention : **Sciences et Technologies**

Spécialité : **Informatique**

**SUJET :**

**CONTRIBUTION À L'ÉLABORATION D'UNE Q-MATRICE POUR  
L'AMÉLIORATION DE L'APPRENTISSAGE EN CONTEXTE  
D'APPROCHE PAR COMPÉTENCE**

**CONTRIBUTION TO THE DESIGN OF A Q-MATRIX FOR IMPROVING  
LEARNING IN THE CONTEXT OF A COMPETENCY-BASED APPROACH**

Présenté par : **GONO Denon Arthur Richmond**

*Soutenue publiquement le 25/06/2024 devant le jury composé de :*

M. TOURE Kidjébo Augustin	Professeur Titulaire	INP-HB	Président
M. AKA Boko	Professeur Titulaire	UNA	Rapporteur
M. DIABY Moustapha	Maitre de Conférences	ESATIC	Rapporteur
M. KONAN Kouadio Fransisco	Maitre de Conférences	ENS	Examineur
M. GOORE Bi Tra	Professeur Titulaire	INP-HB	Directeur de thèse

# RÉSUMÉ

Dans le cadre de la diversification de son économie, du développement du capital humain et de l'amélioration du bien-être social de sa population, la Côte d'Ivoire a entrepris de nombreuses réformes institutionnelles. Cependant, avec 14,643 % d'insertion socio - professionnelle des apprenants issus de l'Enseignement Technique et la Formation Professionnelle (ETFP) et l'inadéquation des compétences (75,87%) par rapport au marché de l'emploi illustrent clairement les difficultés rencontrées dans le secteur de l'éducation et de la formation, notamment dans le processus d'élaboration des programmes d'enseignement.

Dans la présente thèse, nous examinons le problème d'élaboration de la Q-Matrice par conséquent d'élaboration de contenu d'apprentissage. Notre objectif a été de proposer un cadre d'élaboration de la Q-Matrice dans le contexte éducatif Ivoirien. Pour cela, nous avons proposé d'abord une méthodologie d'élaboration de la Q-Matrice dans le contexte éducatif Ivoirien. Ensuite, nous avons proposé une approche dénommée WMRMF pour la prédiction de la Q-Matrice en se basant sur la technique de Factorisation Matricielle. Cette approche s'appuie à la fois sur les capacités cognitives (performances) et les acquis des apprenants pour prédire la Q-Matrice. Ensuite, nous avons proposé une technique dénommée  $Sk$  -WMRMF pour affiner la prédiction de la Q-Matrice. Cette technique s'appuie outre les performances et les acquis des apprenants sur les tâches proposées par les experts du domaine pour prédire la Q-Matrice.

Pour évaluer ces approches, nous avons mené une étude sur les guides et programmes mis à disposition par le Ministère et sur des apprenants du second cycle de l'enseignement général, inscrits en classe de Première Scientifique, au Lycée Moderne Khalil (Daloa, Côte d'Ivoire).

Les résultats de la présente thèse ont montré que les notes obtenues par l'apprenant (matrice de performance), le niveau de maîtrise des compétences (matrice des acquis) et la matrice de similarité des tâches se présentent comme des attributs pertinents pour la prédiction de la Q-Matrice.

*Mots clés : Modèle pédagogique, découverte des compétences, regroupement des items, prédiction, Q-Matrice, Factorisation Matricielle, Mesure de similarité, WMRMF,  $Sk$  - WMRMF.*

# ABSTRACT

With the aim of diversification of its economy, the development of human capital and the social well-being of its population, Côte d'Ivoire has initiated many institutional reforms. However, the low rate of professional integration of learners leaving its education system and the unsuitability of skills for the job market clearly present the difficulties encountered in the education-training sector specifically in the process of developing its teaching program.

In this thesis, we address Q-Matrix's elaboration problem, and consequently educational programs elaboration. Our aim has been to propose a framework for developing the Q-Matrix in the Ivorian educational context. To do this, we first proposed a methodology for developing the Q-Matrix in the Ivorian educational context. Then, we proposed an approach called WMRMF for Q-Matrix's prediction, based on Matrix Factorization technique. This approach relies on both cognitive abilities and the performance matrix of learners to predict Q-Matrix. Next, we proposed an approach called *Sk*-WMRMF to refine Q-Matrix prediction, relying not only on students' performance and prior learning, but also on tasks proposed by domain experts to predict the Q-Matrix.

To evaluate these approaches, we carried out a study of the guides and programs made available by the Ministry and students of the second cycle of general education, enrolled in lower 6th class, at the Lycée Moderne Khalil (Daloa, Côte d'Ivoire).

Present thesis results have shown that student scores (performance matrix), skill mastery level (prior learning matrix) and task similarity matrix are relevant attributes for Q-Matrix's prediction.

**Keywords:** *Pedagogical model, skills discovery, items clustering, Q-Matrix prediction, Matrix Factorization, Similarity Measure, WMRMF, Sk - WMRMF*

# DEDICACE

A

*Ma chère épouse, Amandine NAHI*

*Mes chers enfants, Loïc, Adassa, David et Mardochée*

*Mes chers parents et mes chers frères et sœurs*

*Mon très cher Oncle, Dr Emile BIH*

*Feu KONE Dramane, Doctorant du LARIT*

*Toute la famille*

# REMERCIEMENTS

J'adresse mes premiers remerciements à M. GOORE Bi Tra, Professeur Titulaire à l'Institut National Polytechnique Felix Houphouët – Boigny (INPHB) - Yamoussoukro, Directeur de ce travail de recherche et également Superviseur du Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunication (LARIT) et Directeur du Laboratoire en Sciences de Données et en Intelligence Artificielle (LASDIA), pour sa disponibilité indéfectible, ses conseils et ses observations qui ont enrichi ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à M. TOURE Kidjébo Augustin, Professeur Titulaire à l'INPHB, Directeur Ecole Préparatoire aux Grandes Ecoles (EPGE) et responsable du Laboratoire Sciences Exactes et Modélisation (LASEM), qui a accepté de présider notre jury de thèse ; M. AKA Boko, Professeur Titulaire à l'Université Nangui – Abrogoua (UNA), Directeur de l'Institut de Recherche sur les Energies Nouvelles (IREN) et M. DIABY Moustapha, Maitre de Conférences à l'Ecole Supérieure Africaine des Technologies de l'Information et de la Communication (ESATIC), les rapporteurs de cette thèse pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour terminer M. KONAN Kouadio Fransisco, Maitre de Conférences à l'Ecole Normale Supérieur (ENS) pour avoir accepté d'examiner notre travail

J'adresse également mes remerciements à M. KIMOU Prosper, Maitre de Conférences, Directeur du LARIT et à M. BROU Konan Marcelin, Maitre de Conférences, Responsable de la commission scientifique du LARIT pour leurs contributions très remarquables et pour tout le soutien qu'ils m'ont accordé durant ce travail de recherche.

Mes remerciements vont également à l'endroit de M. HABA Cissé Théodore, Professeur Titulaire à l'INPHB et Directeur de l'Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Sciences et Technologies de l'Ingénierie (UMRI - STI) et M. OUMTANAGA Souleymane, Professeur Titulaire à l'INPHB et Directeur de l'Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Mathématiques et Sciences du Numérique (UMRI - MSN) pour leurs conseils et observations sans toutefois oublier M. SORO Yaya, Professeur Titulaire à l'INPHB et Directeur de l'École Doctorale Polytechnique - Sciences et Technologie de l'Ingénieur (EDP - STI) ainsi que toute son équipe, pour le travail abattu au sein de cette école.

J'adresse également mes remerciements aux Docteurs TIECOURA Yves, KOUAME Appoh, KADJO Tanon Lambert, MORIE Maho Wielfrid, TREY Zacadra Odile, KOFFI Yves, GBALLOU Yao Théophile, SANGARE Seydou et DIOMANDE épouse MOHA tous membres du LARIT pour leurs présences et leurs entières disponibilités. Ils ont su faire le pont parfait pour cette insertion dans cet environnement particulier de recherche scientifique. Egalement ils ont su de par leur expertise apporter cette orientation et valorisation à ce travail de recherche.

Mes remerciements également à l'endroit de tous les doctorants du Laboratoire notamment Messieurs AKANZA Ricky, N'GATTA Aimé, YAO Yao Serge et Madame KOUA Hortense épouse KOUAME pour toute cette énergie partagée, les interventions et soutiens à tous les niveaux.

J'adresse particulièrement mes remerciements au Docteur ASSIELOU Kouamé Abel, membre du LARIT, Enseignant – Chercheur à l'INPHB, pour son entière implication et également pour son soutien indéfectible à toutes les étapes de cette thèse.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Mme. Edmée MANSILLA, Professeur Titulaire, Directeur Général de l'Institut Pédagogique National de l'Enseignement Technique et Professionnel (IPNETP), de M. GBONGUE Jean Baptise, Professeur Titulaire en Science de l'Education à l'IPNETP et de M. BERTE Zakaria, Maitre de Conférences pour leurs implications et leurs différents apports dans le cadre de cette thèse.

J'adresse mes chaleureux remerciements au Docteur DJANGO Benjamin, chef du Département Industriel et Enseignant - Chercheur à l'IPNETP et à l'ensemble des collègues de cet Institut pour leur participation active dans ce travail de recherche.

Pour terminer, mes remerciements vont à l'endroit de tous les membres de ma famille, en particulier à mon épouse Amandine NAHI, à Monsieur et Madame BIH Emile et à l'endroit de Monsieur et Madame GUE GONO pour leurs présences, soutiens constants qui m'ont assuré des bases solides me permettant de persévérer et de me surpasser au quotidien.

# TABLE DE MATIERES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>III</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABLE DE MATIERES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTE DES ABBRÉVIATIONS</b> .....	<b>XII</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
CONTEXTE .....	1
PROBLÉMATIQUE .....	2
OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	3
RÉSULTATS ATTENDUS.....	4
ORGANISATION DE CE MANUSCRIT.....	5
<b>CHAPITRE 1 : Q-MATRICE DANS L'APPRENTISSAGE</b> .....	<b>7</b>
1.1 INTRODUCTION PARTIELLE .....	8
1.2 HISTORIQUE DES Q-MATRICES .....	9
1.3 INTÉRÊTS DE L'ÉLABORATION DES Q-MATRICES.....	10
1.4 Q-MATRICE ET SYSTÈME ÉDUCATIF .....	11
1.4.1 <i>Diagnostic du système éducatif Ivoirien</i> .....	12
1.4.2 <i>Évolution des pratiques pédagogiques dans le système éducatif Ivoirien</i> .....	15
1.4.3 <i>Comparaison entre Approche Par Objectif et Approche Par Compétence</i> .....	16
1.4.4 <i>Q-Matrices dans la mise en œuvre de l'Approche Par Compétences</i> .....	20
1.5 L'APC DANS LA FORMATION DE BASE ET PROFESSIONNELLE EN CÔTE D'IVOIRE .....	21
1.5.1 <i>Dans la formation de base</i> .....	21
1.5.2 <i>Dans la formation professionnelle</i> .....	22
1.6 PROBLÈMES RENCONTRÉS DANS L'ÉLABORATION DES Q-MATRICES.....	23
1.7 CONCLUSION PARTIELLE .....	24
<b>CHAPITRE 2 : METHODES ET TECHNIQUES D'ELABORATION D'UNE Q-MATRICE</b> .....	<b>26</b>

2.1	INTRODUCTION.....	27
2.2	EVALUATION COGNITIVE DE L'APPRENANT .....	27
2.3	Q-MATRICE ET REGROUPEMENT D'ITEMS ÉDUCATIFS.....	31
2.3.1	<i>Technique de regroupement des items</i> .....	31
2.3.1.1	<i>Représentation du modèle</i> .....	32
2.3.1.2	<i>Extraction des données</i> .....	32
2.3.1.3	<i>Regroupement</i> .....	33
2.3.1.3.1	<i>Hiérarchique</i> .....	34
2.3.1.3.2	<i>Partitionnel</i> .....	34
2.3.2	<i>Méthodes de regroupement d'items éducatifs</i> .....	35
2.3.3	<i>Limites des modèles de regroupement d'items éducatifs</i> .....	39
2.4	FACTORISATION MATRICIELLE ET APPRENTISSAGE MACHINE .....	40
2.5	MÉTHODES D'ÉVALUATION .....	42
2.5.1	<i>Choix des hyperparamètres du modèle</i> .....	42
2.5.2	<i>Méthodes d'évaluation</i> .....	43
2.5.3	<i>Métriques d'évaluation des algorithmes de Factorisation Matricielle</i> .....	44
2.6	CONCLUSION PARTIELLE .....	46
<b>CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UN CADRE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉLABORATION DE LA Q-MATRICE DANS LE CONTEXTE ÉDUCATIF IVOIRIEN .....</b>		<b>48</b>
3.1	INTRODUCTION.....	49
3.2	ETAT DE L'ART .....	49
3.3	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE PROPOSÉE .....	51
3.3.1	<i>Programme éducatif et guide d'exécution</i> .....	52
3.3.1.1	<i>Présentation</i> .....	52
3.3.1.2	<i>Programme et guide d'exécution Mathématiques Première D</i> .....	53
3.3.2	<i>Présentation de la zone d'étude</i> .....	54
3.3.3	<i>Enquête pour l'élaboration de la Q-Matrice</i> .....	55
3.3.4	<i>Proposition d'une première version de Q-Matrice</i> .....	56
3.3	HIÉRARCHISATION DES TÂCHES – COMPÉTENCES PROPOSÉES PAR LES EXPERTS .....	59
3.4	VALIDATION DE LA Q-MATRICE DES EXPERTS .....	60
3.5	EVALUATION DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE PROPOSÉE.....	61
3.3.5	<i>Détermination de la matrice du degré d'affinité et du score de satisfaction</i> .....	62
3.3.6	<i>Ordonnancement des tâches et des compétences</i> .....	64
3.3.7	<i>Evaluation de l'approche proposée</i> .....	64
3.4	RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	65

3.5	CONCLUSION PARTIELLE .....	67
<b>CHAPITRE 4 : PROPOSITION D'UNE APPROCHE DE FACTORISATION MULTI-RELATIONNELLE POUR LA PRÉDICTION DE LA Q-MATRICE .....</b>		
4.1	INTRODUCTION .....	69
4.2	CONTEXTE ET MOTIVATION .....	69
4.3	ÉTAT DE L'ART SUR LA PRÉDICTION DE LA Q-MATRICE .....	70
4.4	APPROCHE DE PRÉDICTION PROPOSÉE.....	73
4.4.1	<i>Formulation du problème.....</i>	73
4.4.2	<i>Approche de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (Weighted Multi-Relational Matrix Factorization).....</i>	74
4.4.3	<i>Phase d'apprentissage : proposition d'algorithme de mise à jour des paramètres .....</i>	76
4.5	ÉVALUATION DE L'APPROCHE PROPOSÉE.....	77
4.5.1	<i>Base d'apprentissage .....</i>	77
4.5.2	<i>Evaluation .....</i>	78
4.6	RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	79
4.6.1	<i>Résultats.....</i>	79
4.6.2	<i>Validation de l'approche proposée .....</i>	82
4.7	CONCLUSION PARTIELLE .....	82
<b>CHAPITRE 5 : APPROCHE HYBRIDE POUR AFFINER LA PRÉDICTION DE LA Q-MATRICE... 84</b>		
5.1	INTRODUCTION PARTIELLE .....	85
5.2	CONTEXTE ET MOTIVATION .....	85
5.3	ÉTAT DE L'ART SUR L'AFFINEMENT DES CARTOGRAPHIES TÂCHES - COMPÉTENCES .....	86
5.4	APPROCHE $S_K$ – WRMFMF PROPOSÉE .....	88
5.4.1	<i>Formulation du problème.....</i>	89
5.4.2	<i>Mesure de Kappa de Cohen .....</i>	90
5.4.3	<i>Phase d'apprentissage : proposition d'algorithme de mise à jour des paramètres .....</i>	92
5.5	EVALUATION DE L'APPROCHE PROPOSÉE.....	93
5.5.1	<i>Ensemble de données .....</i>	93
5.5.2	<i>Evaluation .....</i>	93
5.6	RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	94
5.6.1	<i>Discussion .....</i>	97
5.7	CONCLUSION PARTIELLE .....	98
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES .....		99
1.	BILAN.....	99

2.	PERSPECTIVES .....	101
2.1	ETENDRE L'ÉLABORATION DE LA Q-MATRICE AUX SPÉCIALITÉS DE L'ETFP .....	101
2.2	ELABORATION DE LA Q-MATRICE EN INTÉGRANT LES ATTRIBUTS SOCIO – ÉCONOMIQUES DES APPRENANTS 102	
2.3	AFFINER L'ÉLABORATION DE LA Q-MATRICE.....	102

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : EXEMPLE DE Q-MATRICE COMPORTANT 6 COMPÉTENCES ( $KC_N$ ) ET 7 TÂCHES ( $Q_N$ ) .....	10
FIGURE 2 : PROCÉDURES D'ÉVALUATION DIAGNOSTIQUE COGNITIVE.....	30
FIGURE 3 : LES ÉTAPES DU REGROUPEMENT [99] .....	32
FIGURE 4 : TAXONOMIE DES APPROCHES DE REGROUPEMENT (MODIFIÉE [102]).....	34
FIGURE 5 : APPROCHES DE REGROUPEMENT PARTITIONNEL [105] .....	35
FIGURE 6 : MODÈLE DE FACTORISATION MATRICIELLE DE RÉSEAU DE NEURONES (MODIFIÉE [122]). .....	41
FIGURE 7 : EXEMPLE DE VALIDATION CROISÉE À 4 FOLDS [130]. .....	44
FIGURE. 8 : EXTRAIT DE Q-MATRICE « INITIALE » DES EXPERTS POUR 11 COMPETENCES ET 12 TACHES .....	58
FIGURE 9 : DIAGRAMME HIÉRARCHIQUE DES COMPÉTENCES .....	60
FIGURE. 10 : EXTRAIT DE Q-MATRICE DITE Q-MATRICE DES EXPERTS POUR 11 COMPETENCES ET 12 TACHES .....	61
FIGURE. 11 : EXEMPLE DE CALCUL SCORE DE SATISFACTION (AAFS) POUR L'ENSEMBLE DES ENSEIGNANTS (T) A LA REALISATION DE 5 TACHES (Q) .....	63
FIGURE. 12 EXEMPLE DE CALCUL DU DEGRE D'AFFINITE (SAS) POUR L'ENSEMBLE DES ENSEIGNANTS (T) A LA REALISATION DE 5 TACHES (Q) .....	63
FIGURE. 13 : EXTRAIT CARTOGRAPHIE « TACHES – COMPETENCES » PROPOSEE PAR LES EXPERTS DU DOMAINE .....	65
FIGURE. 14 : EXTRAIT CARTOGRAPHIE « TACHES – COMPETENCES » OBTENUE APRES ORDONNEMENT PAR L'ALGORITHME 1 .....	66
FIGURE. 15 : MOYENNES OBTENUES PAR LES APPRENANTS DANS LA MAITRISE DES COMPETENCES PROPOSEES DANS LES Q-MATRICES ET SAS/AAFS Q-MATRICE.....	66
FIGURE. 16 : RELATIONS PRISES EN COMPTE DANS L'APPROCHE PROPOSEE.....	73
FIGURE. 17 : EXTRAIT DE LA MATRICE R (MATRICE DES PERFORMANCES) POUR 10 APPRENANTS 18 TACHES.....	78
FIGURE. 18 : EXTRAIT DE LA MATRICE A (MATRICE DES ACQUIS) POUR 10 APPRENANTS 9 COMPETENCES .....	78
FIGURE. 19. CAPTURE D'ECRAN LORS DE L'ÉVALUATION DE L'APPROCHE WMRMF .....	80
FIGURE. 20 : ÉVOLUTION DE RMSE ET MAE PAR ITERATIONS.....	81
FIGURE. 21 : SIMILARITE ENTRE LA Q-MATRICE ET LA Q-MATRICE PREDITE POUR DIFFERENTES VALEURS DE FACTEURS LATENTS.....	81
FIGURE. 22 : EXTRAIT DE LA Q-MATRICE DES EXPERTS ET DE LA Q-MATRICE PREDITE PAR LE MODELE .....	82
FIGURE. 23. RELATIONS PRISES EN COMPTE DANS L'APPROCHE PROPOSÉE .....	89
FIGURE. 24. CAPTURE D'ECRAN LORS DE L'ÉVALUATION DE L'APPROCHE $S_K$ - WMRMF.....	95
FIGURE. 25. RÉSULTATS RMSE POUR LES MODÈLES WMRMF ET $S_K$ - WMRMF .....	96
FIGURE. 26. INDICES DE SIMILARITÉ ENTRE LA Q-MATRICE DES EXPERTS ET LA Q-MATRICE PRÉDITE PAR LES MODÈLES WMRMF ET $S_K$ – WMRMF .....	96
FIGURE. 27. SEUIL DE TÂCHES REDONDANTES ADMIS DANS L'ÉLABORATION DES Q-MATRICES DES EXPERTS POUR LES MODÈLES WMRMF ET $S_K$ – WMRMF .....	97

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : RECAPITULATIF DU PROGRAMME DE MATHÉMATIQUE, NIVEAU PREMIÈRE D .....	54
TABLEAU 2 : DIFFÉRENTES COMPÉTENCES ÉTUDIÉES.....	56
TABLEAU 3 : EXTRAIT DE 16 TACHES ISSUES DES DEUX CENT (200) PROPOSÉES PAR LES ENSEIGNANTS .....	57
TABLEAU 4 : INFORMATIONS SUR LES APPRENANTS, LES TÂCHES ET LES COMPÉTENCES .....	77
TABLEAU 5 : PARAMÈTRES D'OPTIMISATION .....	80
TABLEAU 6 : EXTRAIT DE LA MATRICE DE SIMILARITÉ POUR 7 TACHES .....	90
TABLEAU 7 : TABLEAU DE CONTINGENCE POUR LES ITEMS $i$ ET $j$ .....	91
TABLEAU 8 : PARAMÈTRES D'OPTIMISATION .....	95

## **LISTE DES ABBRÉVIATIONS**

AFD	Agence Française de Développement
ALS	Alternative Least Square
APC	Approche Par Compétence
BNETD	Bureau National d'Etude et de Développement
CAFOP	Centre d'Animation et de Formation Pédagogique
CDA	Cognitive Diagnostic Assessment
CDM	Cognitive Diagnostic Model
COFEMEN	Conférence des ministres de l'Éducation des États et gouvernements de la Francophonie
DAIP	Direction de l'Apprentissage et de l'Insertion Professionnelle
DINA	Deterministic Input, Noisy "and" Gate
DSPS	Direction des Stratégies, de la Planification et des Statistiques
DRENA	Direction Régionale de l'Education Nationale et de l'Alphabétisation
EBP	Ecoles de Pâtisserie et Boulangerie
Emo - WRMFM	Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization
GDM	General Diagnostic Model
HDCM	Hierarchical diagnostic classification model
IPNETP	Institut Pédagogique National de l'Enseignement Technique et Professionnel
IRA	Indice de Rand Ajusté
IRT	Items Theory Response

INPHB	Institut National Polytechnique Felix Houphouët – Boigny
KC	Knowledge Components
LARIT	Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunication
LCDM	Log-Linear Cognitive Diagnostic Model,
LFA	Learning Factor Analyse
MENA	Ministère de l'Education Nationale et de l'Apprentissage
NMF	Nonnegative Matrix Factorization
MAE	Mean Absolute Error
MRMF	Multi- Relational Matrix Factorization
ODD	Objectifs de Développement Durable
PND	Plan National de Développement
PPO	Pédagogie Par Objectif
RMSE	Root-Mean-Square Error
SNMF	Sparse Nonnegative Matrix Factorization
So - WMRMF	Social Weighted Multi-Relational Matrix Factorization
SoEmo - WMRMF	Socio - Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization
TP	Travaux Pratiques
UFR	Unités de Formation et de Recherche
UVCI	Université Virtuelle de Côte d'Ivoire
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
WMRMF	Weighted Multi-Relational Matrix Factorization

# INTRODUCTION GENERALE

## Contexte

Le système éducatif ivoirien, hérité de la période coloniale, a évolué à travers plusieurs phases : l'enseignement rénové de 1963 à 1970, le Programme d'Éducation Télévisuelle de 1971 à 1982, et les programmes dits de souveraineté de 1982 à 2002. Il se divise en deux ordres principaux : l'enseignement général et l'enseignement technique et la formation professionnelle. Pour faciliter l'accès à ces différentes branches, diverses passerelles ont été mises en place, permettant d'accéder aux offres éducatives telles que l'éducation de base, le secondaire, et le supérieur pour l'enseignement général, ainsi qu'à l'enseignement technique et la formation professionnelle au niveau secondaire. De 1963 à 2002, la mise en œuvre de ces programmes s'est appuyée sur la Pédagogie Par Objectif (PPO), une approche pédagogique inspirée de la théorie behavioriste et des principes de découpage des tâches d'apprentissage. Cette approche a été développée à la suite des travaux de Bloom [1][2] et se réfère aux théories de Tyler [3-5] ainsi que de Gagne et Briggs [5]. Dans le cadre de la PPO, l'enseignant définit d'abord les objectifs d'apprentissage à atteindre, puis précise les opérations à effectuer et le temps nécessaire pour maîtriser ces connaissances [6]. Cependant, cette approche présente certaines limites, notamment l'inadéquation des contenus aux réalités ivoiriennes, une fragmentation excessive des connaissances, et une faible participation des apprenants dans le processus d'apprentissage [7][8].

Depuis 2002, pour remédier aux limites de la Pédagogie Par Objectif (PPO), le système éducatif ivoirien a adopté l'Approche Par Compétence (APC) comme nouvelle méthode pédagogique [10-12]. Contrairement à la PPO, qui était centrée sur la transmission des connaissances, l'APC se concentre sur l'apprenant, favorisant l'apprentissage collaboratif et permettant à l'apprenant de construire activement son propre savoir. Cette approche vise également à répondre au défi de l'inadéquation entre la formation et l'emploi. En Côte d'Ivoire, les guides pédagogiques sont désormais élaborés selon cette approche, et sont fournis aux enseignants, qui doivent concevoir des tâches spécifiques pour maîtriser les compétences définies par les experts en éducation.

## Problématique

L'adoption de l'Approche Par Compétence (APC) dans le système éducatif viserait à apporter une réponse à l'élaboration de programmes éducatifs répondant aux besoins économiques, culturels et scientifiques de la société. De manière spécifique, le basculement vers cette approche pédagogique aurait pour objectif de répondre à l'inadéquation emploi – formation par la formation de main d'œuvre qualifiée. En effet, l'un des fondements de cette approche pédagogique est le contexte d'apprentissage qui doit être le plus proche possible de celui de l'environnement professionnel dans lequel le futur diplômé sera amené à travailler [11].

Cependant, de nombreuses études sur l'évaluation de la performance du système éducatif Ivoirien montrent bien les difficultés rencontrées par le secteur Education – Formation en Côte d'Ivoire dans la mise en œuvre de l'APC [14]. En effet, une étude menée par la Direction de l'Apprentissage et de l'Insertion Professionnelle (DAIP) montre que seulement 14,43 % des sortants de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle (ETFP) ont accès au marché de l'emploi [15]. Il ressort également dans une autre étude menée par l'Agence Française de Développement (AFD) sur les déterminants de l'inadéquation des compétences au marché de l'emploi en Côte d'Ivoire que 75,87% des compétences proposées par le système éducatif Ivoirien ne répondent pas aux besoins du marché de l'emploi [16]. En outre, une récente évaluation sur la qualité des systèmes éducatifs des pays membres de la Conférence des ministres de l'Éducation des États et gouvernements de la Francophonie (COFEMEN) révèle que les apprenants ivoiriens ne disposent pas des compétences en langue et en mathématiques pour le cycle primaire [14].

Cette situation peut se justifier par l'inexistence de manuel universel pour l'évaluation des apprenants en APC. En effet, chaque enseignant propose des tâches pour la maîtrise des différentes compétences proposées, ce qui peut – être préjudiciable car ces tâches étaient souvent rattachées à l'ancienne approche pédagogique et sont aujourd'hui pour la plupart inadaptées pour la maîtrise des contenus d'apprentissage. De ce fait, l'inadéquation des tâches aux contenus d'apprentissage demeure également une réelle problématique en Approche Par Compétence. Dans cette perspective, il est difficile de diagnostiquer l'état de connaissance de l'apprenant ainsi que les difficultés rencontrées durant le processus d'apprentissage. Ainsi, proposer des outils pour la mise en relation des tâches et des compétences également appelé Q-Matrice pourrait aider les acteurs du système éducatif dans la mise en œuvre de l'Approche.

## Objectifs de Recherche

Nos travaux ont pour objectif de développer une approche innovante pour l'élaboration d'une Q-Matrice dans le contexte éducatif ivoirien. Autrement dit, ces travaux visent à proposer une nouvelle méthode de construction et de validation des contenus d'apprentissage, afin de simplifier le travail des acteurs du système éducatif. Cette orientation principale se matérialise à travers les objectifs spécifiques suivants :

- **Une méthodologie d'élaboration de la Q-Matrice dans le contexte éducatif ivoirien :** Notre premier objectif consiste à proposer un cadre méthodologique pour la création de la cartographie « tâches-compétences », également désignée sous le terme de Q-Matrice, à partir des référentiels et programmes établis par le Ministère de l'Éducation Nationale. Cette étude intègre une évaluation des enseignants en termes d'affinité et de satisfaction dans l'accomplissement des tâches d'apprentissage, dans le but d'optimiser la cartographie « tâches-compétences » obtenue ;
- **Une approche automatique d'élaboration d'une Q-Matrice :** Notre deuxième objectif est de proposer une nouvelle approche de prédiction de la Q-Matrice en utilisant la technique de Factorisation Multi-Relationnelle Pondérée (WRRMF). Par la suite, nous calculerons la similarité entre la Q-Matrice établie par des experts et celle prédite par notre approche, afin de formuler des recommandations aux acteurs du système éducatif.
- **Un modèle intégrant les facteurs liés au processus d'évaluation tels que la redondance des tâches pour affiner la prédiction de la Q-Matrice :** Notre troisième objectif est de développer un cadre de validation automatique des disparités, telles que les tâches redondantes, identifiées par l'approche WRRMF, afin d'affiner la cartographie « tâches-compétences ».

Pour atteindre notre premier objectif, nous avons proposé un cadre méthodologique pour l'élaboration d'une Q-Matrice destinée aux experts en éducation. Cette contribution repose sur une étude basée sur le programme et le guide éducatif de la classe de 1ère D en Mathématiques du

système éducatif ivoirien, élaborés selon l'Approche Par Compétence. La méthodologie suivie se décompose en plusieurs étapes : d'abord, l'identification des compétences et des tâches sous-jacentes ; ensuite, l'établissement des correspondances entre tâches et compétences ; puis, la hiérarchisation des compétences ; et enfin, l'ordonnement des tâches-compétences, en s'appuyant sur une étude évaluant le degré d'affinité et le score de satisfaction des enseignants dans la réalisation des différentes tâches d'apprentissage.

Pour atteindre notre deuxième objectif, nous avons proposé une approche automatique de prédiction de la Q-Matrice basée sur la technique de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (WMRMF). Cette méthode exploite à la fois les matrices de performance et d'acquis des apprenants, en intégrant le poids de chacune de ces matrices pour générer automatiquement la cartographie tâches-compétences. Plus précisément, l'approche s'appuie sur deux types de relations : la relation « apprenant effectue tâche » et la relation « apprenant possède des acquis », en utilisant un modèle de facteurs latents pour reconstruire la relation « tâche requiert compétence », qui constitue la cartographie entre les tâches et les compétences. Par la suite, nous calculons la divergence entre la Q-Matrice établie par les experts et celle prédite par notre approche, afin de formuler des recommandations pour les acteurs du système éducatif.

Pour atteindre notre troisième objectif, nous avons développé une approche hybride combinant la technique de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (WMRMF) et la mesure de Kappa de Cohen, désignée sous le nom de  $Sk$  - WMRMF, pour affiner la prédiction de la Q-Matrice. Concrètement, en plus des relations « apprenant effectue tâche » et « apprenant possède des acquis », l'approche  $Sk$  - WMRMF intègre également la relation réflexive « tâche requiert tâche » afin de traiter les disparités identifiées dans l'approche WMRMF.

## **Résultats attendus**

À terme, les résultats de cette thèse permettront de :

- Améliorer l'efficacité du système éducatif, contribuant ainsi à la formation d'une main-d'œuvre qualifiée pour le marché de l'emploi.

- Fournir aux tuteurs humains et aux systèmes experts des outils de diagnostic cognitif des apprenants et de validation des maquettes pédagogiques proposées par les systèmes éducatifs.
- Offrir une réponse à la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence en optimisant les référentiels de formation, et en mettant à la disposition des acteurs de l'éducation (experts du domaine, enseignants, systèmes d'apprentissage, etc.) un outil de diagnostic et de prédiction des cartographies tâches-compétences.

## **Organisation de ce manuscrit**

Ce manuscrit est structuré en cinq chapitres, organisés comme suit :

Le chapitre 1 fournit un cadre général relatif aux approches pédagogiques employées pour l'élaboration des programmes éducatifs dans le contexte ivoirien. Il commence par une brève histoire des Q-Matrices, puis offre un diagnostic du système éducatif ivoirien en détaillant les différentes approches pédagogiques mises en œuvre depuis l'indépendance jusqu'à aujourd'hui, accompagnées d'une étude comparative de ces approches. En outre, nous examinons la contribution des Q-Matrices à l'application de l'approche pédagogique actuelle, l'Approche Par Compétence, dans le système éducatif ivoirien. Enfin, nous soulignons l'importance de l'élaboration des Q-Matrices pour améliorer l'efficacité des systèmes d'enseignement et discutons des défis rencontrés dans la création de ces modèles.

Le chapitre 2 introduit les concepts d'évaluation cognitive de l'apprenant et examine l'apport des Q-Matrices dans les modèles de diagnostic cognitif. Nous y détaillons les différentes techniques de regroupement d'items éducatifs, en présentant un état de l'art sur ces techniques, avec un accent particulier sur la Factorisation Matricielle. Nous discutons également des limites potentielles de l'application de cette technique dans le domaine du regroupement des items éducatifs. En outre, nous présentons les diverses métriques d'évaluation matricielle susceptibles d'être utilisées pour évaluer la pertinence des modèles proposés dans les chapitres suivants.

Les contributions que nous avons apportées sont détaillées dans les chapitres trois, quatre et cinq, chacun étant structuré comme un article de recherche distinct.

Dans le chapitre 3, nous présentons un cadre méthodologique pour l'élaboration d'une Q-Matrice dans le contexte éducatif ivoirien. Cette contribution s'appuie certes sur la participation des Experts du domaine pour la mise en relation des tâches et compétences mais également sur une évaluation basée sur le niveau d'affinité et de satisfaction des enseignants dans la réalisation des tâches d'apprentissage pour l'ordonnancement des tâches et compétences sous – jacentes. Cette première version de la cartographie « tâches – compétences » obtenue est nommée Q-Matrice des Experts.

Dans le chapitre 4, nous présentons une nouvelle approche d'élaboration automatique de la Q-Matrice s'appuyant sur les performances et les acquis des apprenants. Cette approche basée sur la méthode de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée s'appuie sur les relations « apprenant effectue tâche » et « apprenant a des acquis » pour prédire la relation « tâche requiert compétence ». Ce chapitre expose par ailleurs une évaluation de cette approche. La Q-Matrice prédite par notre approche est comparée à celle proposée par les Experts du domaine. Pour cela, nous calculons la similarité entre la Q-Matrice des Expertes et la Q-Matrice prédite. L'écart interprété comme de nouvelles tâches est soumis à l'attention des experts du domaine.

Le chapitre 5 propose une approche unifiée (dénommée  $Sk$  - WMRMF) basée sur les techniques de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (WMRMF) et la mesure de Kappa de Cohen ( $Sk$ ) pour affiner la prédiction de la Q-Matrice. Outre les matrices de performances ( $R$ ) et des acquis ( $A$ ), l'approche  $Sk$  - WMRMF s'appuie également sur la matrice carrée ( $T$ ) pour apporter une réponse à la disparité rencontrée dans l'approche WMRMF. Ce chapitre présente également un cadre d'évaluation de l'approche  $Sk$  - WMRMF et examine l'influence des divers paramètres pris en considération par ce modèle sur les résultats des prédictions.

La section finale du manuscrit, en particulier la conclusion, récapitule les travaux réalisés et propose des perspectives pour des développements futurs.

# CHAPITRE 1 : Q-MATRICE DANS L'APPRENTISSAGE

## Sommaire

---

1.1 INTRODUCTION PARTIELLE .....	8
1.2 HISTORIQUE DES Q-MATRICES .....	9
1.3 INTÉRÊTS DE L'ÉLABORATION DES Q-MATRICES .....	10
1.4 Q-MATRICE ET SYSTÈME ÉDUCATIF .....	11
1.5 L'APC DANS LA FORMATION DE BASE ET PROFESSIONNELLE EN CÔTE D'IVOIRE .....	21
1.6 PROBLÈMES RENCONTRÉS DANS L'ÉLABORATION DES Q-MATRICES .....	23
1.7 CONCLUSION PARTIELLE .....	24

---

## 1.1 Introduction partielle

L'évaluation de l'efficacité des systèmes éducatifs démontre la nécessité d'opérer des réformes au niveau des programmes éducatifs [17][18]. Ces réformes visent particulièrement à améliorer la qualité de l'apprentissage et sont traduites dans de nombreux pays francophones par l'adoption de l'APC [19][20]. Dans la littérature de nombreux travaux sont consacrés à cette approche pédagogique. Elle est présentée par de nombreux chercheurs en sciences de l'éducation comme un catalyseur pour l'amélioration des programmes éducatifs [21]. Egalement le choix de cette approche pédagogique repose certes sur la volonté d'apporter une réponse à la problématique de l'efficacité des systèmes éducatifs mais d'apporter une plus grande lisibilité dans la démarche d'élaboration des programmes éducatifs. Malheureusement l'APC engendre un changement de paradigme tant au niveau des méthodes et techniques de l'enseignement qu'au niveau de l'élaboration des programmes éducatifs ou curriculum [22][23]. Le curriculum se réfère à la planification, la structuration et la mise en place d'un ensemble d'activités d'enseignement et d'apprentissage qui suivent une trajectoire éducative déterminée [24][25]. Il englobe la définition des objectifs éducatifs, les matières enseignées, les activités et méthodes d'apprentissage, ainsi que les modalités et outils d'évaluation des compétences des apprenants. [26].

Son élaboration est un processus complexe et se présente comme une tâche laissée à la charge des experts de l'éducation [27]. Ainsi, elle demeure une problématique majeure pour le monde éducatif. Dans la littérature, de nombreux travaux sur l'élaboration de programmes éducatif pour aider les experts dans cette tâche sont proposés. Ces travaux s'appuient sur des modèles d'élaboration de cartographie tâches – compétences également appelées Q-Matrices. L'objet du présent chapitre est donc de décrire les Q-Matrices et de se positionner par rapport aux axes abordés dans cette thèse.

Le chapitre présente une définition des Q-Matrices, son fondement théorique ; ensuite, une description de l'intérêt de l'élaboration des Q-Matrices. De plus, nous allons réaliser un diagnostic du système éducatif ivoirien, en examinant les méthodes pédagogiques qui ont été mises en place jusqu'à présent, l'apport des Q-Matrices dans l'élaboration des programmes d'enseignement et enfin, les problèmes rencontrés dans le cadre de l'élaboration des Q-Matrices.

## 1.2 Historique des Q-Matrices

La Q-Matrice est une méthode proposée par Kikumi Tatsuoka s'appuyant sur sa théorie de l'espace des règles [28]. Elle a pour objectif de diagnostiquer le niveau de maîtrise de l'apprentissage par les apprenants [29][30], d'évaluer la performance d'un système d'apprentissage et permettre aux experts d'apporter des réponses en terme de remédiation pour permettre aux apprenants d'atteindre le niveau attendu [31]. Pour consolider la méthode proposée, Tatsuoka et *al.*, ont émis une hypothèse basée sur le principe de règles erronées [32][33][34]. Les auteurs ont exploré les idées fausses que les apprenants pourraient appliquer pour résoudre des problèmes dans l'apprentissage des concepts mathématiques de base. Pour évaluer cette hypothèse, de nombreuses contraintes liées au temps de travail sont rencontrées par l'équipe de Tatsuoka. Pour résoudre cette contrainte, Tatsuoka a développé la méthode de l'espace de règles pour diagnostiquer les règles utilisées par les apprenants dans l'addition de fractions.

Dans la méthode de l'espace de règles, toutes les réponses aux questions résultant de règles erronées et correctes dérivées par des experts sont cartographiées dans un plan, et les réponses des apprenants sont comparées à ces points. Le point dans l'espace des règles le plus proche de la réponse de l'apprenant correspond à la règle que l'apprenant est censé utiliser. Cette méthode améliore les autres modèles procéduraux, en créant un espace où toutes les réponses des apprenants peuvent être cartographiées et comparées aux prédictions des experts. Cette idée de déterminer l'état des connaissances d'un apprenant à partir de ses réponses aux questions du test a abouti à la création d'une Q-Matrice, à l'origine une matrice binaire montrant la relation entre les items ou tâches du test et les attributs ou concepts latents ou sous-jacents [35][36]. Dans le travail de Tatsuoka et *al.*, une Q-Matrice est le résultat d'une analyse experte des questions sur leurs attributs sous-jacents. Pour construire une Q-Matrice, les experts ont établi une relation entre les questions et les concepts du test (appelés attributs) et les apprenants passant le test se sont vu attribuer des états de connaissance en fonction de leurs réponses aux tests et de la Q-Matrice construite [37][38]. Un exemple de Q-Matrice est donné dans le tableau de la Figure 1.

		Tâches						
		Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>
Compétences	KC <sub>1</sub>	0	1	0	1	0	0	0
	KC <sub>2</sub>	0	0	1	0	0	1	1
	KC <sub>3</sub>	1	0	1	0	0	0	0
	KC <sub>4</sub>	0	0	0	1	1	0	0
	KC <sub>5</sub>	1	0	1	0	0	0	0
	KC <sub>6</sub>	0	1	0	0	0	1	1

Figure 1 : Exemple de Q-Matrice comportant 6 compétences (KC<sub>n</sub>) et 7 tâches (Q<sub>n</sub>)

### 1.3 Intérêts de l'élaboration des Q-Matrices

L'amélioration de la qualité de la formation et la performance des apprenants a conduit de nombreuses réformes dans les systèmes éducatifs au monde. Dans ce contexte, les outils d'élaboration et de mise à jour de curricula se présentent comme fondamentale avec pour objectif la découverte du niveau de maîtrise de connaissance par les apprenants. A cet effet, les modèles de diagnostic cognitif issues des domaines de l'éducation et de la psychologie cognitive, élaborent le processus d'obtention d'une classification basée sur les compétences de l'état actuel des connaissances latentes d'un individu dans un domaine spécifique en fonction de ses réponses observées pour faire des inférences plus fines et décisions pour fournir un suivi et un soutien en temps opportun [40][42].

L'élaboration des Q-Matrices permettent de certes répondre aux besoins individuels des apprenants mais d'apporter une réponse à la problématique de l'inadéquation emploi-formation. En d'autres termes, l'élaboration des Q-Matrices permettent d'améliorer la performance des apprenants et d'évaluer leurs capacités. Il existe d'autres avantages liés à l'élaboration des Q-Matrices :

- L'utilisation des Q-Matrices dans le contexte éducatif permet de structurer les connaissances de manière logique et hiérarchique, ce qui facilite la compréhension et la mémorisation des informations pour les apprenants.
- Elle permet également d'évaluer la cohérence des programmes d'enseignement proposés par le système éducatif et de faciliter l'application des différentes approches pédagogiques.

- En plus d'évaluer l'état des connaissances des apprenants, les modèles de diagnostic cognitifs permettent d'adapter l'apprentissage en donnant des outils aux tuteurs (enseignants / systèmes experts) d'améliorer leurs stratégies pédagogiques.
- Les modèles de diagnostic cognitifs permettent de prédire et d'affiner programmes d'enseignement proposés par la prise en compte des facteurs externes liés aux apprenants.

L'élaboration de Q-Matrice demeure encore aujourd'hui un axe majeur de recherche car mettant en relation plusieurs disciplines notamment la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation et l'informatique [40]. A cet effet, l'élaboration de Q-Matrices répond à des besoins pratiques pour le secteur éducation – formation mais également à des besoins de recherche. Dans le domaine de la recherche, le recours aux Q-Matrices répond au désir de maîtriser le niveau d'acquisition de connaissance et d'amélioration de la performance de l'apprenant. De plus, les Q-Matrices apportent aux experts du domaine des feedbacks nécessaires, pour les remédiations dans le processus d'apprentissage. Ils permettent de répondre à de nombreuses problématiques dans le secteur éducation-formation. A cet effet, de nombreux travaux ont montré que l'élaboration de curricula pertinent permet d'améliorer la problématique de l'inadéquation emploi-formation et par conséquent le problème du faible taux d'insertion professionnelles des sortants du système éducatif. De même que l'élaboration des Q-Matrices apporte une contribution significative aux décideurs et experts en éducation, elle fournit des outils aux tuteurs et systèmes d'apprentissages pour accompagner les apprenants dans le processus d'amélioration de l'apprentissage.

#### **1.4 Q-Matrice et Système éducatif**

Après avoir montré les nombreux avantages de l'utilisation des Q-Matrices dans l'amélioration des programmes éducatif, il faut définir le contexte de son élaboration dans le système éducatif ivoirien. Il s'agit de montrer comment l'élaboration des Q-Matrices peut aider ou faciliter l'élaboration des programmes éducatif ou servir d'outils de diagnostic et d'innovation pédagogique pour les experts en éducation. Dans cette démarche, un diagnostic du système éducatif ivoirien conduira à déterminer les difficultés liées à l'élaboration des programmes éducatifs et l'apport possible des Q-Matrices. Le choix du système éducatif ivoirien est premièrement grandement lié au contexte géographique de nos travaux et ensuite lié à la dynamique impulsée par l'état ivoirien pour repositionner l'école ivoirienne et son projet de miser

sur sa jeunesse pour atteindre l'émergence à l'horizon 2035. La Côte d'Ivoire, pays membre de la Conférence des Ministres de l'Éducation des États et gouvernements de la Francophonie (CONFEMEN) essaye de suivre les recommandations du monde éducatif francophone au niveau pédagogique, présente des similitudes tant sur le plan éducatif et technologique en terme de difficultés et de perspectives avec de nombreux pays en voie de développement. Les sections suivantes (1.4.1, 1.4.2, 1.4.3 et 1.4.4) présentent premièrement un diagnostic du système éducatif ivoirien, puis un état des lieux des pratiques pédagogiques déroulées, ensuite une étude comparative entre les approches pédagogiques présentées à la section 1.4.2 et pour terminer l'apport des Q-Matrices dans la mise à œuvre de l'approche pédagogique actuelle à savoir l'Approche Par Compétence. Nous montrerons comment l'élaboration des Q-Matrices peut faciliter la mise en œuvre des approches pédagogiques et aider à l'élaboration des programmes éducatifs permettant d'améliorer la qualité de la formation.

#### 1.4.1 Diagnostic du système éducatif Ivoirien

Pour répondre à l'un des Objectifs de Développement Durable (ODD) notamment celui de l'accès à une éducation de qualité et aussi aux recommandation de l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO), de nombreuses réformes et politiques sont mises en œuvre par les acteurs de l'éducation dans la majeure partie des pays en voie de développement. Le Plan National de Développement (PND) 2011-2025 témoigne de la concrétisation de cette politique en Côte d'Ivoire. En effet, deux (2) axes du PND touchent particulièrement le secteur éducation – formation à savoir l'axe sur l'accélération et le développement du capital humain et du bien-être social et l'axe sur l'accélération de l'industrialisation et la transformation de l'économie. En terme de reformes, on peut citer en autres la signature d'un décret pour rendre l'école obligatoire pour les enfants de 6 à 16 ans<sup>1</sup> et le basculement de l'Approche Par Objectif (APO) à l'Approche Par Compétence (APC)<sup>2</sup>. Il faut rappeler que cette approche pédagogique vise premièrement à placer l'apprenant au cœur du processus d'apprentissage et apporter une réponse à la problématique de l'inadéquation emploi –

---

<sup>1</sup> Loi sur l'école obligatoire pour les enfants de 6 à 16 ans en Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> COMMUNIQUE DU CONSEIL DES MINISTRES DU MERCREDI 12 JUILLET 2023 <https://www.presidence.ci/wp-content/uploads/2023/07/Communique%CC%81-du-CDM-du-12-07-2023.pdf>

formation. Le contexte d'apprentissage constitue également l'une des limites à la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence. En effet, en APC l'environnement d'apprentissage doit être proche ou identique à l'environnement de production [11].

Le système éducatif ivoirien, organisé en trois (3) cycles notamment le cycle primaire, secondaire et supérieur avec de nombreuses passerelles rencontre des difficultés majeures notamment celles liées à l'inadaptation des compétences proposées aux marchés de l'emploi pour les sortants et à la qualité de la formation décrite par les experts en éducation [41].

Avec en moyenne 44 apprenants par classe, le cycle primaire présente au même titre que les cycles secondaire et supérieurs un déficit réel lié au manque d'infrastructure [42]. Selon les rapports de la Direction des Stratégies, de la Planification et des Statistiques du Ministère de l'Éducation Nationale et de l'Apprentissage (DSPA/MENA)<sup>3</sup>, seulement 61% des apprenants issus du premier cycle ont la chance de terminer leur parcours. Le PASEC [43][44] souligne que les compétences des apprenants en lecture, écriture et mathématiques à la fin de leur parcours dans le cycle primaire sont un critère essentiel pour évaluer la qualité des systèmes éducatifs, car ces compétences de base sont indispensables. Dans le même contexte, dans une évaluation sur la qualité des systèmes éducatifs en Afrique subsaharienne, il ressort que les apprenants ivoiriens ne disposent pas de ces compétences pour le cycle primaire.

De même que le cycle primaire, le cycle secondaire présente une moyenne de 40 apprenants par enseignant. Les laboratoires de travaux pratiques (TP) sont sous-équipés, ce qui laisse les apprenants toujours dans la théorie. Cette situation ne facilite pas l'application de l'Approche Par Compétence qui exige un environnement d'apprentissage proche ou identique de l'environnement de production [45]. Ce cycle comprend l'enseignement secondaire général, l'enseignement technique et la formation professionnelle. Dans le secondaire général, le taux d'abandon était de 16,8 % en 2019. De nombreuses passerelles sont mises en place pour insérer ces sortants du système au niveau de l'enseignement technique et professionnel. Toutefois le manque d'infrastructures de pointe ne favorise la formation des apprenants. Cette situation se ressent par le faible taux d'insertion des apprenants sortant de l'enseignement technique et professionnel estimé à 14,7 en 2017 [15]. Également ce manque d'infrastructure a un impact sur l'adéquation emploi –

---

<sup>3</sup> DSPA - Direction des Stratégies, de la Planification et des Statistiques / MENET - Ministère de l'éducation nationale de l'enseignement technique

formation matérialisée par une formation des apprenants ne répondant pas aux besoins du marché de l'emploi. En effet, les filières tertiaires représentent près de 72% de l'offre de formation, et seulement 0.2% pour les filières agropastorales dans un pays dont le succès repose sur l'agriculture [46].

Confronté aux mêmes difficultés que ces prédécesseurs à savoir la massification de sa population, l'enseignement supérieur comptait en 2019, 253 955 étudiants pour 403 établissements<sup>4</sup>, dont huit (8) universités publiques regroupant plus de 100 000 étudiants. Le ratio d'un (1) enseignant – chercheur pour vingt-cinq (25) étudiants tel que recommandé par l'UNESCO n'est malheureusement pas respecté dans la majeure partie des universités car atteignant le score de soixante – neuf (69) étudiants par enseignant - chercheur dans certains Unités de Formation et de Recherche (UFR). Ce problème de massification est clairement traduit par un manque d'infrastructures et de ressources humaines. En plus de ce problème, un autre problème vient perturber le bon fonctionnement de l'enseignement supérieur à savoir le problème de matériel didactique pour les salles de Travaux Pratiques et la faible intégration des outils technologiques dans l'apprentissage [47]. Comme réponse à toutes ces carences, l'état ivoirien a ouvert l'Université Virtuelle de Côte d'Ivoire (UVCI) qui dispense ses programmes essentiellement en ligne [48][49]. Créée en 2015, cette université avait pour but d'accompagner les universités ivoiriennes dans la mise en ligne de leur offre de formation et contenu pédagogique et ainsi apporter une réponse au problème de massification et de performance du système éducatif ivoirien. Avec un effectif de 11500 étudiants et accueillant en moyenne 4000 bacheliers par an, elle présente un taux de réussite de 56% [50] . Malgré tous ces efforts, l'offre des compétences proposées par les universités ivoiriennes n'est malheureusement pas adaptée au marché de l'emploi. En effet, selon une étude de l'Agence Française de Développement 68,47% des sortants du système éducatif ivoirien ayant obtenus un emploi dans une agence de placement ont un taux de sous-compétence plus élevé [16]. La problématique d'élaboration de programme éducatif adapté aux besoins du marché de l'emploi demeure encore aujourd'hui une préoccupation majeure pour le système éducatif ivoirien.

---

<sup>4</sup> Atelier de restitution et de validation des données statistiques 2018-2019 de l'enseignement supérieur en Côte d'Ivoire

Après ce diagnostic du système éducatif montrant la nécessité d'améliorer l'élaboration du programme éducatif ivoirien, nous présentons les pratiques pédagogiques mises en œuvre dans le système éducatif ivoirien.

#### 1.4.2 Évolution des pratiques pédagogiques dans le système éducatif Ivoirien

Avec pour perspective l'émergence, la Côte-d'Ivoire a initié de nombreuses réformes et études. L'application de cette politique dans le secteur éducation – formation se manifeste par la formation d'une main d'œuvre qualifiante et la diversion des secteurs de son économie. Dans cette optique, l'État ivoirien s'est régulièrement penché sur la question de la qualité de son système éducatif. Ainsi, l'ensemble des cycles (primaire – secondaire - supérieur) a connu plusieurs des évolutions dans les pratiques pédagogiques depuis les indépendances. En effet, de l'enseignement traditionnel hérité de la colonisation, les autorités optent successivement pour l'enseignement rénové (de 1963 à 1970), le Programme d'Education Télévisuelle (de 1971 à 1982) et les programmes de souveraineté (de 1982 à 2002). Elle opte pour les deux dernières périodes pour la Pédagogie Par Objectif (PPO) comme approche pédagogique. Cette approche pédagogique s'inspire des principes de découpage des tâches d'apprentissage caractéristiques du béhaviorisme et dont les modèles se réfèrent entre autres, des approches de Tyler [3][51][4] et de Gagne et Briggs [5] et de l'ensemble du courant de la pédagogie par objectifs (PPO) développée notamment à la suite des écrits de Bloom [1][2].

En PPO, le savoir est formulé en objectif général puis découpé en objectifs spécifiques pour lesquels le mode opératoire (comportement) et les moyens de la réalisation sont définis. L'enseignant définit l'objectif général puis les objectifs spécifiques, les opérations à effectuer et le temps d'apprentissage pour les atteindre [6]. Cette approche morcelée est centrée sur les connaissances à acquérir plutôt que sur les compétences des apprenants à développer. L'apprenant n'est pas au centre du processus d'apprentissage, mais soumis aux objectifs de l'enseignant. Il est aussi reproché à la PPO de trop morceler les connaissances en objectifs spécifiques au point que l'apprenant perd la finalité de l'apprentissage [52]. Après 2 décennies de PPO en Côte d'Ivoire, des problèmes majeurs ont été révélés : les contenus souvent inadaptés aux réalités ivoiriennes, les connaissances trop morcelées et une faible participation des apprenants [7][8]. Ainsi, après évaluation de la situation « états généraux de l'éducation », les autorités ont procédé, en 2002, à

une réforme du système éducatif en remplaçant la PPO par l'Approche Par Compétence (APC) [53][54]. Ce basculement à cette nouvelle approche pédagogique pour répondre aux problèmes rencontrés dans la mise en œuvre de la PPO.

Différemment de la PPO centrée sur la transmission des connaissances, l'APC se définit comme une approche d'apprentissage centré sur l'apprenant pour développer chez celui-ci, un savoir, savoir – faire, savoir – être et agir [55]. Cette approche pédagogique développe chez l'apprenant des compétences pour faire face à des situations réelles de la vie. L'enseignant joue alors un nouveau rôle, plutôt que son rôle de transmetteur de l'apprentissage, il en devient l'organisateur donnant ainsi la plénitude à l'apprenant cette capacité de construction de son apprentissage. Egalement l'APC favorise l'apprentissage en interaction avec les autres apprenants. Bien que cette approche pédagogique présente de nombreux avantages, il est clair que son application en Côte d'Ivoire demeure difficile [56][57]. Cette situation peut s'expliquer par de nombreuses situations notamment l'écart existant entre l'environnement d'apprentissage et l'environnement de production et l'indisponibilité de certaines matières d'œuvres nécessaires pour les travaux pratiques dans les ateliers d'apprentissage. Egalement au regard du faible taux d'insertion professionnel des apprenants sortant du système éducatif ivoirien et de l'inadéquation emploi – formation malgré l'adoption de cette approche pédagogique, l'élaboration et la mise à jour de programmes éducatif adaptés à ses réalités se veut un axe majeur de recherche pour apporter réponses aux difficultés rentrées dans la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence.

Après cette description de l'évolution des approches pédagogiques mises en œuvre dans système éducatif ivoirien, nous présenterons une comparaison de ces différentes approches pédagogiques et la contribution de l'approche pédagogique actuelle à savoir l'Approche Par Compétence dans l'élaboration des programmes éducatif.

#### **1.4.3 Comparaison entre Approche Par Objectif et Approche Par Compétence**

De manière générale, l'intégration de l'Approche Par Compétences dans les méthodes pédagogiques des systèmes éducatifs vise à aider les apprenants à maîtriser des connaissances et à développer des compétences qui leur permettront de continuer à apprendre tout au long de leur vie et de s'insérer dans la vie économique, sociale et culturelle. Le choix de baser l'élaboration des

programmes éducatifs sur cette approche découle de la volonté de résoudre les difficultés rencontrées dans les systèmes éducatifs, notamment en rendant le plan d'études plus accessible pour tous les acteurs impliqués et en assurant une cohérence dans la progression de l'apprentissage. Dans la littérature, de nombreux auteurs définissent cette approche pédagogique à la capacité de l'apprenant à mobiliser diverses ressources cognitives pour faire face à des situations singulières. Cette compréhension n'est pas partagée par certains auteurs tels que Perrenoud [58] et Djouimâa Nedjla [59] pour qui l'approche par compétences appelle à une reconstruction complète des dispositifs et des démarches de formation. Elle s'inspire des principes de la pédagogie par objectifs, une méthode classique qui consiste à diviser les connaissances à transmettre dans chaque discipline en une série d'objectifs à atteindre à chaque étape de la scolarité. La Pédagogie Par Objectif, qui trouve ses racines dans le béhaviorisme, vise à répondre à deux questions clés concernant l'apprentissage : quels sont les savoirs que les apprenants doivent acquérir à l'issue d'une activité d'apprentissage, et comment peut-on évaluer leur acquisition de ces connaissances ?

Différemment des anciennes approches pédagogiques avant elle, la PPO a mis l'apprenant au centre des préoccupations du système éducatif. Cependant, avec un contenu morcelé en de multiples micro – objectifs (objectif principal, objectifs secondaires, objectifs opérationnels), l'apprenant se retrouve dans une situation sans savoir le lien de son apprentissage avec la vie réelle.

Pour répondre à cette approche de l'apprentissage décontextualisée de toute réalité, centrée sur les savoirs, l'Approche Par Compétence propose un cadre de savoirs en construction dynamique, centré sur l'apprenant. L'Approche Par Compétence ne vise pas tant à transmettre une science ou des connaissances héritées, mais plutôt à placer l'apprenant dans une situation d'apprentissage concrète et réaliste. Ainsi, cette approche pédagogique mettant l'accent sur l'activité de l'apprenant favorise la transformation de la connaissance en compétence. Bien que les compétences soient définies comme étant une capacité d'agir, elles ne peuvent exister sans être construites sur des connaissances préalables, un savoir-faire, des comportements et des capacités intellectuelles et globales. Ces éléments forment les fondations nécessaires à l'acquisition de compétences, mais ils ne constituent pas la compétence en elle-même. L'approche par compétences soutient que l'apprentissage est plus efficace lorsque l'apprenant est activement engagé dans l'action, en lui offrant une situation de production concrète. Cette approche permet de fournir une vue d'ensemble des capacités et des connaissances requises pour accomplir une tâche donnée. Elle permet de

donner du sens à une situation d'apprentissage et permet à l'enseignant ou tuteur d'apporter une remédiation dans l'apprenant rencontre des difficultés dans la résolution d'une tâche. Et pour terminer, l'Approche Par Compétence crée un cadre pour le travail collaboratif. Dans ce contexte l'apprenant peut construire ses connaissances en interaction avec les autres apprenants. Différente de l'APC, la PPO est centrée sur l'acquisition des savoirs et savoir-faire négligeant l'acquisition des processus intellectuels. « Elle a comme porte d'entrée des comportements observables structurés, mais séparés les uns des autres, qui sont à développer chez les apprenants »

### **Etude comparative : Pédagogie Par Objectif (PPO) et Approche Par Compétence (APC)**

Cette étude comparative de la PPO et de l'APC va s'appuyer essentiellement sur les points suivants : l'introduction de l'activité d'apprentissage dans les deux approches pédagogiques, le rôle joué par l'enseignant ou tuteur pendant l'activité d'apprentissage, les différents constats effectués pendant le processus d'apprentissage pour chacune des approches pédagogiques, une description des travaux réalisés par les apprenants et pour terminer une critique de la méthodologie d'évaluation.

En Pédagogie Par Objectif, lors de l'introduction d'une activité d'apprentissage, l'enseignant ou le tuteur s'assure que les consignes de l'activité sont bien comprises par les apprenants, puis il commence par une phase préparatoire pour le travail ultérieur. Il procède ensuite à un rappel des notions précédemment enseignées avant de lancer l'activité. En revanche, en Approche par les Compétences, l'enseignant ou le tuteur introduit également l'activité, mais les apprenants sont invités à répondre aux questions posées par l'enseignant ou le tuteur et à réfléchir ensemble à la forme que prendra leur participation. Ils travaillent à définir les paramètres de la situation de communication, tels que qui prendra la parole, qui écrira, pour qui, pour dire quoi, où, etc.

En Pédagogie Par Objectif, l'enseignant ou le tuteur attire l'attention sur les erreurs, corrige certains énoncés et répond aux sollicitations des apprenants. Lorsque l'activité est terminée, les énoncés obtenus sont lus, commentés, corrigés, puis les travaux sont rangés. En Approche par les Compétences, l'enseignant ou le tuteur supervise l'avancement des travaux en gérant le temps et en rappelant régulièrement les objectifs. Il agit en tant que personne ressource pour aider, orienter et fournir des outils d'aide. Il intervient également en cas de conflit et procède à des régulations immédiates et ponctuelles. L'enseignant ou le tuteur note les lacunes qui nécessitent une remédiation plus approfondie ultérieurement.

En observant les résultats obtenus, on peut constater que la PPO permet de réaliser des tâches répondant à une consigne précise et mettant en jeu des connaissances et des compétences spécifiques. Toutefois, cette approche d'apprentissage est convergente, c'est-à-dire que tous les apprenants effectuent la même tâche dans les mêmes conditions, en suivant une consigne unique établie par l'enseignant. Cette approche est limitée à la sphère scolaire, ne garantissant pas l'acquisition de compétences transversales plus larges. En revanche, l'APC permet de développer des compétences disciplinaires à l'oral et à l'écrit, en mobilisant les savoirs et les savoir-faire pour résoudre une situation-problème significative. Elle favorise également le développement de compétences transversales telles que le travail en coopération avec des camarades, la mise en œuvre d'une méthode de travail appropriée à la réalisation de la tâche demandée et l'exercice de la pensée critique lors du débat autour des premières propositions. Les productions sont variées, et les apprenants sont pleinement impliqués dans le travail.

En ce qui concerne les exercices réalisés dans le cadre de la PPO, ils sont conservés dans les cahiers des apprenants. En revanche, pour l'APC, les travaux réalisés sont présentés publiquement. Chaque groupe présente son travail, qui est ensuite commenté et corrigé par les autres groupes. La mise au propre des travaux est prise en charge par chaque groupe, soit au cours d'une séance ultérieure en classe, soit en dehors de l'école. Les apprenants ont la liberté d'organiser ce travail de mise au propre, mais ils doivent respecter un contrat fixant la date de remise des travaux et les modalités de présentation. La finalisation des travaux peut se traduire par leur affichage en classe, dans la cour ou encore leur publication dans le journal scolaire.

En ce qui concerne l'évaluation, en PPO, si tous les élèves ont réussi l'exercice donné, l'enseignant ou le tuteur écrira une appréciation dans le cahier ou attribuera une note et planifiera un nouvel objectif pour le jour suivant. En revanche, si un grand nombre d'élèves ne réussit pas l'exercice, l'enseignant prévoira une révision et poursuivra les objectifs déjà planifiés pour le lendemain. En APC, pendant les activités, si l'enseignant ou le tuteur remarque des lacunes dans les connaissances non acquises, il ou elle fournira une aide immédiate aux apprenants concernés par ces erreurs ou planifiera une action de remédiation ciblée à court ou à long terme, en fonction de l'importance des erreurs identifiées.

Après cette étude comparative de la PPO et l'APC et leur contribution dans l'amélioration de la qualité d'apprentissage et leur singularité, nous présenterons l'apport des Q-Matrices dans la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence dans l'élaboration des programmes éducatif.

#### 1.4.4 Q-Matrices dans la mise en œuvre de l'Approche Par Compétences

La Q-Matrice établit la correspondance entre les tâches et les compétences et est un terme couramment utilisé dans la littérature sur en psychométrie et en ingénierie des connaissances. Cette relation entre les tâches et les compétences est décrite dans une matrice indicatrice dont les lignes correspondent aux items (tâches), les colonnes aux attributs, et des items binaires indiquant si un attribut est mesuré par un item (c'est-à-dire si la maîtrise d'un attribut est nécessaire pour réussir un item). Cette matrice est employée dans la plupart des modèles de diagnostics cognitifs couramment utilisés. L'élaboration et la validation de la Q-Matrice sont cruciales pour l'évaluation en éducation, mais représentent un défi en raison de l'impossibilité d'observer directement les relations véritables entre les tâches et les compétences. En général, la Q-Matrice est une matrice binaire qui décrit les relations entre les problèmes, les éléments, les tâches ou les exercices et les compétences associées. Lorsque des questions sont posées aux apprenants, la Q-Matrice indique quelles compétences sont requises pour y répondre.

De même que les Q-Matrices, l'Approche Par Compétence a pour objectif d'organiser de l'apprentissage autour du principe de l'acquisition de compétences. Les compétences visées sont généralement définies en termes de référentiel de compétences ou cartographie tâches - compétences, ce qui permet aux apprenants, de comprendre clairement ce qu'ils sont censés apprendre et comment ils seront évalués. En Approche Par Compétence, les activités d'apprentissage sont conçues pour que les apprenants puissent mettre en pratique les compétences qu'ils apprennent, par exemple en résolvant des problèmes, en travaillant en équipe, en prenant des décisions, en résistant à la pression, en communiquant efficacement.

Ces deux approches visent à structurer les connaissances de manière logique et hiérarchique, et à permettre aux apprenants de comprendre les relations entre les différents concepts étudiés. L'approche par compétence a pour but de favoriser chez les apprenants le développement de compétences transversales indispensables pour réussir dans le monde professionnel, telles que la pensée critique, la résolution de problèmes, la communication et la collaboration. Les Q-Matrices

peuvent être utilisées pour structurer les compétences à développer et pour identifier les connaissances et les compétences nécessaires pour atteindre ces objectifs. Les Q-Matrices peuvent également être utilisées pour évaluer les compétences des apprenants en vérifiant s'ils comprennent les concepts clés et les relations entre eux, et s'ils sont capables d'appliquer ces connaissances dans des situations réelles. Cette approche permet une évaluation plus globale de l'apprentissage, en tenant compte des compétences développées par les apprenants.

En somme, les Q-Matrices peuvent être utilisées comme un outil pour structurer les compétences, identifier les connaissances et les compétences nécessaires pour atteindre un objectif d'apprentissage et pour évaluer le niveau de connaissance des apprenants. Cette approche favorise un apprentissage plus significatif et plus adapté aux besoins des apprenants et de leur futur environnement professionnel.

Après avoir exploré l'apport des Q-Matrices dans l'application de l'Approche Par Compétence et par conséquent sa contribution à l'élaboration des programmes éducatifs cohérents, nous présenterons les problèmes rencontrés dans l'élaboration des Q-Matrices.

## **1.5 L'APC dans la formation de base et professionnelle en Côte d'Ivoire**

### **1.5.1 Dans la formation de base**

Le basculement à l'APC dans la formation de base en Côte d'Ivoire a été initié à la rentrée scolaire 2002 – 2003. De manière générale, l'adoption de cette nouvelle approche pédagogique viserait à apporter une réponse à l'amélioration de la qualité de la formation. Après une phase d'expérimentation de 2004 à 2005, elle est appliquée sur toute l'étendue du territoire. Malheureusement cette expérimentation intervenue dans le contexte de la crise militaro-politique de 2002 a été mise en œuvre à un moment où le pays était divisé en deux parties. Comme conséquence de cette situation, des personnes non qualifiées assuraient les enseignements dans cette partie du pays. Cependant, certains facteurs mettent en difficulté la mise en œuvre de cette approche pédagogique. En effet l'insuffisance de manuels pédagogiques et le manque de communication entre les acteurs du système éducatif, a compliqué la mise en œuvre des actions prévues. Également dans un contexte de crise militaro-politique, la mise en œuvre de la réforme a été financée à partir de ressources locales. Néanmoins, entre 2000 et 2003, des activités d'appropriation de cette nouvelle approche pédagogique sont menées pour proposer apporter une

réponse aux difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence [54]. Ainsi les autorités ont jugé satisfaisant le niveau d'appropriation de cette approche pour autoriser sa généralisation. Les chercheurs du réseau ouest et centre africain de recherche en éducation (ROCARE), ont jugé malheureusement insuffisant l'appropriation de cette approche pédagogique estimant qu'il n'y ait pas eu d'évaluation de cette activité d'expérimentation de l'APC dans l'éducation de base. Ce point de vue s'est avéré vrai car la faiblesse de la communication entre les partenaires et en particulier avec les enseignants a entraîné une résistance au changement et par conséquent une faible appropriation de la réforme. En plus, l'environnement sociopolitique difficile dans lequel la réforme a été mise en place et expérimentée n'a pas favorisé son évolution. Toutes ces faiblesses ont conduit les autorités à proposer un recadrage en novembre 2009.

Les exemples évoqués précédemment mettent en évidence la mise en œuvre de l'Approche par Compétences (APC) dans l'éducation de base dans plusieurs pays africains, dont la Côte d'Ivoire. Cependant, l'APC semble être hors de portée pour les pays d'Afrique subsaharienne, comme le souligne l'analyse de Weva [60] dans une étude synthétique sur la généralisation des réformes menées sous l'égide de l'Association pour le développement de l'éducation en Afrique (ADEA). Ce qui ressort des articles examinés, c'est l'incapacité des pays à adapter l'APC à leur environnement. Dans le cadre de la mise en œuvre de ces projets de réforme, de nombreuses initiatives sont en cours dans de nombreux pays afin d'obtenir des résultats probants.

### 1.5.2 Dans la formation professionnelle

L'implémentation de l'Approche par les Compétences (APC) dans les pays d'Afrique Sub-Saharienne a révélé des défis sur divers fronts. Ces difficultés incluent notamment des problèmes liés à la gestion de la réforme, au manque de ressources financières, à une diffusion inadéquate des documents pédagogiques, à un déficit de formation des enseignants, à une prise en compte insuffisante des aspects didactiques, ainsi qu'à une communication lacunaire avec les partenaires de l'éducation. Globalement, l'APC est mise en œuvre dans un contexte africain qui n'a pas été suffisamment pris en considération lors de son déploiement. Sur la base de ces observations, Bernard et *al.*, [61] avancent que l'APC en Afrique représente une notion conceptuelle idéalisée. Selon les auteurs, il est compréhensible que les écoles africaines abordent cette expérience de l'APC avec beaucoup de réserves, étant donné les nombreuses difficultés rencontrées dans sa mise

en œuvre. En effet, l'Approche par les Compétences (APC) en Afrique est souvent critiquée pour sa forme importée, inspirée du modèle de formation nord - américain. Cette importation pose des problèmes d'adaptation aux réalités locales et culturelles, ce qui rend son implémentation difficile et suscite des débats sur sa pertinence et son efficacité dans le contexte africain.

Elle requiert des ressources financières considérables et demande un engagement intellectuel important, ce qui est parfois incompatible avec les ressources disponibles en Afrique. Effectivement, l'implémentation de l'Approche par les Compétences (APC) en Afrique nécessite des ressources financières importantes ainsi qu'un engagement intellectuel soutenu. Cependant, ces exigences peuvent être incompatibles avec les ressources limitées disponibles dans de nombreux pays africains, ce qui constitue un défi majeur pour la mise en œuvre réussie de l'APC sur le continent. De ce point de vue l'adoption de l'APC sur le terrain s'avère décevante par rapport à ses promesses initiales. Cette opinion est également partagée par [13] soulignant d'ailleurs que l'avenir de la réforme en APC reste incertain. Les études mentionnées ci-dessus dressent un constat des difficultés rencontrées par les pays africains spécifiquement en Côte d'Ivoire dans la mise en œuvre de l'Approche par les Compétences (APC). Cette situation conduit Roegiers [62] à affirmer que cette mise en œuvre est entravée par la nécessité d'harmoniser certes de nouveaux principes mais plus précisément les contenus d'apprentissage.

## **1.6 Problèmes rencontrés dans l'élaboration des Q-Matrices**

Nous avons à la section 1.4.4, présenté l'apport des Q-Matrices dans l'élaboration des programmes éducatifs. L'utilisation des Q-Matrices dans le processus d'élaboration des programmes éducatif présente de nombreux avantages pour le secteur éducation – formation et peut s'intégrer dans les pratiques quotidiennes des acteurs du système éducatif. Il convient toutefois de noter que le processus d'élaboration des Q-Matrices ne prend pas en compte des facteurs tels que certains facteurs liés au processus d'apprentissage notamment la redondance des tâches. Malheureusement, leur utilisation n'est pas encore courante dans le système éducatif ivoirien, même si elles pourraient apporter des avantages considérables dans l'application de l'Approche Par Compétence.

En plus des problèmes évoqués ci-dessus, de nombreux problèmes sont rencontrés dans l'élaboration des Q-Matrices parmi lesquels on peut citer :

- La redondance des tâches de prérequis dans la cartographie tâches - compétences peut constituer des biais dans l'élaboration de programmes éducatifs cohérents ;
- La performance des modèles de diagnostic cognitif (CDM) repose fortement sur la qualité de la Q-Matrice pour l'évaluation cognitive des apprenants malheureusement s'appuient essentiellement sur les analyses qualitatives de réponses des apprenants ;
- Les Q-Matrices actuelles s'appuient fortement sur les programmes éducatifs existants et la performance des apprenants omettant certaines variables telles que le contexte socio – économique de l'apprenant, famille et social et même les préférences de l'apprenant. La plupart du temps, les seules données de performances de l'apprenant ne suffisent pas pour garantir une Q-Matrice pertinente ;

Face aux problèmes récurrents de performance du système éducatif, la problématique de la d'élaboration de programme éducatif cohérent et pertinent demeure. De plus l'élaboration des Q-Matrices se basant uniquement sur les programmes éducatifs existants et les données de performances de l'apprenant se présente comme une limite pour l'efficacité du système d'apprentissage. En effet, pour répondre aux Objectifs de Développement Durable (ODD) notamment celui de l'accès à une éducation de qualité et aux recommandation de l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO), la proposition d'une offre de formation de qualité se présente comme une obligation pour toutes les couches sociales. Cette performance du système éducatif attendu devrait tenir compte du statut socio – économique.

## **1.7 Conclusion partielle**

Dans le présent chapitre, nous avons présenté d'abord, un historique des Q-Matrices, ensuite exploré une description de l'intérêt de l'élaboration des Q-Matrices, effectué un diagnostic du système éducatif ivoirien, puis exploré l'apport des Q-Matrices dans l'application de l'Approche Par Compétence et enfin relevé quelques problèmes rencontrés dans l'élaboration des Q-Matrices. En ce qui concerne les Q-Matrices, nous avons présenté la théorie de base à savoir la théorie de l'espace des règles de Kikumi Tatsuoka. Pour ce qui concerne, le diagnostic du système éducatif

et des pratiques pédagogiques mises en œuvre jusqu'au aujourd'hui, nous avons abordé la Pédagogie Par Objectif et l'Approche Par Compétence. L'élaboration des programmes éducatifs cohérents et pertinents fait l'objet de notre thèse. Pour ce qui concerne les problèmes liés aux Q-Matrices, nous en avons relevé plusieurs dont les plus significatifs pour nous, et qui font l'objet de notre analyse sont l'inexistence de Q-Matrice relative au contexte éducatif ivoirien, la redondance des tâches de prérequis dans les cartographies « tâches – compétences ». Le prochain chapitre portera sur une analyse de la littérature concernant ces diverses notions.

CHAPITRE 2 : **METHODES**  
**ET TECHNIQUES D'ELABORATION**  
**D'UNE Q-MATRICE**

Sommaire

---

2.1 INTRODUCTION .....	27
2.2 EVALUATION COGNITIVE DE L'APPRENANT.....	27
2.3 Q-MATRICE ET REGROUPEMENT D'ITEMS ÉDUCATIFS .....	31
2.4 FACTORISATION MATRICIELLE ET APPRENTISSAGE MACHINE .....	40
2.5 MÉTHODES D'ÉVALUATION .....	42
2.6 CONCLUSION PARTIELLE .....	46

---

## **2.1 Introduction**

L'élaboration d'une Q-Matrice constitue une étape cruciale dans le processus d'évaluation cognitive de l'apprenant. Cette démarche vise à faciliter la mise en relation de tâches – compétences pour mesurer le niveau de compréhension et d'application des apprenants. En d'autres termes, la Q-Matrice offre un cadre stratégique permettant de formuler des questions pertinentes et graduées, favorisant ainsi une évaluation précise des connaissances et des compétences.

Le chapitre est organisé en cinq grandes sections. Dans la section 2.2 intitulée « Evaluation cognitive de l'apprenant », nous explorerons les principes fondamentaux sous-tendant l'évaluation cognitive de l'apprenant et spécifiquement la contribution des Q-Matrices dans la pertinence des Modèles de Diagnostic Cognitifs. La section 2.3 « Méthodes de regroupement d'items éducatifs » présente particulièrement les méthodes de regroupement d'items éducatifs et un état de l'art sur cette méthode. La section 2.4 « Factorisation matricielle et apprentissage machine » présente le lien systématique entre la technique de Factorisation Matricielle et les techniques d'apprentissage machine. La section 2.5 « Méthodes d'évaluation » présente ensuite les différentes métriques d'évaluation matricielle pouvant être utilisées pour évaluer la pertinence des modèles de regroupement d'items éducatifs.

## **2.2 Evaluation cognitive de l'apprenant**

L'évaluation diagnostique cognitive également appelée en anglais « Cognitive Diagnostic Assessment (CDA) » est conçue pour mesurer des structures de connaissances et compétences de l'apprenant afin de fournir des informations sur ses forces et faiblesses cognitives. Ce sont des approches utilisées dans les sciences psychologiques, éducatives et comportementales [63][64]. L'objectif des méthodes d'évaluation diagnostique cognitive de l'apprenant est d'améliorer l'apprentissage en fournissant aux enseignants les informations nécessaires pour adapter leur stratégie d'apprentissage et de leur permettre d'apporter l'intervention corrective appropriée [65][66]. Ces approches permettent de favoriser l'engagement des apprenants et aident à l'élaboration de programmes éducatifs pertinents et cohérents [67].

Dans la littérature, les modèles d'évaluation cognitive de l'apprenant s'appuient sur les modèles de diagnostic cognitif « Cognitive Diagnostic Model (CDM) ». Les CDM sont des

modèles confirmatoires multidimensionnels probabilistes qui incluent des variables latentes avec une structure de charge pouvant être simple ou complexe [68]. Ces modèles de diagnostic évaluent le niveau de compétence d'un apprenant en utilisant des probabilités pour chaque attribut individuel ou classe latente, ce qui les qualifie de modèles de probabilistes [69].

Les Modèles de Diagnostic Cognitif sont des modèles psychométriques qui visent à évaluer les apprenants en fonction de leur niveau de maîtrise d'une compétence ou des attributs latents spécifiés, qui peuvent être classés comme conjonctifs ou disjonctifs, ou de la même manière, compensatoires ou non - compensatoires [70][71]. Différemment des modèles unidimensionnels se basant sur la Théorie Réponse aux Items (IRT), les Cognitive Diagnostic Model (CDM) permettent la classification des apprenants sur plusieurs variables catégorielles latentes [72]. Les variables latentes désignent des caractéristiques qui ne sont pas directement observables telles que les compétences, les capacités ou les croyances erronées chez un apprenant évalué à l'aide d'un test ou d'un instrument de mesure. Dans la littérature ces variables latentes également appelées attributs ou traits latents, sont des caractéristiques non observables notamment les compétences, le niveau de vie des parents, l'implication des parents dans l'apprentissage [73].

Au fil des dernières décennies, différents modèles de variables latentes ont été proposés, comprenant à la fois des modèles spécifiques (Deterministic Input, Noisy "and" Gate, DINA) [74][75][76], des cadres généralisés (log-linear cognitive diagnostic model, LCDM) [77] et des modèles hiérarchiques (Hierarchical diagnostic classification model) [78][79]. Les CDM conjonctifs (ou non compensatoires) couramment utilisés sont les suivants [80] :

- Modèle à Entrée Déterministe, bruité et porte également ;
- Modèle à entrées bruitées, déterministe et porte ;
- Modèle unifié reparamétré.

Les CDM disjonctifs (ou compensatoires) bien connus sont le modèle d'entrée déterministe, bruité-ou-porte (DINO), le modèle d'entrées bruitées, déterministe-ou-porte (NIDO), et le RUM compensatoire [81]. De nombreux CDM peuvent être considérés comme des cas particuliers de certains modèles plus généralisés, tels que le modèle DINA généralisé [82][83], le modèle de diagnostic général (General Diagnostic Model) et le modèle log-linéaire cognitif (LCDM) [84].

L'élaboration de Modèles de Diagnostic Cognitif s'appuie généralement sur quatre (4) étapes majeures à savoir :

1. L'étape de définition d'attribut, dans cette étape un ensemble d'attributs ou tâches sous-jacentes à la maîtrise d'une compétence est défini par les experts en la matière.
2. L'étape de mise en relation des tâches – compétences également appelée l'étape de construction de la Q-Matrice dans laquelle les attributs ou tâches requis pour la maîtrise de chaque item / compétences sont spécifiées.
3. L'étape d'analyse des données, à cette étape un modèle de Diagnostic Cognitif choisi est appliqué pour obtenir l'estimation de maîtrise d'un apprenant par rapport à chaque attribut requis.
4. Et pour terminer, l'étape de diagnostic ou d'élaboration du rapport de niveau de maîtrise des attributs requis par les apprenants afin de permettre aux enseignants d'orienter l'apprentissage et aux experts du système éducatif de mieux élaborer les programmes d'enseignement.

Parmi ces quatre (4) étapes, l'étape de la construction de la Q-Matrice est l'étape la plus importante car nécessaire à une bonne identification des attributs latents mesurés par chaque item. Elle se veut par ailleurs, l'élément central pour déterminer la précision de l'évaluation des connaissances d'un apprenant et la qualité de l'information diagnostique qui est utilisé pour l'assainissement individuel [85]. Les différentes étapes d'élaboration de la Q-Matrice sont présentées à la figure 2.

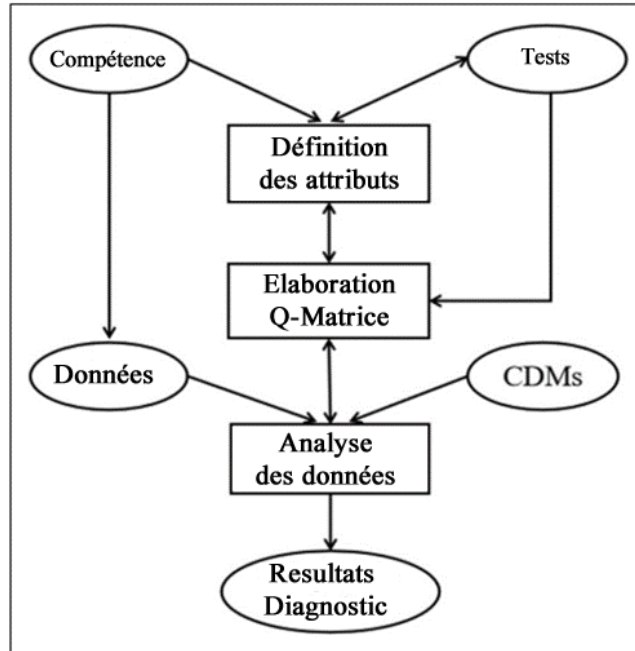


Figure 2 : Procédures d'évaluation diagnostique cognitive.

A cet effet, une Q-Matrice est la cartographie de mise en relation d'item - compétences [86]. Elle est matérialisée par une matrice binaire dont les lignes représentent les tâches / items et les colonnes les compétences et dont les valeurs sont 1 ou 0 indiquant respectivement la maîtrise ou la non-maîtrise par les apprenants d'un certain attribut où  $q_{jk} = 1$  signifie que la compétence  $k$  est impliquée dans la réponse correcte à la tâche  $j$  dans la réalisation ou l'accomplissement correcte de la tâche, sinon,  $q_{jk} = 0$  [87].

Les Modèles de Diagnostic Cognitifs utilisent les Q-Matrices pour définir les spécifications tâches (item) par attribut (compétence) [88][89]. Cette activité de spécification de tâches par compétence nécessaires à la maîtrise d'une compétence ou de mise en relation de tâches - compétences, aussi appelée Q-Matrice vise à mettre à disposition des acteurs du monde éducatif un référentiel de compétences qui se présente sous forme de cartographie métier-compétences ou de tâches - compétences [90][91]. Dans cette activité d'élaboration cartographie de tâches – compétences, si toutes les compétences spécifiées sont requises pour la maîtrise d'une tâche, la Q-Matrice est alors étiquetée conjonctive. Si par contre seulement une des compétences requises est suffisante pour la maîtrise de la tâche, alors cette Q-Maitrise est étiquetée disjonctive [92][93].

De nombreuses études ont montré qu'une erreur de spécification dans le processus d'élaboration de la Q-Matrice peut impacter le modèle de diagnostic cognitif, [94][39][95]. De ce fait, l'élaboration de la Q-Matrice requiert une main-d'œuvre qualifiée et une expertise importantes [90][91]. Par ailleurs, le processus d'élaboration de la Q-Matrice s'appuie principalement sur deux étapes fondamentales, une étape dite provisoire basée sur le jugement des experts du domaine et les techniques d'analyse d'items et une deuxième étape dite validation s'appuyant sur des modèles de diagnostic cognitif et des techniques statistiques pour confirmation de la Q-Matrice proposée par les Experts du domaine. A cet effet, restituer fidèlement les spécificités d'un test cognitif dans le processus de mise en relation des tâches et des compétences sous-jacentes se veut une étape fondamentale pour garantir cohérence et la pertinence de la Q-Matrice [96]. Egalement la scénarisation pédagogique, l'une des tâches importantes dans le processus d'élaboration de l'apprentissage requiert parfois cette cartographie des tâches - compétences. Toutefois, cette tâche de mise en relation des tâches - compétences ou de regroupement d'items éducatifs demeure une activité complexe vu la grande quantité des données éducatives tant dans les environnements classiques d'apprentissage que dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain. A cet effet, pour Barnes *et al.*, and Cen *et al.*, [37][97] regrouper des items éducatifs est une tâche notoirement difficile.

## **2.3 Q-Matrice et regroupement d'items éducatifs**

### 2.3.1 Technique de regroupement des items

Le regroupement et la classification sont deux tâches fondamentales dans le Data Mining. La classification est principalement utilisée comme méthode d'apprentissage supervisé, le regroupement pour l'apprentissage non supervisé (certains modèles de regroupement sont pour les deux). L'objectif du regroupement est descriptif, celui de la classification est prédictif [98]. Puisque le but du regroupement est de découvrir un nouvel ensemble de catégories, les nouveaux groupes sont intéressants en eux-mêmes et leur évaluation est intrinsèque. Dans les tâches de classification, cependant, une partie importante de l'évaluation est extrinsèque, puisque les groupes doivent refléter un ensemble de classes de référence. Contrairement à la classification supervisée, où l'on nous donne des motifs étiquetés dans la classification non supervisée aucune étiquette n'est attribuée.

Le terme « regroupement » est utilisé dans plusieurs communautés de recherche pour décrire les méthodes de regroupement de données non étiquetées. Le regroupement est une technique d'apprentissage automatique importante pour explorer les données des apprenants afin de soutenir le décideur et les activités éducatives telles que les devoirs de groupe. Il existe différentes méthodes pour regrouper les objets notamment la méthode hiérarchique et la méthode non hiérarchique.

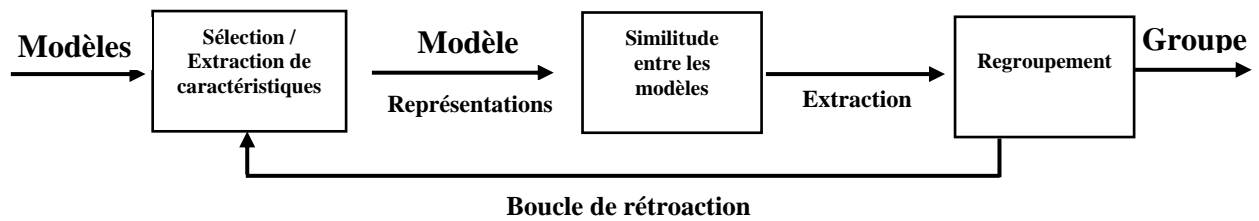


Figure 3 : Les étapes du regroupement [99]

### 2.3.1.1 Représentation du modèle

La représentation des modèles dans le contexte du regroupement se réfère à un ensemble de caractéristiques telles que le nombre de classes, le nombre de modèles disponibles, ainsi que le nombre, le type et l'échelle des fonctionnalités disponibles pour l'algorithme. Il est important de noter que certaines de ces informations peuvent échapper au contrôle du praticien. La sélection des fonctionnalités consiste à identifier le sous-ensemble le plus efficace des fonctionnalités d'origine qui seront utilisées dans le regroupement. L'extraction de caractéristiques, quant à elle, consiste à utiliser une ou plusieurs transformations des caractéristiques d'entrée pour produire de nouvelles caractéristiques saillantes. Dans certains cas, l'une ou l'autre de ces techniques peut être utilisée pour obtenir un ensemble approprié de fonctionnalités à utiliser dans le regroupement, tandis que dans d'autres cas, les deux techniques peuvent être utilisées conjointement.

### 2.3.1.2 Extraction des données

L'extraction des données est le procédé qui permet de créer une représentation concise et simplifiée d'un ensemble de données. Cette simplification peut être effectuée dans un but d'analyse

automatisée, de sorte que les machines puissent traiter les données plus efficacement, ou dans le but de rendre la représentation plus accessible et compréhensible pour les êtres humains. Dans le cadre du Clustering, l'abstraction de données se traduit généralement par une description succincte de chaque cluster, qui est souvent formulée en termes de prototypes de cluster ou de modèles représentatifs, tels que le centroïde. L'extraction de données dans le contexte du Clustering implique la récupération d'informations pertinentes à partir des résultats d'une analyse de regroupement de données. Le clustering est une méthode d'analyse de données qui vise à identifier des observations similaires et à les regrouper en clusters (ou groupes) en fonction de leurs caractéristiques communes.

### 2.3.1.3 Regroupement

Il existe plusieurs méthodes pour effectuer l'étape de regroupement. Les algorithmes de regroupement hiérarchique produisent une série de partitions imbriquées basées sur un critère de fusion ou de séparation des clusters basé sur la similarité. Les algorithmes de regroupement partitionnel ou regroupement non hiérarchique cherchent à identifier la partition optimale qui répond à un critère de regroupement, généralement de manière locale. Des techniques supplémentaires telles que les méthodes de regroupement probabiliste [100] et la théorie des graphes [101] peuvent également être utilisées pour l'opération de regroupement.

Fraley et Raftery ont proposé une classification des techniques de regroupement en deux groupes distincts : les techniques hiérarchiques et de partitionnement [102]. En outre, Sisodia et *al.*, [103] ont identifié trois autres catégories pour l'application des techniques de regroupement : les méthodes basées sur la densité, les méthodes basées sur les modèles et les méthodes basées sur la grille, comme indiqué dans leur ouvrage. Une alternative de classification basée sur l'induction des différentes approches de regroupement a également été présentée par Castro et ses collaborateurs [104]. Néanmoins, il est important que les utilisateurs choisissent judicieusement le nombre de groupes dans lesquels l'ensemble de données doit être divisé, en utilisant des approches telles que l'heuristique, l'essai et l'erreur ou l'évolutionnaire. La précision de la division sera alors évaluée en fonction de la distance intra-groupe, et si le nombre de groupes est bien choisi, la précision sera élevée, sinon elle peut être faible. La figure ci - dessous illustre la taxonomie des approches de regroupement proposée par Fraley et Raftery.

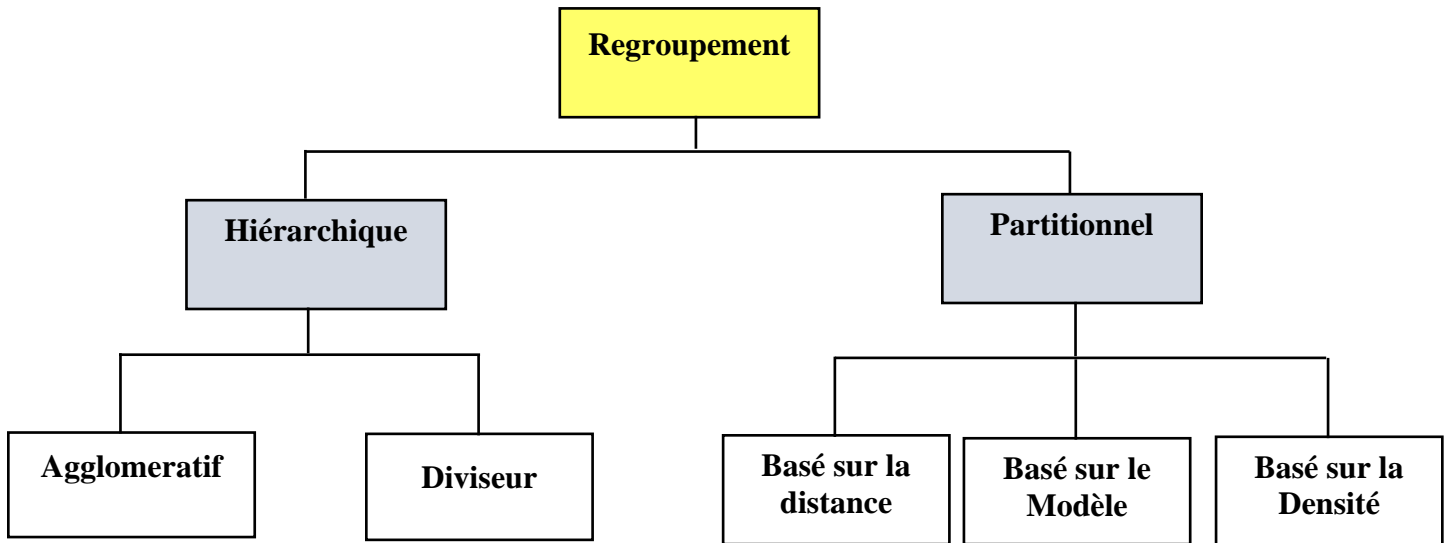


Figure 4 : Taxonomie des approches de regroupement (modifiée [102])

#### 2.3.1.3.1 Hiérarchique

Dans les méthodes de regroupement hiérarchique, les clusters sont formés en divisant de manière itérative les modèles à l'aide d'une approche descendante ou ascendante. Il existe deux formes de méthode hiérarchique, à savoir le regroupement hiérarchique agglomératif et diviseur [32]. L'agglomération suit l'approche ascendante, qui construit des clusters en commençant par un seul objet, puis en fusionnant ces clusters atomiques en clusters de plus en plus grands, jusqu'à ce que tous les objets se trouvent finalement dans un seul cluster ou autrement jusqu'à ce que certaines conditions de terminaison soient satisfaites. Le regroupement hiérarchique diviseur suit l'approche descendante, qui décompose le cluster contenant tous les objets en clusters plus petits, jusqu'à ce que chaque objet forme un cluster par lui-même ou jusqu'à ce qu'il satisfasse certaines conditions de terminaison.

#### 2.3.1.3.2 Partitionnel

Le regroupement partitionnel est une méthode de clustering qui diffère du regroupement hiérarchique. Contrairement à ce dernier, il ne crée pas de structure hiérarchique entre les clusters. Au lieu de cela, les données sont réparties en  $K$  clusters distincts en optimisant une fonction de critère. Le critère le plus fréquemment utilisé dans cette méthode est la distance euclidienne, qui

calcule la distance minimale entre les points de chaque cluster disponible et attribue ensuite le point au cluster correspondant. Les algorithmes étudiés dans cette catégorie comprennent notamment : k-means, PAM, CLARA, CLARANS, Fuzzy C-means, DBSCAN, etc. La Figure 5 illustre l'approche de clustering partitionnel.

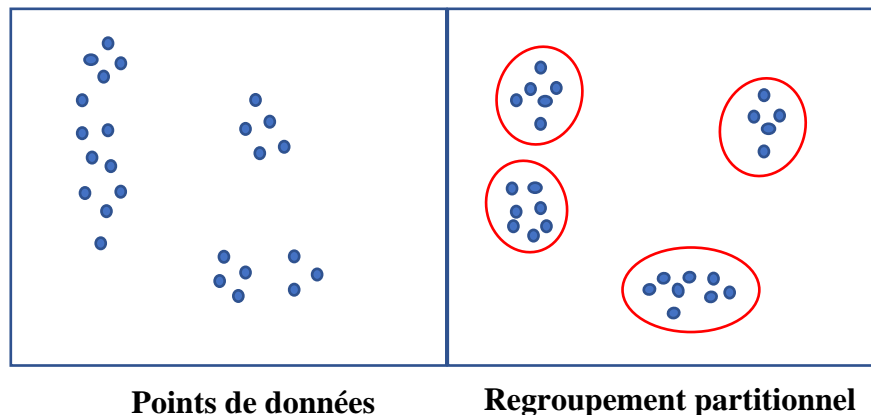


Figure 5 : Approches de regroupement partitionnel [105]

### 2.3.2 Méthodes de regroupement d'items éducatifs

L'exploration de données éducatives également appelée en anglais Educational Data Mining (EDM) est un domaine interdisciplinaire qui utilise des méthodes d'apprentissage automatique, de sciences cognitives, d'exploration de données, de statistiques et de psychométrie. L'objectif principal de l'EDM est de construire des modèles et des outils informatiques pour découvrir des connaissances en explorant des données issues de contextes éducatifs. Ces techniques s'appuient généralement sur les performances des apprenants pour l'élaboration des cartographies tâches - compétences. Elles étudient les données et l'analysent dans l'éducation, l'enseignement et l'apprentissage, suggérant des priorités éducatives et entreprenant des recherches de haute qualité sur les modèles, les méthodes, les technologies, et l'impact de l'analyse.

Dans la littérature associée, il existe deux grandes approches pour la mise en relation de tâches - compétences : les approches basées sur les modèles et celles basées sur les mesures de similarité [106]. Les approches utilisant les mesures de similarité sont basées sur l'hypothèse que les apprenants auront tendance à avoir des performances similaires sur les items (tâches) nécessitant la même compétence cherchant ainsi à identifier la similarité entre des paires d'item.

Ces approches calculent d'abord la similarité pour chaque paire d'item. Ensuite, le résultat obtenu peut être utilisé pour regrouper les items. A cet effet, Choi et *al.*, [107] ont identifié dans une étude, une centaine de mesures de similarités par domaine de compétence. Il ressort de cette étude, une forte corrélation entre les mesures de similarité déjà existantes. La précision de l'élaboration de la cartographie tâche – compétences est étroitement liée au choix de la mesure de similarité. Les résultats des travaux de Choi et *al.*, [107] démontrent également que les mesures de similarité étudiées sont essentiellement appliquées aux domaines de la biologie, en ethnologie, en taxonomie, en recherche d'images, en géologie, en chimie, en écologie et autres. Cependant cette enquête sur les mesures de similarités ne présente pas de mesures de similarité appliquées au domaine de l'éducation.

Dans ce contexte, les auteurs J. Řihák et R. Pelánek, ont identifié six (6) mesures de similarité mises en œuvre dans le contexte éducatif [108]. Les résultats de leurs travaux ont montré que les mesures de Pearson, Yule et Cohen donnaient des résultats nettement meilleurs que les mesures d'Ochiai, Sokal et Jaccard en termes de découverte de compétences.

De manière générale, les mesures de similarité visent à analyser les données de performance des apprenants et à améliorer la mise en correspondance des items – compétences. Toutefois dans le contexte éducatif, cette approche suppose implicitement que les performances des apprenants sur des items appartenant à la compétence devraient être similaires. Pour T. Nazaretsky et *al.*, [109] cette hypothèse n'est valable que si le trait latent (maîtrise de la compétence sous-jacente) est relativement fixe au cours de l'activité d'apprentissage des apprenants (évaluation formative ou sommative).

Comme réponse à cette situation sur les mesures de similarité, T. Nazaretsky et *al.*, [109] proposent une nouvelle mesure de similarité appelée Kappa Learning. Elle identifie la similitude entre les items sous l'hypothèse d'introduire la notion d'apprentissage dans les mesures de similarité, à savoir que la maîtrise des apprenants des compétences sous-jacentes change à mesure qu'ils progressent dans les items. Les résultats de Kappa Learning surpassent significativement les mesures de similarité proposées par les auteurs J. Řihák et R. Pelánek [108]. Elle capture explicitement la notion d'« apprentissage », à savoir le changement du trait latent (maîtrise du concept par l'apprenant). Cela se fait en étendant la notion d'« accord » dans la formule de base Kappa de Cohen.

Différemment des approches basées sur les mesures de similarité dont la taille des données est jugée critique pour le succès de l'analyse automatique des relations entre les items, les approches basées sur les modèles réduisent la dimensionnalité du problème et tentent de déduire les facteurs latents (tâches, compétences) qui sous-tendent les items.

Dans ce contexte, S. Lakshmi Prabha et *al.*, [110] proposent un modèle d'Analyse de Facteurs d'Apprentissage également appelée en anglais Learning Factor Analyse (LFA), modèle combinant les techniques statistiques, l'expertise humaine et la recherche combinatoire pour évaluer et améliorer les modèles cognitifs mais surtout à l'exploration des données éducatives. Les auteurs ont analysé l'utilisation de la méthode LFA dans la modélisation des connaissances des apprenants dans l'enseignement des mathématiques à partir des métadonnées de l'apprenant. La méthode permet entre autres de mesurer la difficulté et les taux d'apprentissage des composantes de connaissances, prédire les performances des apprenants dans la pratique de chaque composant de connaissance (Knowledge Components ou KC) et pour terminer d'identifier les KC sur-pratiqués ou sous-pratiqués.

Dans le même contexte que les LFA, une autre technique pour le regroupement d'items éducatifs, en occurrence la Factorisation Matricielle, a été utilisée par N. Thai-Nghe et *al.*, [111] pour prédire la performance des apprenants dans les Systèmes Tutoriels Intelligents. La Factorisation Matricielle est une technique largement utilisée dans de nombreux domaines plus particulièrement dans les e-commerces. Cette technique utilisée à la base dans les systèmes de recommandation est proposée par ces auteurs dans le contexte de l'éducation spécifiquement pour la prédiction des performances des apprenants. Contrairement aux environnements d'e-commerce dans lesquelles la technique de Factorisation Matricielle rencontre des difficultés de démarrage à froid ce qui implique un réentraînement du modèle en permanence, la technique de Factorisation Matricielle réagit plutôt différemment pour la prédiction de la performance des apprenants car les nouveaux apprenants et les nouvelles tâches (ou cours) n'apparaissent qu'à chaque trimestre/semestre. Cependant cette technique de FM proposée par ces auteurs N. Thai-Nghe et *al.*, ne prédit que la performance des apprenants.

D'autres alternatives viables pour le regroupement d'items éducatifs se basant toujours sur la technique de Factorisation Matricielle sont proposées. Jingu Kim et Haesun Park proposent la méthode SNMF (Sparse Nonnegative Matrix Factorization) [112]. Des contraintes de parcimonies

sont introduites à la Nonnegative Matrix Factorization pour améliorer cette technique et donner naissance à la SNMF (Sparse Nonnegative Matrix Factorization). Cette technique de Factorisation Matricielle donne de meilleurs résultats pour le regroupement d'items éducatifs comparée à certaines techniques déjà existantes telle que la technique de regroupement K-Means [112]. Différemment de la parcimonie introduite par ces auteurs dans la technique NMF (Nonnegative Matrix Factorization), B. Beheshti et M. Desmarais [113] proposent d'introduire des contraintes d'ordre partiel dans la factorisation matricielle. Ils s'appuient sur l'hypothèse que si une tâche difficile est réussie, une tâche plus facile devrait l'être également. Une autre technique de factorisation matricielle toujours basée sur la technique NMF est proposée par M. Desmarais et *al.*, [114]. Cette technique s'appuie sur l'hypothèse que toute compétence requise manquante entraînera un échec à la tâche. La NMF (Non-Negative Matrix Factorization) s'est avérée efficace pour les tâches à compétence unique d'où le besoin de tenir compte des tâches à compétences multiples dans la mise en relation tâches – compétences.

Dans cette perspective, de nouvelles techniques de factorisation matricielle sont proposées pour améliorer et répondre aux limites de la NMF. La technique de factorisation Alternative des Moindres Carrés (ALS) pour répondre aux problèmes de solutions uniques et de minima locaux. Pour remédier à ces problèmes, M. Desmarais et Rhouma Naceur [115] proposent la mise en relation tâches – compétences en s'appuyant sur une Q-Matrice proposée par les experts du domaine. Pour les auteurs, la Q-Matrice prédite après minimisation divergera le moins possible de la matrice initiale, rendant ainsi la comparaison avec la Q-Matrice de l'expert et son amélioration plus réalisable.

En plus de ces techniques de regroupement d'items éducatifs basées sur la factorisation matricielle, de nouvelles approches intègrent outre la technique de factorisation matricielle, les approches de regroupement d'items basées sur les mesures de similarité. Ainsi Khadidja et *al.*, [116] proposent une nouvelle approche de regroupement d'items éducatifs pour optimiser la cartographie tâches-compétences à partir de données de réponse des apprenants à l'aide du coefficient de Pearson pénalisé et d'auto-encodeurs profonds.

Cependant toutes ces approches basées sur les mesures de similarité et sur les modèles rencontrent une limite majeure. En effet elles n'exploitent que la performance de l'apprenant en vue de la mise en relation des tâches et compétences. Par ailleurs la technique de Factorisation

Matricielle a rencontré plusieurs améliorations telles que : MRMF (Multi- Relational Matrix Factorization) [117], WMRMF (Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [118], So - WMRMF (Social Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [119], Emo - WMRMF (Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [118], SoEmo - WMRMF (Socio - Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [120]. Ces approches en règle générale essaient de tirer parti de plusieurs relations du domaine.

### 2.3.3 Limites des modèles de regroupement d'items éducatifs

Ces travaux analysés dans la revue de littérature ont montré que les approches de regroupement d'items éducatifs basées sur les mesures de similarité comme sur les modèles s'appuient essentiellement sur les données de performances des apprenants. Les approches basées sur les modèles s'appuyant pour la plupart sur la technique de Factorisation Matricielle sont juste utilisées pour la prédiction de la performance des apprenants. Cependant, dans le contexte de l'élaboration des cartographies tâches – compétences, les travaux sur la technique de Factorisation Matricielle présentent quelques limites que nous présentons :

- Prédire une Q-Matrice en s'appuyant la technique de Factorisation Matricielle exige l'existence d'une Q-Matrice élaborée par des Experts du domaine. A cet effet, cette phase de mise en relation de tâches – compétences par les Experts nécessite une phase de validation pour garantir la pertinence et la cohérence de la cartographie tâches - compétences.
- Dans la littérature, la technique de Factorisation Matricielle intégrant plusieurs relations de domaine à savoir la Factorisation Matricielle Multi – Relationnelle Pondérée (WMRMF) ne prédit que la performance des apprenants. En effet, cette technique de FM, intégrant les relations « apprenant effectue tâche » et « apprenant a des acquis » ne prédit malheureusement pas la relation « tâche requiert compétence », cette dernière relation étant la cartographie entre les tâches et les compétences. La méthode de Factorisation Matricielle proposée par Desmarais et *al.*, [121] pour le regroupement d'items éducatifs exploite uniquement la relation « apprenants effectue tâche ». Cette méthode n'intègre pas d'autres relations de domaines dans la prédiction de la Q-Matrice ;

- Les méthodes de regroupement d'items éducatifs se basant sur les mesures de similarité s'appuient sur l'hypothèse que les apprenants auront tendance à avoir des performances similaires sur des tâches nécessitant la même compétence. Cette limite se matérialise dans le processus d'apprentissage par la redondance des tâches dans la cartographie tâches – compétences mais également le nombre de demande d'aide dans la résolution de certaines tâches. Ainsi l'élaboration de cartographie intégrant des facteurs pouvant répondre à cette problématique peut affiner la cartographie tâches – compétences et ainsi aider à la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence.

## **2.4 Factorisation Matricielle et Apprentissage Machine**

Les techniques de Factorisation Matricielle rencontrent un intérêt particulier dans le domaine de l'Apprentissage automatique « Machine Learning » et se présentent comme une approche d'apprentissage non supervisé pour la décomposition des variables latentes. Elle est couramment utilisée pour résoudre des problèmes de recommandation, de regroupement et de décomposition de données. La factorisation matricielle consiste à décomposer une matrice en plusieurs matrices plus petites et plus simples, qui peuvent être utilisées pour représenter la matrice d'origine de manière plus compacte et efficace. Cette technique est particulièrement utile pour les matrices de grande taille, où la représentation complète de la matrice peut être trop volumineuse pour être stockée ou analysée efficacement.

Dans le contexte de la recommandation, la factorisation matricielle est utilisée pour prédire les préférences des utilisateurs pour les articles ou les produits en se basant sur des données d'historique des utilisateurs. Les algorithmes de recommandation basés sur la factorisation matricielle utilisent des matrices de préférences utilisateur-produit et de caractéristiques produit. Ces matrices peuvent être décomposées en plusieurs matrices plus petites qui permettent de prédire les préférences des utilisateurs pour les produits qu'ils n'ont pas encore achetés. Pour ce qui concerne le regroupement, la factorisation matricielle est utilisée pour réduire la dimensionnalité des données et pour identifier des groupes de données similaires.

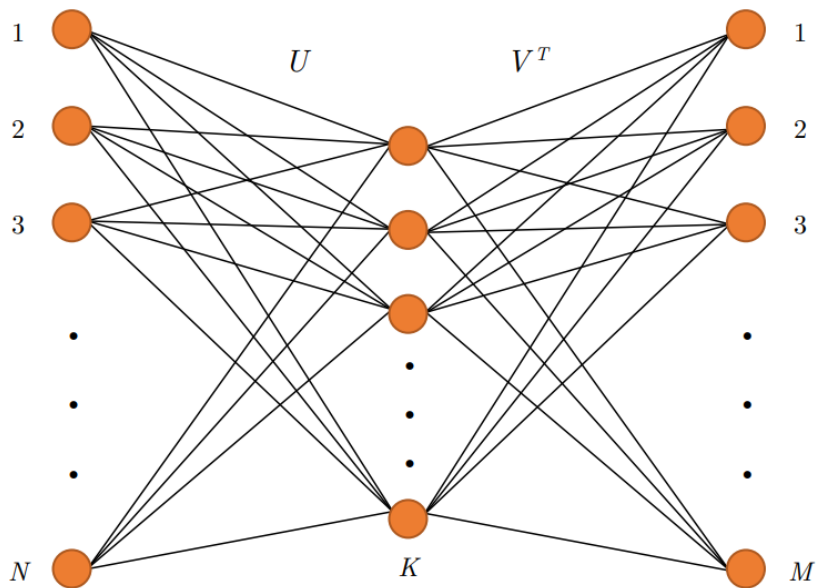


Figure 6 : Modèle de factorisation matricielle de réseau de neurones (modifiée [122]).

Les données peuvent être représentées sous forme de matrice de caractéristiques (latentes), qui peut ensuite être décomposée en plusieurs matrices plus simples qui peuvent être utilisées pour regrouper les données. En somme, la factorisation matricielle est une technique puissante pour réduire la complexité des données et faciliter l'analyse. Elle est utilisée dans de nombreux domaines de l'apprentissage machine pour résoudre des problèmes tels que la recommandation, le Clustering et la décomposition de données.

Le modèle de Factorisation Matricielle peut être assimilé à un modèle de Réseau de Neurones à plusieurs couches dans le cadre de l'apprentissage machine. Le réseau comporte  $N$  entrées,  $K$  nœuds cachés,  $M$  sorties et utilise des fonctions d'activation d'identité pour tous les neurones. Les caractéristiques latentes  $U_u$  pour chaque apprenant  $u$  (composées des éléments  $U_{uk}$ ) représentent les poids reliant la  $u$ -ième entrée au  $k$ -ième neurone caché. De même, les caractéristiques latentes  $V_i$  pour chaque item (composées des éléments  $V_{ki}$ ) représentent les poids reliant le  $k$ -ième neurone caché au  $i$ -ième neurone de sortie. Afin de prédire la note qu'un apprenant  $i$  attribuerait à un article  $j$ , ou de déterminer la sortie pour une paire  $(i, j)$  telle que décrite dans l'équation ci-dessous par proposée par Yehuda Koren et *al.*, [123],

$$r_{ij} = u_i \cdot v_j^T \quad (01)$$

il est possible d'activer le neurone d'entrée correspondant à l'utilisateur  $i$  en lui assignant une valeur de 1, tout en désactivant tous les autres neurones en leur attribuant une valeur de 0. Dans ce cas de figure, la descente de gradient stochastique correspond à l'entraînement du réseau par l'algorithme de rétropropagation en ligne (avec régularisation) en utilisant l'équation (1). Le réseau peut être modifié de plusieurs façons, par exemple, en ajoutant des biais d'apprenant et d'item de base à chaque nœud d'entrée et de sortie respectivement [124] et en employant des fonctions d'activation non linéaires (par exemple sigmoïde) dans la couche d'entrée et de sortie.

## 2.5 Méthodes d'évaluation

Après l'étape de formulation de l'élaboration de la Q-Matrice et l'algorithme de résolution choisi, une étape s'avère très importante : celle de la sélection et de la validation de modèles. Cette étape consiste à construire un ensemble de modèles à partir d'un ensemble de paramètres et à les comparer les uns aux autres d'une façon adaptée afin d'obtenir le modèle qui donne les meilleures performances au sens d'une métrique donnée. Nous présentons dans cette section, des choix communément faits quant à l'optimisation des modèles (valeurs de paramètres qui optimisent le modèle), à la méthode d'évaluation et à la métrique de comparaison.

### 2.5.1 Choix des hyperparamètres du modèle

En Factorisation Matricielle, l'optimisation du modèle consiste à choisir un ensemble de paramètres optimaux qui permettent d'améliorer les performances du modèle sur un ensemble de données de validation donné. Cela implique de sélectionner les valeurs optimales de ces paramètres afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles. Plusieurs méthodes se présentent pour procéder à cette recherche, mais la méthode la plus répandue est la recherche par grille [125]. Elle implique de sélectionner une valeur pour chaque hyperparamètre, soit arbitrairement soit en se basant sur une connaissance préalable des données, pour construire un modèle pour chaque combinaison de valeurs sélectionnées. En ce qui concerne le nombre de facteurs latents  $K$ , il est souvent choisi de manière plus ou moins automatisée

### 2.5.2 Méthodes d'évaluation

Dans les approches de regroupement ou de prédiction, l'évaluation des performances d'un modèle se fait généralement à partir du taux d'erreur. Le modèle tente de prédire la classe ou la valeur de chaque instance de test, et s'il réussit, cela est considéré comme une prédiction exacte, tandis qu'une prédiction erronée est considérée comme un échec. Le taux d'erreur est calculé comme étant la proportion d'erreurs effectuées sur l'ensemble total des instances, et il reflète ainsi les performances globales du modèle [126]. L'utilisation de l'ensemble de la base d'apprentissage pour évaluer les performances d'un modèle prédictif n'est pas un bon indicateur de la qualité de ce modèle. En effet, si le modèle est capable de prédire avec une grande précision les données de la base d'apprentissage, cela ne garantit pas qu'il sera capable de généraliser correctement à de nouvelles données qui n'ont pas été utilisées pour l'entraînement. Un tel modèle est dit sur-ajusté, car il est trop complexe et spécifique à la base d'apprentissage, et ne peut pas être généralisé à de nouvelles données. Le sur-ajustement ou sur-apprentissage correspond à un apprentissage basé sur la mémorisation de toutes les données, également appelé "apprentissage par cœur". Bien qu'un modèle sur-ajusté à un ensemble de données puisse présenter d'excellentes performances sur cet ensemble, il ne sera pas représentatif pour prédire sur d'autres ensembles de données de la même source [127]. Pour résoudre, limiter ou détecter ce type de problème, la technique de Validation Croisée, également connue sous le nom de "Cross Validation" ou "CV" en anglais, est souvent utilisée [128]. La Validation Croisée est une méthode permettant d'évaluer la capacité de généralisation des modèles prédictifs à travers un ré-échantillonnage des données [129]. Pour ce faire, elle utilise une partie de l'ensemble des données pour adapter le modèle, et une autre partie pour le tester. Les données sont divisées en  $k$  parties, ou "folds" en anglais, de taille approximativement égale. Chacune des  $k$  parties est utilisée à tour de rôle comme échantillon de test, tandis que les  $k - 1$  parties restantes sont utilisées comme échantillon d'entraînement pour l'algorithme. La méthode est expliquée en détail dans l'illustration de la figure ci-dessous.

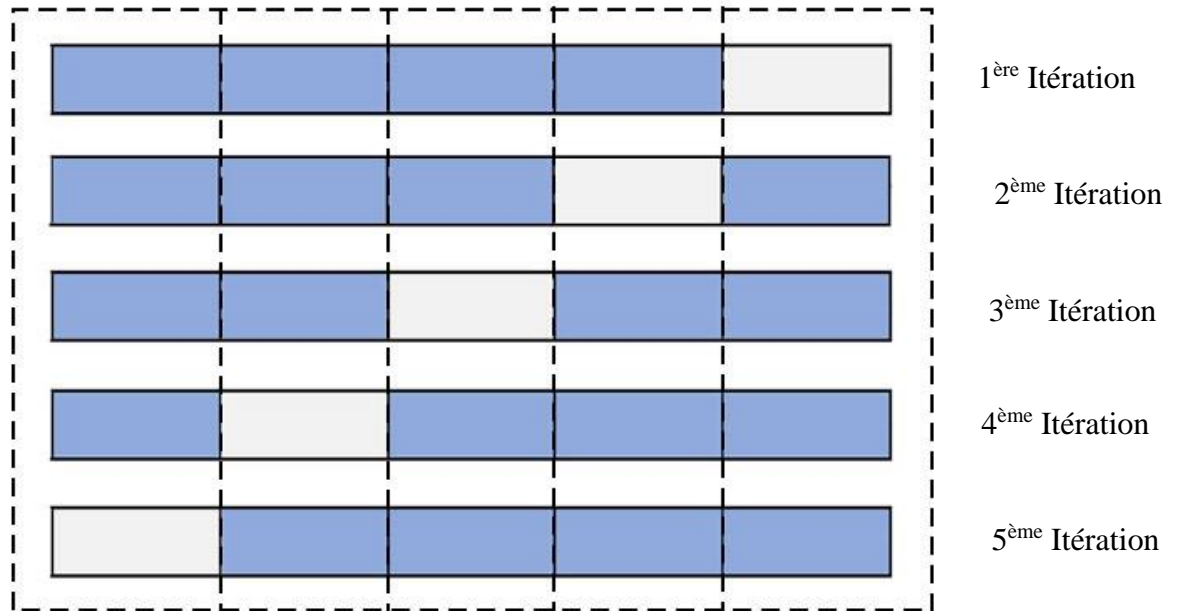


Figure 7 : Exemple de Validation croisée à 4 Folds [130].

Dans cet exemple, les données sont partitionnées en cinq (5) ensembles distincts. Chaque observation est incluse dans l'ensemble d'apprentissage ou dans l'ensemble de test. Après avoir effectué cinq (5) étapes d'apprentissage, l'erreur de prédiction estimée du modèle est calculée en moyennant les 5 erreurs quadratiques moyennes obtenues à chaque étape d'apprentissage. Dans cette thèse, l'évaluation des différents algorithmes proposés dans le cadre de la factorisation matricielle s'est faite à l'aide de la technique de validation croisée afin d'éviter les problèmes de sur - apprentissage.

### 2.5.3 Métriques d'évaluation des algorithmes de Factorisation Matricielle

Dans le domaine de l'apprentissage automatique, les métriques d'évaluation sont employées pour évaluer la performance d'un modèle ou algorithme dans sa capacité à prédire de manière précise les valeurs de notation connues des utilisateurs. Pour ce faire, ces métriques comparent les notes correctes issues des données de test avec les notes prédites par le modèle, en se basant sur les données d'apprentissage. Il existe dans la littérature différentes métriques d'évaluation disponibles pour effectuer cette analyse, chacune ayant ses avantages et inconvénients en fonction du contexte d'utilisation et des objectifs spécifiques de la tâche à accomplir [131][132]. La

pertinence chaque métrique dépend des propriétés spécifiques de l'ensemble de données et du type de tâche appliqué au modèle de factorisation matricielle [133]. En général, pour les problèmes liés à l'approximation ou à la complétion, l'erreur quadratique RMSE (Root-Mean-Square Error) ou l'erreur absolue MAE (Mean Absolute Error) sont souvent choisies comme métriques de prédiction.

❖ Erreur absolue MAE

Soient  $\hat{p}_{si}$  les tâches prédites par le système pour un ensemble de test  $D^{test}$  composé de couple tâches - compétences  $(s,i)$  et dont les notations véritablement connues sont notées  $p_{si}$ . Notons qu'en règle générale, les  $p_{si}$  sont connus. L'erreur absolue moyenne MAE est calculée en faisant la moyenne de l'écart absolu entre les valeurs de notations réelles et les valeurs de notation prédites. Cette expression est calculée de la manière suivante [134][135]:

$$MAE = \frac{1}{|D^{test}|} \sum_{(r,s,i) \in D^{test}} |p_{si} - \hat{p}_{si}| \quad (02)$$

❖ L'Erreur Quadratique Moyenne RMSE

L'erreur quadratique moyenne (RMSE) a été utilisée comme mesure statistique standard pour mesurer la performance des modèles dans les études de recherche sur la météorologie, la qualité de l'air et le climat. C'est une métrique couramment utilisée pour évaluer la précision des modèles de prédiction. Cette métrique mesure la différence entre les tâches prédites et les tâches réelles (proposées par les experts). Elle est donnée sous la forme suivante [136][137]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{(r,s,i) \in D^{test}} (p_{si} - \hat{p}_{si})^2}{|D^{test}|}} \quad (03)$$

## ❖ Comparaison des métriques RMSE et MAE

La métrique RMSE est plus sévère envers les grandes erreurs que MAE, car elle met plus de poids sur les erreurs plus importantes. Cela est dû au fait que dans la métrique RMSE, les erreurs sont élevées au carré, alors qu'elles sont mises à l'échelle linéairement dans MAE. Par conséquent, une erreur de 10 est 100 fois pire qu'une erreur de 1 dans RMSE, alors qu'elle est seulement 10 fois pire dans MAE. Cependant, l'utilisation de RMSE évite l'utilisation de la valeur absolue, qui peut être indésirable dans de nombreux calculs mathématiques. En outre, dans l'apprentissage de données, la somme des erreurs quadratiques est souvent utilisée comme fonction coût à minimiser lors de l'ajustement des paramètres du modèle. Dans ce contexte, pénaliser les erreurs importantes avec des termes de moindres carrés est très efficace pour améliorer les performances du modèle, comme cela est démontré dans cette thèse. T. Chai et R. Draxler [138] soutiennent que la métrique RMSE est plus adaptée pour évaluer les performances d'un modèle que la métrique MAE.

Ainsi, pour évaluer les performances de nos modèles de Factorisation Matricielle présentés dans cette thèse, nous avons utilisé la métrique RMSE. Une petite erreur RMSE indique une meilleure performance du modèle proposé.

## **2.6 Conclusion partielle**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principes fondamentaux sous-tendant l'évaluation cognitive plus particulièrement les principes de base sur les techniques de regroupement de items éducatifs. Nous avons présenté un état de l'art sur les techniques de Factorisation Matricielle qui ont montré leur efficacité en matière de prédiction des cartographies « tâches – compétences ». Nous avons abordé par ailleurs, les différentes métriques et méthodes d'évaluations utilisées pour optimiser ces approches. La revue exhaustive des travaux existants sur les approches de Factorisation Matricielle révèle que la prédominance des travaux dans ce domaine est principalement axée sur la prédiction des performances des apprenants. Les seules études existantes utilisant cette technique pour la prédiction de la Q-Matrice reposent exclusivement sur une Q-Matrice établie par les experts du domaine. Malheureusement dans le contexte du système éducatif ivoirien, aucune cartographie « tâches – compétences » n'a encore été proposée par les experts. Les techniques de FM, devraient non seulement intégrer les capacités cognitives mais aussi les acquis des apprenants afin de mieux affiner la prédiction des Q-Matrices et par conséquent

améliorer les curricula. Par conséquent, les chapitres qui suivent exposent nos contributions visant à améliorer la prédiction des Q-Matrices en exploitant diverses relations dans le domaine.

**CHAPITRE 3 : PROPOSITION D’UN CADRE  
MÉTHODOLOGIQUE POUR  
L’ÉLABORATION DE LA Q-MATRICE  
DANS LE CONTEXTE ÉDUCATIF  
IVOIRIEN**

Sommaire

---

3.1 INTRODUCTION .....	49
3.2 ETAT DE L’ART.....	49
3.3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE PROPOSÉE .....	51
3.3 HIÉRARCHISATION DES TÂCHES – COMPÉTENCES PROPOSÉES PAR LES EXPERTS .....	59
3.4 VALIDATION DE LA Q-MATRICE DES EXPERTS .....	60
3.5 EVALUATION DE L’APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE PROPOSÉE .....	61
3.4 RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	65
3.5 CONCLUSION PARTIELLE .....	67

---

### **3.1 Introduction**

L'amélioration de la qualité de l'apprentissage a constamment constitué une préoccupation pour le secteur éducation - formation [139]. Celle – ci s'est manifestée dans de nombreuses situations par l'élaboration de programmes d'enseignement adaptés aux réalités socio – économiques. Dans la littérature, de nombreux travaux ont montré que l'élaboration des curricula plus spécifiquement des contenus d'apprentissage en lien avec les compétences visées améliore significativement la performance des apprenants. Dans cette perspective, des méthodes pour l'élaboration des cartographies « tâches – compétences » sont proposées par des auteurs tels que Redondo [140] et Hidayat [141]. La cartographie « tâches – compétences » également appelée Q-Matrice est une représentation standard utilisée en psychométrie pour spécifier les relations entre les tâches et les compétences [142]. Son élaboration contribue certes à améliorer les programmes d'enseignement mais surtout à aider à la détermination du niveau d'acquisition de compétences de l'apprenant à la compréhension de son comportement et de son parcours d'apprentissage [143]. Elle permet surtout d'aider à l'évaluation des systèmes d'apprentissage. Malheureusement, les récentes évaluations du système éducatifs Ivoirien montrent les difficultés rencontrées par celui-ci tant au niveau de l'insertion socioprofessionnelle des apprenants que dans la maîtrise des compétences proposées par les experts du domaine. L'élaboration précise et efficace de cette cartographie requiert une expertise approfondie et une compréhension fine des dynamiques éducatives spécifiques. Par conséquent, elle demeure une problématique majeure pour le monde éducatif. Cette lacune nous a motivés à proposer une démarche méthodologique pour l'élaboration de la cartographies « tâches – compétences » et son expérimentation dans la discipline des mathématiques. Plus précisément, dans cette contribution nous proposons un cadre méthodologique pour l'élaboration de cartographies « tâches – compétences » dans le contexte éducatif ivoirien.

### **3.2 Etat de l'art**

De nombreuses études ont montré l'importance des outils d'élaboration de cartographies « tâches – compétences » dans l'évaluation cognitive des apprenants [144][145]. Ces outils demeurent une préoccupation substantielle dans le domaine de la recherche, car ils facilitent la révision des programmes d'enseignement, contribuant ainsi à l'amélioration de la performance des apprenants. Dans la littérature associée, il existe une grande variété de travaux liés à l'élaboration de cartographies « tâches – compétences ». Ces travaux s'articulent principalement autour des

orientations suivantes : la définition et l'identification des tâches et des compétences [146], la construction et la validation des dites cartographies [147][148], la proposition d'algorithmes et de modèles d'estimation pour la prédiction des cartographies [90], les travaux relatifs à l'application pratique et l'implémentation des dites cartographies [86], ainsi que les travaux sur les études de fiabilité et de validité des contenus d'apprentissages [149]. Celles-ci sont étroitement liées. En effet, la définition des compétences influe sur la construction des cartographies « tâches – compétences », qui, à son tour, affecte les algorithmes d'estimation [150]. Les applications pratiques fournissent des données essentielles pour les études de fiabilité et de validité, lesquelles peuvent conduire à des ajustements à chaque étape du processus [31]. Ce lien garantit une approche cohérente et rigoureuse dans l'élaboration et l'application des cartographies « tâches – compétences ». Cette démarche a souvent fait objet de méthodologie par de nombreux auteurs dans l'élaboration de cartographies « tâches – compétences ».

Dans ce contexte, Alavi et Ranjbaran [151] ont proposé une technique pour l'élaboration de cartographie « tâches – compétences » en s'appuyant sur la méthodologie suivante : utilisation de compétences identifiées pour construire des tâches (20) d'apprentissages, ensuite validation des dites tâches par les experts, puis évaluation (tests, QCM) des apprenants pour une collecte de données quantitatives et qualitatives sur la base des jugements des experts et pour terminer l'utilisation d'un modèle de diagnostic cognitif pour analyser les données et diagnostiquer les forces et faiblesses des participants. Les résultats suggèrent que neuf (9) compétences majeures sont impliquées dans la maîtrise des 20 tâches d'apprentissages. D'autres travaux comme ceux réalisés dans [152] abordent les défis de l'élaboration des cartographies « tâches – compétences » en proposant des solutions pour améliorer la précision et l'efficacité de la mise en relation des tâches et compétences. Dans [153], les auteurs ont abordé la nécessité de comprendre et de modéliser les processus cognitifs qui influencent la performance des participants à l'aide d'une cartographie « tâches – compétences ». Pour cela, ils ont également adopté une méthodologie similaire. La méthodologie présentée s'appuie sur 5 étapes à savoir la spécification des attributs cognitifs, la construction et la validation de la cartographie « tâches – compétences », l'utilisation d'un modèle généralisé à entrées déterministes et portes "et" bruitées (G-DINA) pour évaluer la capacité de la cartographie « tâches – compétences » à capturer les processus cognitifs sous-jacents et pour terminer l'interprétation des résultats obtenus. Il ressort malheureusement que la majeure partie des travaux de la littérature ne s'appuient que les données de performances et des acquis des

apprenants pour l'élaboration des cartographies « tâches – compétences ». Ces données issues uniquement des apprenants fournissent une perspective limitée, souvent centrée sur les résultats de tests ou d'examens. Cette démarche néglige d'autres dimensions essentielles de l'apprentissage, telles que le niveau d'adhésion et l'indice de satisfaction d'un enseignant dans l'accomplissement des différentes tâches d'apprentissage. Pour répondre à cette problématique, Garcia-Ramirez et Bijelic [154] suggèrent une évaluation des enseignants visant à optimiser l'organisation des activités académiques, telles que l'enseignement, la recherche et les tâches administratives. S'appuyant sur les travaux de Jacobs [155], ils proposent une métrique pour évaluer le degré d'affinité et le score de satisfaction d'un enseignant vis-à-vis d'une activité académique. Cette démarche n'est souvent pas prise en compte dans le cadre méthodologique proposé pour l'élaboration des cartographies « tâches – compétences ». Par conséquent, dans ce papier, nous proposons d'étendre cette technique au contexte de l'élaboration des cartographies « tâches-compétences ». Plus précisément, nous intégrons les données de performances des enseignants dans la phase de construction et de validation de la cartographie « tâches-compétences ».

La section suivante présente les différentes étapes de l'élaboration de la cartographie « tâches-compétences » par les experts du domaine. Cette démarche commence par l'identification des compétences à partir des guides et programmes fournis par le Ministère de l'Education Nationale et de l'Alphabétisation (MENA). Ensuite, l'étape de l'élaboration des tâches sous-jacentes aux compétences identifiées, et enfin elle aborde la mise en relation des compétences identifiées avec les tâches sous-jacentes élaborées.

### **3.3 Approche méthodologique proposée**

L'élaboration de contenu d'apprentissage est un processus important pour une évaluation pertinente en éducation. En effet, celle-ci permet de proposer des contenus en lien avec les compétences attendues dans le cadre d'une formation d'une part et d'autre part présenter clairement le lien entre les tâches et compétences. Elle essaie de répondre à la problématique de l'inadéquation emploi – formation et se présente comme l'un des leviers de mise à jour des programmes d'apprentissages. Dans le cadre de nos travaux, nous nous appuyons sur le programme pédagogique et le guide d'application fourni par le Ministère de l'Education Nationale et de l'Alphabétisation de Côte d'Ivoire à tous les enseignants en contexte d'apprentissage. Ce programme et guide définit, pour tous les niveaux d'enseignement, le profil de sortie, le champ

disciplinaire, le régime pédagogique et il présente le corps du programme disciplinaire. Le corps du programme est décomposé en plusieurs éléments : la compétence, le thème, la leçon, un exemple de situation d'application du cours et le contenu pédagogique. Dans cette étude, nous avons utilisé les leçons suivantes : limites et continuité, extension de la notion de limite et dérivation.

### **3.3.1 Programme éducatif et guide d'exécution**

#### **3.3.1.1 Présentation**

Les programmes éducatifs et leurs guides d'exécution sont des outils pédagogiques mis à la disposition de la communauté éducative en général et aux enseignants en particulier par le Ministère de l'Éducation Nationale et de l'Alphabétisation. Ces programmes et guides d'exécutions, utilisés pour l'enseignement de base, sont le fruit d'un travail de longue haleine au cours duquel différentes contributions ont été mises à profit en vue de leur réalisation. Au titre de ces contributions, on peut citer celles des experts nationaux (Inspecteurs Généraux de l'Education Nationale, Inspecteurs de l'Enseignement Secondaire et Conseillers pédagogique) venus de différents horizons du pays et celles de Monsieur Philippe JONNAERT, Professeur titulaire de la Chaire UNESCO en Développement de Curricula de l'Université du Québec (Montréal) pour l'accompagnement dans le recadrage des programmes éducatifs.

Les programmes et guides d'exécutions, en la version 2021 – 2022<sup>5</sup>, présentent une entrée dans les apprentissages par des situations d'apprentissage en vue de développer des compétences chez l'apprenant en lui offrant la possibilité de construire, avec lui, le sens de ce qu'il apprend. Une situation, dans l'Approche Par Compétences (APC) est un ensemble de circonstances contextualisées dans lesquelles peut se retrouver une personne. Lorsqu'un apprenant traite avec succès la situation en mobilisant diverses ressources ou habilités, elle développe des compétences : on dit alors qu'elle est compétente. La situation n'est donc pas une fin en soi, mais plutôt un moyen qui permet de développer des compétences, ainsi un apprenant ne peut être décrété compétente à priori.

---

<sup>5</sup> Programme éducatif ivoirien : [https://dpfc-ci.net/?page\\_id=283](https://dpfc-ci.net/?page_id=283)

Chaque programme définit pour tous les ordres d'enseignement, le profil de sortie, le domaine disciplinaire (Mathématiques, Physique-Chimie, Français, ...) le régime pédagogique et il présente le corps du programme de la discipline. Le corps du programme est décliné en plusieurs éléments qui sont :

- La compétence ;
- Le thème ;
- La leçon ;
- Un exemple de situation ;
- Un tableau à deux colonnes comportant respectivement :
  - Les habiletés : elles correspondent aux plus petites unités cognitives attendues de l'élève au terme d'un apprentissage ;
  - Les contenus d'enseignement : ce sont les notions à faire acquérir aux élèves.

Les disciplines du programme sont regroupées en cinq grands domaines qui sont :

- Le **Domaine des langues** comprenant le Français, l'Anglais, l'Espagnol et l'Allemand ;
- Le **Domaine des sciences et technologie** regroupant les Mathématiques, la Physique-Chimie, les Sciences de la Vie et de la Terre et les TICE ;
- Le **Domaine de l'univers social** concernant l'Histoire-Géographie, l'Éducation aux Droits de l'Homme et à la Citoyenneté et la Philosophie ;
- Le **Domaine des arts** comportant les Arts Plastiques et l'Éducation Musicale ;
- Le **Domaine du développement éducatif, physique et sportif** prenant en compte l'Éducation Physique et Sportive.

Toutes ces disciplines concourent à la réalisation d'un seul objectif final, celui de la formation intégrale de la personnalité de l'apprenant. L'exploitation optimale des programmes recadrés nécessite le recours à une pédagogie fondée sur la participation active de l'élève, le passage du rôle de l'enseignant, de celui de dispensateur des connaissances vers celui d'accompagnateur de l'élève.

### 3.3.1.2 Programme et guide d'exécution Mathématiques Première D

La discipline Mathématique, du domaine des sciences, est celle qui fait l'objet de l'étude dans cette thèse. Le programme de mathématiques du niveau première D comporte 3 compétences, 7 thèmes et 15 leçons tel que présenté par le tableau 1.

Tableau 1 : Récapitulatif du programme de Mathématique, niveau première D

COMPÉTENCE 1	Thème 1 : Calculs Algébriques	Leçon 1.1 : Equations et inéquations du second degré dans IR
		Leçon 1.2 : Equations dans $\text{IR}^2$ et dans $\text{IR}^3$
	Thème 2 : Fonctions	Leçon 1.3 : Généralités sur les fonctions
		Leçon 1.4 : Limites et continuité.
		Leçon 1.5 : Dérivation
		Leçon 1.6 : Extension de la notion de limite
		Leçon 1.7 : Etude et représentation graphique d'une fonction
		Leçon 1.8 : suites numériques
COMPÉTENCE 2	Thème 1 : Organisation et traitement des données	Leçon 2.1 : Statistique à une variable
	Thème 2 : Modélisation d'un phénomène aléatoire	Leçon 2.2 : Dénombrement
		Leçon 2.3 : Probabilité
COMPÉTENCE 3	Thème 1 : Géométrie du plan	Leçon 3.1 : Barycentre
		Leçon 3.2 : Angles orientés et trigonométrie
	Thème 2 : Géométrie dans l'espace	Leçon 3.3 : Orthogonalité dans l'espace
	Thème 3 : Transformation du plan	Leçon 3.4 : Composées de transformations du plan

Ce programme est mis en œuvre pendant une année académique. En Côte d'Ivoire, l'année académique est organisée en trois (3) trimestres. Notre enquête scolaire s'est déroulée pendant le premier trimestre.

### 3.3.2 Présentation de la zone d'étude

Don d'un opérateur économique Libanais du nom de *MOUSTAPHA AHMAD KHALIL*, le Lycée Moderne KHALIL de Daloa est un établissement secondaire public d'enseignement général de la Direction Régionale de l'Education Nationale et de l'Alphabétisation de Daloa (*DRENA*). Il est situé à l'entrée du quartier Gbokora, sur l'axe Daloa-Vavoua. Construit en 1998 pour servir

initialement d'école primaire, il restera inexploité jusqu'en 2003 en raison de sa situation géographique. Cependant, pour résorber le grand flux d'élèves déplacés dû à la crise militaro-politique de septembre 2002, il ouvre ses portes pour servir comme d'établissement Relais en 2003, avant d'être reconnu en 2006 comme Lycée Moderne KHALIL de Daloa avec pour premier proviseur monsieur HUE BI VAMI. Le Lycée Moderne KHALIL de Daloa est bâti sur une superficie de quatre (04) hectares abritant neuf (09) bâtiments et des infrastructures sportives. Cet établissement compte à ce jour un effectif de trois mille sept cent soixante-huit (3768) élèves repartis en cinquante-huit (58) classes pédagogiques. Il compte cent (100) enseignants et trente-cinq (35) personnels non enseignants. L'établissement a pour devise *Travail- Persévérance- Réussite*. Monsieur AKROU Koffi en est l'actuel proviseur. Il est par ailleurs, le coordonnateur des chefs d'établissement du publique de la région du Haut Sassandra. Le Lycée Moderne Khalil en ce jour, figure parmi les établissements publics d'excellence de la Direction Régionale de l'Education Nationale de Daloa.

### 3.3.3 Enquête pour l'élaboration de la Q-Matrice

Dans le cadre de cette contribution, nous avons fait un stage au Lycée Moderne Khalil de Daloa, au titre de l'année scolaire 2021 – 2022. Ce stage, d'une durée de trois mois, s'est étendue sur les périodes d'Octobre, Novembre et Décembre 2021. Nous avons utilisé le programme et guide d'exécution mathématiques du niveau première D et couvert les cinq leçons ci-dessous pour la conception de notre Q-matrice proposée :

- Leçon 2 Dénombrement (22)
- Leçon 4 Limites et continuité (16)
- Leçon 5 Probabilité (7)
- Leçon 6 Dérivation (20)
- Leçon 8 Extension de la notion de limite, (19)

Ces 5 leçons couvrent les ensembles de compétences 1 et 2.

L'étude menée dans cet établissement s'est faite avec la collaboration de 200 élèves de première D et six enseignants de mathématiques désireux de participer au travail de recherche. Le principe était de participer à quelques séances de cours avec les profs, de s'imprégner des conditions de travail, de participer à la mise en place d'une cartographie tâche-compétences. En

effet, jusque-là, la notion de Q-Matrice n'était pas abordée dans cet environnement de lycée et collège. Il était question d'expliquer aux enseignants participant au projet de recherche, le bienfait des Q-Matrice et d'avoir recours à leurs compétences pour la mise au point d'une première monture de Q-Matrice.

### 3.3.4 Proposition d'une première version de Q-Matrice

Pour l'élaboration de la Q-matrice, nous avons fait appel à six (6) enseignants (professeurs de Lycée) tenant la classe en question. Ces enseignants, experts du domaine faisant partie du corps enseignant du Lycée Moderne Khalil-Daloo. Il convient de préciser que dans le cadre de cette thèse, nous appelons compétences (KCs pour Knowledge Components en Anglais), les différents couples (habiletés-contenus) du programme éducatif. Ce sont de petites unités cognitives attendues de l'apprenant au terme d'un apprentissage. Une KC peut être aussi définie comme une unité acquise de fonction ou de structure cognitive qui peut être déduite de la performance sur un ensemble de tâches (activités, évaluations) connexes. Ces tâches sont des événements d'évaluation [156]. En pratique, nous utilisons le terme KC au sens large pour signifier tous éléments de cognition ou de connaissance et les compétences du domaine. Dans le cadre du programme éducatif de la classe de première D, on peut citer à titre d'exemples de KC celles-ci : « KC002 : *Connaitre la définition de la réunion de deux ensembles finis* » et « KC082 : *Justifier qu'une droite d'équation  $x = a$  est asymptote verticale à la représentation graphique d'une fonction donnée* » (Voir Annexe Programme et guide d'exécution). Des cinq leçons explorées, il en découle 84 compétences conformément au programme éducatif étudié. Le tableau 3 donne un aperçu de quelques compétences.

Tableau 2 : Différentes compétences étudiées

Leçon 2 : Dénombrement	
Code	Compétences
KC001	Connaitre la définition d'un ensemble fini
KC002	Connaitre la définition de la réunion de deux ensembles finis
KC003	Connaitre la définition de l'intersection de deux ensembles finis
KC004	Connaitre la définition du complémentaire d'un ensemble
KC005	Connaitre la définition de deux ensembles disjoints
KC006	Connaitre la définition du cardinal d'un ensemble fini
KC007	Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison
KC008	Connaitre la définition du produit cartésien d'ensembles finis
KC009	Connaitre le nombre de p-uplets d'un ensemble à n éléments

KC010	Connaitre le nombre d'arrangements à p éléments d'un ensemble à n éléments ( $n \geq p$ )
⋮	⋮
<b>Leçon 8 : Extension de la notion de limite</b>	
⋮	⋮
KC082	Justifier qu'une droite d'équation $x = a$ est asymptote verticale à la représentation graphique d'une fonction donnée
KC083	Justifier qu'une droite d'équation $y = b$ est asymptote horizontale à la représentation graphique d'une fonction donnée
KC084	Traiter une situation - faisant appel à l'extension de la notion de limite

Ces différentes compétences ont été codifiées afin de faciliter leur représentation et leur utilisation par la suite. Les différents enseignants, participant de l'étude, ont proposé, pour chacune de ces compétences (KC), des activités (exercices ou tâches) en vue d'évaluer les apprenants. Ce sont des tâches types qui sont tirées de leur répertoire didactique habituel, et donc qui sont en congruence avec les pratiques didactiques au programme. Plusieurs séances ont alors été organisées avec ces enseignants pour faire une synthèse sur les activités proposées en vue d'en supprimer les doublons. Quelques exemples d'activités proposées par les enseignants sont donnés à travers le tableau 4. ... ou pour la compétence KC1 « *Know tuples number of set contains n elements* » les activités Q1 et Q2 sont proposées. Au total, 200 activités ont été proposées par ces experts pour 3 leçons.

Tableau 3 : Extrait de 16 tâches issues des deux cent (200) proposées par les enseignants

<b>KC001 : Connaitre la définition d'un ensemble fini</b>										
<b>Q001:</b> Un ensemble fini est un ensemble dont le nombre d'éléments est fini				<b>Q002:</b> L'ensemble $A = \{a; b; c; d; e; f; g; h\}$ est un ensemble fini				<b>Q003:</b> L'ensemble $B = [0 ; 4[$ est un ensemble fini.		
<b>a</b>		<b>b</b>		<b>a</b>		<b>b</b>		<b>a</b>	<b>b</b>	
vrai		faux		vrai		faux		vrai	faux	
<b>KC006 : Connaitre la définition du cardinal d'un ensemble fini</b>										
<b>Q004:</b> Le cardinal d'un ensemble est le nombre d'éléments de cet ensemble.			<b>Q005:</b> Le cardinal de l'ensemble A est noté $Car(A)$			<b>Q006:</b> Soit $A = \{2 ; 3 ; 4 ; 5\}$ . Le cardinal de A est 5		<b>Q007:</b> Le cardinal de l'ensemble vide est 0		
<b>a</b>	<b>b</b>		<b>a</b>	<b>b</b>		<b>a</b>	<b>b</b>		<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux		vrai	faux		vrai	faux		vrai	faux
<b>KC007 : Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</b>										
<b>Q0026:</b> Un p-uplet d'un ensemble E est un élément du produit cartésien de E par lui-même p fois.				<b>Q0027:</b> Un p-uplet d'un ensemble E est noté			<b>Q0028:</b> Un 4-uplet de l'ensemble $A = \{a ; b ; c\}$ est			
<b>a</b>	<b>b</b>		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>
vrai	faux		$p^E$ .	$E^p$	$E^E$	$p^p$	(a;b;a;d)	(a;b;c;d)	(a;a;a;d)	(c;a;a;c)
<b>KC019 : Calculer le cardinal d'un ensemble fini</b>										

<b>Q038</b> : Détermine le cardinal de l'ensemble des nombres entiers naturels impairs inférieurs à 20				<b>Q039</b> : Détermine le cardinal du complémentaire de $\{1; 2; 3\}$ dans $\{0; 1; 2; 3; 4; 5; 7\}$ .			
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
9	10	11	20	3	7	6	4
<b>KC009</b> : <i>Connaître le nombre de p-tuples d'un ensemble de n éléments</i>							
<b>Q040</b> : Le nombre de tuples d'un ensemble à n éléments est :				<b>Q041</b> : Soit l'ensemble $E = \{1; 2\}$ . Le nombre de triplets de l'ensemble E est:			
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
$n \times p$	$n + p$	$n^p$	$p^n$	8	6	3	0
<b>KC010</b> : <i>Connaître le nombre d'arrangements de p éléments d'un ensemble de n éléments (<math>n \geq p</math>)</i>							
<b>Q042</b> : Le nombre de p-arrangements d'un ensemble à n éléments est :				<b>Q043</b> : Soit l'ensemble $E = \{a; b; c; d; e\}$ . Le nombre d'arrangements de 2 éléments E est :			
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
$A_n^n$	$A_n^p$	$n^p$	$A_p^p$	24	16	8	20

Ces enseignants ont aussi été amenés, à travers plusieurs séances de travail, à proposer une première version de cartographie entre les activités et les compétences fournies par le ministère de tutelle (Ministère de l'Éducation Nation et de l'alphabétisation). Pour chacune des 84 compétences étudiées pendant le premier trimestre, les enseignants (11) ont proposé des tâches sous – jacentes pour la maîtrise de chaque compétence. Cette activité de mise en relation de tâches – compétences a permis d'obtenir la première version de la Q-Matrice dénommée Q-Matrice initiale des experts (Figure 8).

		<b>Tâches</b>											
		Q001	Q002	Q003	Q004	Q005	Q006	Q007	Q008	Q009	Q010	Q011	Q012
<b>Compétences</b>	<b>KC001</b>	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	<b>KC002</b>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<b>KC003</b>	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	<b>KC004</b>	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	<b>KC005</b>	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	<b>KC006</b>	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	<b>KC007</b>	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
	<b>KC008</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>KC009</b>	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
	<b>KC010</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>KC011</b>	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

Figure. 8 : Extrait de Q-Matrice « initiale » des Experts pour 11 Compétences et 12

Tâches

### 3.3 Hiérarchisation des tâches – compétences proposées par les Experts

La hiérarchisation des tâches-compétences est un processus qui consiste à classer les différentes tâches nécessaires dans la maîtrise d'une compétence. Cela permet d'organiser efficacement la cartographie « tâches – compétences » en mettant en avant les tâches sous-jacentes à la maîtrise d'une compétence, tout en assurant que les compétences adéquates sont disponibles pour les réaliser.

Cette première version de Q-Matrice (84 compétences x 200 tâches) a subi par la suite, une procédure de validation s'appuyant sur le principe d'hiérarchisation des différentes compétences telle que décrite dans les travaux de Villanueva *et al.* et Tatsuoka [157][35][36][148]. Cette validation passe par la proposition d'un diagramme (arbre représentant graphiquement les différentes hiérarchies entre les compétences) afin de vérifier si chaque compétence s'inscrit dans la hiérarchie des concepts utiles à enseigner aux apprenants. Ce diagramme hiérarchique décrit non seulement la hiérarchie des tâches et sous tâches utilisées pour atteindre une compétence mais permet aussi d'apporter des modifications à la première version de Q-Matrice.

La hiérarchisation des tâches-compétences implique les étapes suivantes :

1. **Identification des tâches** : lister les tâches nécessaires pour les différentes compétences inhérentes au guide et programme du Ministère de l'éducation Nationale et de l'Alphabétisation (MENA)
2. **Évaluation de la pertinence des tâches** : Évaluer l'importance de chaque tâche proposée par les experts du domaine
3. **Classification des tâches** : Classer les tâches en fonction de leur lien avec une compétence en s'appuyant le principe de la théorie de Boole
4. **Corrélation tâche-compétence** : Associer chaque tâche aux compétences requises, afin d'identifier les lacunes éventuelles en termes de compétences.

Ces différentes étapes s'appuient sur les travaux de Villanueva *et al.* et Tatsuoka. L'illustration de cette hiérarchisation est présentée à la figure 9.

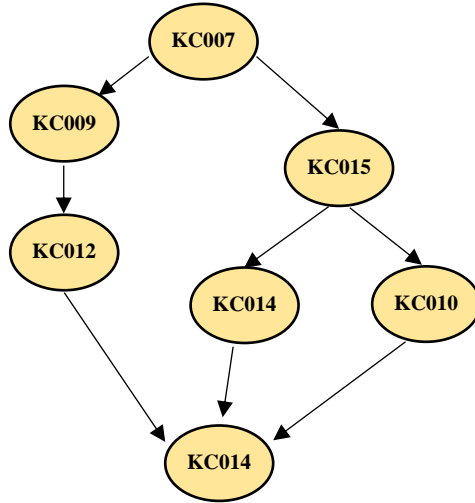


Figure 9 : Diagramme hiérarchique des compétences

### 3.4 Validation de la Q-Matrice des Experts

La validation d'une Q-Matrice est un processus visant à déterminer si cette matrice est adaptée à l'évaluation des compétences ou des connaissances visées dans un domaine particulier. La Q-Matrice est une représentation tabulaire utilisée en éducation pour organiser les items d'un test ou d'une évaluation en fonction des compétences qu'ils sont censés mesurer. La validation d'une Q-Matrice, qui est une composante essentielle de l'approche de l'analyse des données de test en éducation, implique généralement plusieurs étapes clés pour s'assurer de sa fiabilité et de sa validité. Voici un aperçu des principales étapes de validation d'une Q-Matrice : la Q-Matrice obtenue sur la base des activités proposées par les enseignants en charge des classes est présentée par la figure 10.

		Tâches											
		Q <sub>001</sub>	Q <sub>002</sub>	Q <sub>003</sub>	Q <sub>004</sub>	Q <sub>005</sub>	Q <sub>006</sub>	Q <sub>007</sub>	Q <sub>008</sub>	Q <sub>009</sub>	Q <sub>010</sub>	Q <sub>011</sub>	Q <sub>012</sub>
Compétences	Kc001	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kc002	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	Kc003	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	Kc004	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	Kc005	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Kc006	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	Kc007	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0
	Kc008	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$K_{C009}$	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
$K_{C010}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{C011}$	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

Figure. 10 : Extrait de Q-Matrice dite Q-Matrice des Experts pour 11 Compétences et 12 Tâches

### 3.5 Evaluation de l'approche méthodologique proposée

Notre approche d'élaboration de la cartographie « tâches – compétences » s'appuie sur la méthodologie telle que décrite dans la section précédente. Pour atteindre les objectifs visés dans ce papier, nous proposons premièrement à l'étape de la collecte de données de nous appuyer sur l'évaluation des enseignants. Ensuite, nous proposons un algorithme pour évaluer le degré d'affinité et le score indiquant le niveau de satisfaction de l'enseignant dans la réalisation des différentes tâches d'apprentissage pour aider à un meilleur ordonnancement de la cartographie « tâches – compétences ». L'objectif de cette contribution étant de proposer un cadre méthodologique pour l'élaboration de la cartographie « tâches – compétences », nous envisageons de tenir compte du niveau d'adhésion et de l'indice de satisfaction d'un enseignant dans l'accomplissement des différentes tâches d'apprentissage dans la démarche d'élaboration des cartographies « tâches – compétences ».

De ce fait, nous émettons l'hypothèse que la maîtrise des tâches de prérequis, mesurée en fonction du Score d'Affinité Académique (AAFS), peut avoir un impact significatif sur la performance de l'apprenant. En effet, lorsque les tâches sont attribuées aux compétences uniquement sur la base de leur pertinence sans tenir compte de l'ordre d'acquisition ni de l'affinité ressentie par les experts du domaine, cela peut entraîner des difficultés dans l'atteinte des objectifs d'apprentissage et une assignation erronée des compétences. Si la maîtrise d'une tâche requiert une autre tâche de prérequis et que l'ordre d'apprentissage n'est pas respecté, la satisfaction et l'affinité de l'expert du domaine pour la tâche peuvent être affectées. Ainsi, l'AAFS peut servir à identifier non seulement les préférences académiques des experts, mais aussi les potentiels obstacles à la performance des apprenants lorsqu'ils sont confrontés à des tâches qu'ils n'apprécient pas ou qu'ils trouvent frustrantes.

Supposons que nous ayons des ensembles finis  $A$  et  $B$ , avec les éléments suivants :  $A = \{1, 2, 3\}$  et  $B = \{2, 3, 4\}$ , définissons deux tâches  $q_1$  et  $q_2$ , avec  $q_1 = A \cup B$  et  $q_2 = A \cap B$ . La

réalisation de ces tâches nécessite la compréhension de la théorie des ensembles, et des tâches  $q_1$  et  $q_2$  de façon simultanée. Si l'expert du domaine a une faible affinité ou satisfaction pour les tâches impliquant des notions d'union, cela pourrait se répercuter négativement sur la performance de l'apprenant dans  $q_2$ . Ainsi, la cartographie « tâches – compétences » doit tenir compte non seulement de l'ordre des tâches mais aussi du niveau de satisfaction et d'affinité de l'expert du domaine vis-à-vis de ces tâches. Cela permettrait d'ajuster le parcours d'apprentissage en optimisant non seulement la maîtrise des compétences mais aussi l'expérience académique globale, favorisant ainsi une meilleure performance et un engagement accru dans les tâches académiques.

### 3.3.5 Détermination de la matrice du degré d'affinité et du score de satisfaction

Les différentes valeurs de réponse données par les enseignants sont catégorisées puis sommées pour représenter chacune des huit échelles d'émotions d'accomplissement. Les expressions du score de satisfaction académiques et du degré d'affinité sont données par les équations (3) et (4).

$$SAS = \sum_{q_i=1}^n (S_{Q_i} \times \frac{P_{q_i}}{100}) \quad (03)$$

$$AAFS = \sum_{q_i=1}^n (A_{Q_i} \times \frac{P_{q_i}}{100}) \quad (04)$$

Où  $n$  = nombre total de tâches

$A$  = Degré d'affinité de la tâche  $q_i$

$S$  = Score de satisfaction de la tâche  $q_i$ ,

$P$  = Pondération de la tâche  $q_i$

Le score de satisfaction et le degré d'affinité des enseignants s'évalue sur une échelle de -100 à +100, où les valeurs positives représentent une satisfaction ou une affinité élevée et les valeurs négatives représentent une insatisfaction ou une affinité moins élevée.

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$		$T$	
$q_1$	45	20	-20	90	→	33,75	$q_1$
$q_2$	70	50	30	-30	→	30	$q_2$
$q_3$	-10	-85	45	70	→	20	$q_3$
$q_4$	55	30	-70	40	→	13,75	$q_4$
$q_5$	60	10	90	75	→	58,75	$q_5$

Figure. 11 : Exemple de calcul score de satisfaction (AAFS) pour l'ensemble des enseignants (T) à la réalisation de 5 tâches (q)

Les résultats de cette relation « enseignant – réalise – tâches » est désignée par une matrice  $K'$  avec  $K' \in \mathbb{R}^{Q \times T}$  pour la matrice des scores de satisfaction avec Q désignant l'ensemble des tâches et T l'ensemble des enseignants. Cette matrice définit le niveau de satisfaction des enseignants dans la réalisation des différentes tâches d'apprentissages. De même la matrice du niveau d'affinité est désignée A' avec  $A' \in \mathbb{R}^{Q \times T}$ . Cette matrice définit le niveau d'affinité des enseignants dans la réalisation des différentes tâches d'apprentissages.

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$		$T$	
$q_1$	80	65	-20	90	→	53,75	$q_1$
$q_2$	70	50	60	-30	→	37,75	$q_2$
$q_3$	-10	-80	30	-70	→	-32,5	$q_3$
$q_4$	20	90	-80	10	→	10	$q_4$
$q_5$	90	-10	40	25	→	36,25	$q_5$

Figure. 12 Exemple de calcul du degré d'affinité (SAS) pour l'ensemble des enseignants (T) à la réalisation de 5 tâches (q)

### 3.3.6 Ordonnement des tâches et des compétences

Différemment des approches méthodologiques proposées dans la littérature, nous proposons aux experts une étape supplémentaire à savoir celle de l'ordonnement des tâches en tenant compte du degré d'affinité et satisfaction d'un enseignant dans la réalisation de de l'activité pédagogique. En effet, un enseignant plus satisfait et plus à l'aise avec les tâches assignées est susceptible de créer un environnement d'apprentissage plus positif, ce qui peut indirectement améliorer les performances des apprenants. Egalement, la prise en compte de ces indicateurs permet de personnaliser l'assignation des tâches en fonction des forces et des préférences des enseignants. Cela pourrait permettre une meilleure utilisation des talents individuels au sein des équipes pédagogiques.

---

**Algorithme 1** : Ordonnement basé sur AAFS et SAS

---

**Initialisation**

$Q$  : cartographie « tâches – compétences »

$A'$  : matrice degré d'affinité Matrice

$K'$  : matrice du niveau score de satisfaction

**Étape 1** : Construction du graphe avec dépendances

**Étape 2** : Attribution des poids (AAFS et SAS)

**Étape 3** : Tri topologique du graphe  $G$

**Étape 4** : Ré-ordonnement basé sur l'AAFS et SAS

**Étape 5** : Optimisation par la méthode de coût minimal

**Étape 6** : Itération et mise à jour de  $A'$  et  $K'$

---

Les simulations ont été effectuées sur un ordinateur équipé d'un système d'exploitation 64 bits, de 16 Go de RAM et d'un processeur Intel Core i7. Le développement de l'Algorithme 1 a été réalisé en utilisant le langage de programmation Python.

### 3.3.7 Evaluation de l'approche proposée

Pour évaluer notre approche, nous avons d'abord utilisé la mesure de similarité de Cohen's Kappa afin de comparer la cartographie « tâches-compétences » fondée sur la pertinence des tâches proposée par les experts avec celle obtenue après ordonnancement (basée sur le SAS et l'AAFS). L'expression de la mesure de Kappa de Cohen est donnée par l'équation (5) [158].

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (05)$$

$$\text{Avec } P_o = \sum_{i=1}^r p_{ii} \quad \text{et } P_e = \sum_{i=1}^r p_i + P_{+i}$$

$P_o$  représente le niveau d'accord observé et la proportion des cas sur lesquels les évaluateurs sont d'accord. Et  $P_e$  représente le niveau d'accord attendu ou proportion d'accord attendu par hasard. Parallèlement, une étude expérimentale a été menée en impliquant deux groupes d'apprenants : le premier groupe a suivi un parcours basé sur le SAS et l'AAFS, tandis que le second a suivi un parcours fondé sur la pertinence des tâches. Bien que les tâches soient identiques pour les deux groupes, l'ordre de leur réalisation différait. À l'issue du parcours d'apprentissage, nous avons comparé les performances académiques (tests, examens) des deux groupes afin de déterminer quelle cartographie « tâches – compétences » conduisait aux meilleurs résultats.

### 3.4 Résultats et discussion

La similarité entre la cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts et la cartographie basée sur le SAS et AAFS est de 84%, dénotant ainsi un écart de correspondance de 352 liens sur 2200 (84×11). La figure 13 présente la cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts et la figure 14 celle obtenue après ordonnancement par notre l'algorithme 1.

	Q081	Q082	Q083	Q084	Q085	Q086
<i>Kc071</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Kc072</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Kc073</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Kc074</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Kc075</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Kc076</i>	1	0	1	0	1	1

Figure. 13 : Extrait cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts du domaine

Ces liens ont été soumis aux experts pour évaluation. Et il en ressort que sur les 352 liens mis en exergue par l’algorithme d’ordonnement 210 ont été jugé recevables soit un taux d’amélioration de 86% de la cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts.

	Q081	Q082	Q083	Q084	Q085	Q086
<i>Kc071</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Kc072</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Kc073</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Kc074</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Kc075</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Kc076</i>	1	0	1	0	1	1

Figure. 14 : Extrait cartographie « tâches – compétences » obtenue après ordonnancement par l’Algorithme 1

Il ressort également que la cartographie basée sur les SAS/AAFS permet d’améliorer les performances des apprenants dans certaines compétences spécifiques. Elle ajuste les tâches en fonction des affinités des enseignants. La figure 15 montre les moyennes obtenues par les deux groupes d’apprenants dans la maîtrise des différentes compétences (8) présentées.

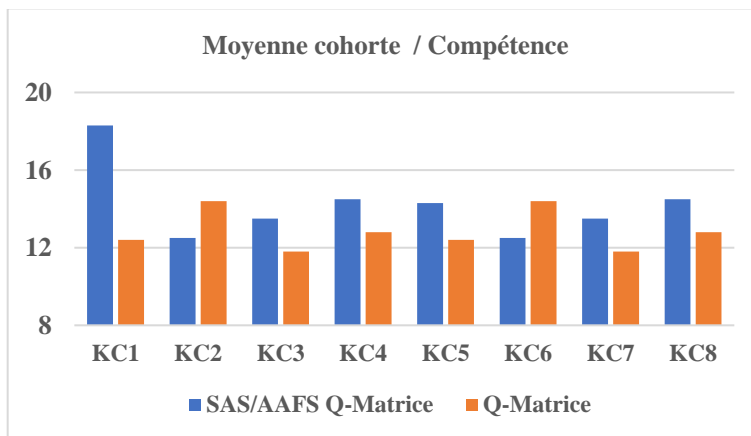


Figure. 15 : Moyennes obtenues par les apprenants dans la maîtrise des compétences proposées dans les Q-Matrices et SAS/AAFS Q-Matrice

Les résultats montrent souvent une augmentation de la satisfaction des enseignants, car leurs préférences et leurs forces sont prises en compte. Ils sont plus investis dans l'enseignement, ce qui peut entraîner une meilleure qualité de l'apprentissage et des résultats plus positifs pour les apprenants. Les apprenants peuvent alors être plus motivés et performants.

### **3.5 Conclusion partielle**

Dans la présente contribution nous avons proposé un cadre méthodologique pour l'élaboration de la cartographie « tâches – compétences ». L'étude s'est appuyée sur les guides et programmes du Ministère de l'Education Nationale et de l'Alphabétisation (MENA) de Côte d'Ivoire et a été expérimentée sur la discipline des Mathématiques. Elle a impliqué 11 enseignants (experts du domaine) et 2 cohortes d'apprenants du Lycée Khalil de Daloa. Différemment des travaux de la littérature qui s'appuie sur l'évaluation des apprenants pour l'optimisation de la cartographie « tâches – compétences », nous nous appuyons sur l'évaluation des enseignants plus particulièrement l'évaluation du degré d'affinité et du niveau de satisfaction dans la réalisation des tâches d'apprentissage. En appliquant la mesure de Kappa de Cohen pour évaluer la similarité entre la cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts et celle basée sur les SAS / AAFS, nous obtenons un écart de correspondance de 352 liens. Ces liens ont été soumis à l'avis des experts et il ressort que 210 liens ont été jugé recevables soit un taux d'amélioration de 86% de la cartographie « tâches – compétences » proposée par les experts. Il ressort également que l'utilisation de la cartographies « tâches – compétences » basée sur les SAS / AAFS donne de meilleure performance que celle élaborée par les experts.

**CHAPITRE 4 : PROPOSITION D'UNE  
APPROCHE DE FACTORISATION  
MULTI-RELATIONNELLE POUR LA  
PRÉDICTION DE LA Q-MATRICE**

Sommaire

---

4.1 INTRODUCTION .....	69
4.2 CONTEXTE ET MOTIVATION .....	69
4.3 ÉTAT DE L'ART SUR LA PRÉDICTION DE LA Q-MATRICE .....	70
4.4 APPROCHE DE PRÉDICTION PROPOSÉE.....	73
4.5 ÉVALUATION DE L'APPROCHE PROPOSÉE.....	77
4.6 RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	79
4.7 CONCLUSION PARTIELLE .....	82

---

## **4.1 Introduction**

L'élaboration de contenu d'apprentissage viable, cohérent et adapté se présente aujourd'hui comme une nécessité pour la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence mais surtout pour un système éducatif performant répondant aux besoins économiques, socioculturels et scientifiques de la société. Ainsi des approches telles que la hiérarchisation des tâches – compétences sont proposées pour aider les acteurs du système éducatif à l'évaluation certes des liens entre les tâches et compétences proposées mais plus particulièrement pour contribuer à évaluer la cohérence et la pertinence des Q-Matrices. Ces cartographies « tâches – compétences » proposées s'appuient en grande partie sur l'expertise humaine et requiert énormément de temps pour sa mise en œuvre. Ainsi des méthodes automatiques d'élaboration de la Q-Matrice sont proposées pour aider les acteurs de l'éducation dans cette tâche. Ces méthodes basées sur les techniques de l'Intelligence Artificielle vise à prédire la Q-Matrice. Dans ce chapitre, nous proposons de résoudre le problème de mise en relation de tâches - compétences par une méthode automatique se basant sur la technique de Factorisation Multi – relationnelle. L'utilisation de cette méthode de Factorisation Matricielle contribue à améliorer les techniques de prédiction des Q-Matrices. Pour améliorer les résultats de prédictions des Q-Matrices, cette contribution s'appuie sur plusieurs types de relations que sont : « Apprenant effectue Tâche » et « Apprenant – a appris – Compétences » pour prédire la relation « Tâche – requiert – compétences ».

La structuration de ce chapitre s'énonce de la manière suivante : la section 4.2 expose le contexte ainsi que la motivation autour de cette orientation. Ensuite la section 4.3 présente un état de l'art des techniques employés pour la prédiction des cartographies tâches - compétences. Puis la section 4.3 décrit notre approche multi-relationnelle pour la prédiction Q-Matrice. La section 4.4 expose à son tour, une évaluation de cette approche et discute nos résultats à ceux de l'état de l'art. Et pour terminer, la section 4.5 conclut le chapitre.

## **4.2 Contexte et motivation**

L'évaluation de l'efficacité des systèmes éducatifs, en particulier de la qualité des contenus d'apprentissage occupe une place majeure dans les politiques éducatives mises en place par les acteurs du système éducatif. Ces différentes évaluations visent à certes à améliorer la qualité de

l'apprentissage mais plus spécifiquement proposer une main d'œuvre de qualité. Dans ce contexte, de nombreuses réformes sont adoptées notamment l'adoption de l'Approche Par Compétence pour premièrement adapter les compétences aux réalités de la société mais des tâches permettant à mieux la maîtrise de ses compétences. Les travaux actuels dans ce domaine touchent certains axes tels que le regroupement des items éducatifs et la prédiction des cartographies « tâches – compétences » en particulier. Ces outils demeurent une préoccupation substantielle dans le domaine de la recherche, car ils facilitent la révision des programmes d'enseignement, contribuant ainsi à l'amélioration de la performance des apprenants. En outre, elle permet de diagnostiquer l'état cognitif de l'apprenant et d'adapter le contenu d'apprentissage tenant compte du profil des apprenants. En effet, proposer des tâches d'apprentissages non adéquates à l'activité d'apprentissage peut se présenter comme une limite pour la performance de l'apprenant d'une part et d'autre s'appuyer uniquement sur l'expertise humaine dans l'élaboration des cartographies « tâches – compétences » semble être une tâche fastidieuse et risque de conduire à des contenus d'apprentissage peu viable.

Ainsi, proposer des méthodes automatiques d'élaboration de contenus d'apprentissage viables et cohérents pourrait améliorer les contenus d'apprentissage proposés par le système éducatif et ainsi contribuer à faciliter la mise en œuvre de l'Approche Par Compétence. Cette approche pédagogique requiert dans sa mise en œuvre l'élaboration de compétences et de tâches sous – jacentes en lien avec les guides et programmes proposés par les experts du domaine. S'appuyer sur ces référentiels et l'expertise humaine dans la prédiction des cartographies « tâches – compétences » permettra de mieux évaluer les performances de l'apprenant. C'est d'ailleurs l'un des objectifs de la recherche en évaluation cognitive de l'apprenant. Notre objectif est alors proposer une approche automatique d'élaboration de Q-Matrice en nous appuyant sur les données de performances et des acquis de l'apprenant.

### **4.3 Etat de l'art sur la prédiction de la Q-Matrice**

L'évaluation cognitive de l'apprenant a le potentiel d'améliorer la qualité de l'apprentissage et la performance des apprenants. Cette qualité de l'apprentissage évidemment s'appuie sur un contenu d'apprentissage adapté et une parfaite mise en relation des tâches et compétences. Par conséquent, il est important pour les acteurs du système éducatif de disposer des outils pertinents

pour l'élaboration des contenus d'apprentissage plus spécifiquement pour le regroupement des items éducatifs. Dans la littérature associée, il existe une grande variété de travaux relatifs au regroupement des items éducatifs. De manière générale, ces travaux sont regroupés en deux grandes approches : les approches basées sur les mesures de similarité telles que les coefficients Kappa de Cohen, de Pearson, de Yule, d'Ochiai, Sokal et Jaccard et les approches basées sur les modèles tels que les Learning Factors Analysis (LFA) et la technique de Factorisation Matricielle.

Les modèles de regroupement d'items éducatif se basant sur les mesures de similarité s'appuient sur l'hypothèse que les apprenants auront tendance à avoir des performances similaires sur des items appartenant à la même compétence. Ces approches nécessitent souvent des données de grande taille pour une analyse automatique réussie des relations entre les items. Contrairement aux approches basées sur les mesures de similarités, les approches basées sur les modèles réduisent la dimensionnalité du problème cherchant à inférer les facteurs sous-jacents (tâches, compétences) qui se cachent derrière les items.

Ainsi Prabha et Shanavas [110] proposent des modèles d'Analyse de Facteurs d'Apprentissage (Learning Factors Analysis), modèle combinant les techniques statistiques, l'expertise humaine et la recherche combinatoire pour évaluer et améliorer les modèles cognitifs mais surtout à l'exploration des données éducatives. La méthode LFA offre plusieurs possibilités, notamment la mesure de la difficulté et des taux d'apprentissage des composantes de connaissances, la prédiction des performances des apprenants lors de l'application de chaque composant de connaissance (knowledge component), ainsi que l'identification des KC sur-pratiqués ou sous-pratiqués. Dans un contexte similaire aux LFA, une autre méthode pour regrouper des items éducatifs, connue sous le nom de Factorisation Matricielle (FM), a été introduite par Thai-Nghe et *al.*, [111] afin de prédire les performances des apprenants. L'introduction de cette méthode dans le domaine de la prédiction des performances des apprenants a été suivie par d'autres auteurs compte tenu de sa capacité d'adaptation et capacité à gérer avec efficacité les matrices creuses. Dans la littérature, de nombreuses techniques de Factorisation Matricielle sont proposées pour la prédiction de la performance de l'apprenant. Cependant ces techniques rencontrent une limite majeure. En effet, elles ne prédisent que la performance des apprenants.

Dans ce contexte, d'autres alternatives viables pour le regroupement d'items éducatifs se basant toujours sur la technique de Factorisation Matricielle sont proposées. La NMF (Nonnegative Matrix Factorization) est proposée par Beheshti et Desmarais [113] pour introduire des contraintes d'ordre partiel dans la Factorisation Matricielle. La NMF (Factorisation de Matrices Non Négatives) a prouvé son efficacité dans les tâches qui ne nécessitent qu'une seule compétence, ce qui souligne la nécessité de prendre en compte les tâches faisant appel à plusieurs compétences lors de la mise en correspondance des tâches avec les compétences. Egalement, des contraintes de parcimonies sont à introduits pour améliorer la NMF, pour laisser place à la SNMF (Sparse Nonnegative Matrix Factorization). Cette technique améliore nettement le regroupement des items éducatif par rapport aux techniques précédentes citées plus haut. Une autre technique de factorisation matricielle toujours basée sur la technique NMF est proposée par M. Desmarais et *al.*, [114], la technique Alternative des Moindres Carrés (ALS). Cette technique s'appuie sur l'hypothèse que toute compétence requise manquante entraînera un échec à la tâche. Elle est utilisée pour résoudre les problèmes de solutions uniques et de minima locaux. Pour répondre aux limites de cette technique, M. Desmarais et Rhouma Naceur [115] proposent la mise en relation tâche – compétences en s'appuyant sur la Q-Matrice proposée par les experts du domaine. Pour les auteurs, la Q-Matrice prédite après minimisation divergera le moins possible de la matrice initiale, rendant ainsi la comparaison avec la Q-Matrice de l'expert et son amélioration plus réalisable. Cependant cette technique de prédiction de la Q-Matrice ne s'appuie pas sur plusieurs relations du domaine pour la prédiction de la Q-Matrice.

En plus de ces techniques de regroupement d'items éducatif basées sur la factorisation matricielle, de nouvelles approches intègrent outre la technique de factorisation matricielle, les approches de regroupement d'items basées sur les mesures de similarité. Ainsi Khadidja et *al.*, [116] proposent une nouvelle approche de regroupement d'items éducatif pour optimiser la cartographie tâche-compétence à partir de données de réponse à l'aide du coefficient de Pearson pénalisé et d'auto-encodeurs profonds.

Cependant toutes ces approches basées sur les mesures de similarité et sur les modèles rencontrent une limite majeure. En effet elles n'exploitent que la performance de l'apprenant en vue de la mise en relation des tâches et compétences. Par ailleurs cette technique a rencontré plusieurs améliorations. En effet la MRMF (Multi- Relational Matrix Factorization) [117],

WMRMF (Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [118], So - WRMF (Social Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [119], Emo - WRMF (Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [118], SoEmo - WRMF (Socio - Emotional Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) [120] tirent parti de plusieurs relations du domaine.

#### 4.4 Approche de prédiction proposée

Nous proposons dans le cadre de cette contribution la technique de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle comme alternative au regroupement des items éducatifs. Cette approche s'appuie sur les relations « Apprenant effectue Tâche » et « Apprenant – a appris – Compétences » pour prédire la relation « Tâche – requiert – Compétences » qui représente la Q-Matrice en se basant sur la technique de descente de gradient stochastique.

##### 4.4.1 Formulation du problème

Dans cette approche, nous considérons les relations « Apprenant effectue Tâche », « Apprenant – a appris – Compétences » et la « Tâche requiert Compétences ». La figure 16 présente sous forme de diagramme « entité-association », les informations que nous prenons en compte dans notre modèle.

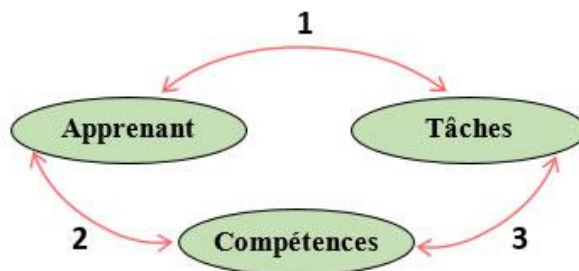


Figure. 16 : Relations prises en compte dans l'approche proposée

A la réalisation d'une tâche par l'apprenant, on associe un score de performance. Pour résoudre correctement la tâche, l'apprenant doit avoir posséder des compétences spécifiques, et la tâche elle-même est également associée aux compétences devant être apprises par l'apprenant.

La relation (1) est représentée sous forme d'une matrice de résultats  $R \in \mathbb{R}^{S \times I}$ . Dans cette matrice, chaque couple  $(s,i)$  désigne la note obtenue par l'apprenant  $s$  à la réalisation de la tâche  $I$ . Pour effectuer la tâche  $I$ , l'apprenant doit utiliser les différentes compétences requises à la réalisation de cette tâche, mise en œuvre dans la relation (2)

La relation (2) est représentée sous la forme d'une matrice  $A \in \mathbb{R}^{S \times K}$  des acquis.  $K$  désigne l'ensemble des compétences. La matrice  $A$  est une cartographie entre les apprenants et les différentes compétences à acquérir. Elle définit le niveau de maîtrise des différentes compétences mises en place par les experts du domaine éducatif sous-jacent.

La relation (3) est représentée par une matrice  $Q \in \mathbb{R}^{K \times I}$ , similaire à la Q-matrice telle que proposée par les experts du domaine. Elle établit une cartographie entre les tâches et les différentes compétences utiles à la réalisation de ces tâches. Lorsque  $Q_{ij} = 1$ , cela signifie que l'exécution de la tâche  $j$  nécessite la compétence  $i$ . si  $Q_{ij} = 0$ , alors l'exécution de la tâche  $j$  ne nécessite pas la compétence  $i$ . Dans la présente contribution, l'exécution d'une tâche peut nécessiter une à plusieurs compétences. Le principe de notre approche est de prédire la Q-Matrice des experts et comparer et de calculer la similarité entre la Q-Matrice des Experts et la Q-Matrice prédite. Cette similarité permettra entre autre d'ajuster ou d'affiner la Q-Matrice des experts.

#### 4.4.2 Approche de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (Weighted Multi-Relational Matrix Factorization)

Dans l'approche de FM classique, l'on considère un ensemble  $S$  d'apprenants, un ensemble  $I$  de tâches et une gamme  $P$  de scores de performances possibles [159]. Le principe de cette technique est de trouver deux petites matrices  $W_1$  (apprenants) et  $W_2$  (tâches) telles que les différentes performances (Matrice  $R$ ) réalisées par les apprenants puissent être approximées par l'équation (06) [160].

$$R \approx W_1 W_2^T \quad (06)$$

Dans l'équation (06),  $W_1 \in \mathbb{R}^{S \times F}$  décrit une matrice dans laquelle chaque ligne  $s$  représente un vecteur qui contient  $F$  facteurs latents décrivant au mieux le profil de l'apprenant  $s$  et  $W_2 \in \mathbb{R}^{I \times F}$

une matrice où chaque ligne  $i$  est un vecteur contenant les  $F$  facteurs latents décrivant la tâche  $i$  [119]. La prédiction de la performance d'un apprenant  $S$  pour une tâche  $i$  à réaliser est donnée par l'équation (07) :

$$\hat{p}_{si} = \sum_{f=1}^F w_{1_{sf}} w_{2_{if}} = w_{1_s} w_{2_i}^T \quad (07)$$

Le modèle WMRMF (Weighted Multi-Relational Matrix Factorization) quant à lui, est une extension de FM. Il permet, non seulement de tirer parti des différentes relations du domaine éducatif, mais aussi, d'intégrer un facteur poids  $\theta$  qui donne l'importance d'une relation par rapport à une autre. Dans cette technique, on considère  $N$  types d'entités  $\{E_1, \dots, E_N\}$  reliées par  $M$  types de relations  $\{R_1, \dots, R_M\}$  qui peuvent être fortement corrélées entre elles [161]. Les matrices  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ( $n \in N$ ), désignent les paramètres du modèle. Ces paramètres sont généralement appris en optimisant la fonction objectif (08) par la technique de descente de gradient stochastique [162].

$$o^{WMRMF} = \sum_{r=1}^M \Theta_r \sum_{(s,i) \in R_r} (R_{si} - w_{r1_s} w_{r2_i}^T)^2 + \lambda \left( \sum_{n=1}^N \|W_n\|_F^2 \right) \quad (08)$$

$$\text{avec } R_r = \{(E_{1_r}; E_{2_r})\} (r = 1 \dots M)$$

L'erreur de prédiction  $e_{si}$  (voir équation 09) est calculée en faisant la différence entre la valeur de performance réelle  $R_{si}$  et la valeur de performance prédite  $\hat{p}_{si}$  pour chaque couple  $(s, i)$ .

$$e_{si} = (R_{si} - w_{1_s} w_{2_i}^T) \quad (09)$$

Dans l'équation (10),  $\|\cdot\|_F^2$  désigne la norme de Frobenius et  $\lambda$  est un paramètre de régularisation [160]. La fonction représentant le facteur poids pour les différentes relations du domaine est donnée par la relation (5) :

$$\Theta_r = \begin{cases} 1, & \text{si } r \text{ est la relation principale} \\ \theta, & \text{si } (0 < \theta < 1) \end{cases} \quad (10)$$

Les paramètres du modèle WMRMF sont mis à jour à travers les équations (15) et (16) [15][16] :

$$w'_{r1_{sk}} = w_{r1_{sk}} + \beta \left( 2\Theta_r e_{r_{si}} w_{r2_{ik}} - \lambda w_{r1_{sk}} \right) \quad (11)$$

$$w'_{r2_{ik}} = w_{r2_{ik}} + \beta \left( 2\Theta_r e_{r_{si}} w_{r1_{sk}} - \lambda w_{r2_{ik}} \right) \quad (12)$$

Le facteur  $\beta$  désigne le taux d'apprentissage.

#### 4.4.3 Phase d'apprentissage : proposition d'algorithme de mise à jour des paramètres

L'enjeu principal de cette technique étant de trouver les paramètres optimaux  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ( $n \in N$ ), nous avons proposé les algorithmes 2 et 3 (utilisant une descente de gradient stochastique) itératifs ci-dessous pour la mise à jour respective des paramètres du modèle WMRMF.

Pour la phase d'apprentissage, nous avons utilisé une méthodologie qui s'appuie sur l'algorithme de descente de gradient stochastique à travers 4 étapes :

- A l'étape 1, nous initialisons les paramètres du modèle  $w_1, w_2$  et  $w_3$  à partir de la distribution normale  $N(\mu, \sigma^2)$  en prenant pour espérance  $\mu = 0$  et pour écart-type  $\sigma = 0.01$ .
- Ensuite (étape 2), nous calculons l'erreur de prédiction pour une matrice donnée ( $R, A$  et  $T$ ) à partir de l'équation (3).
- Puis (étape 3), nous mettons à jour les paramètres du modèle à partir des équations (4) et (5).
- Et pour terminer (étape 4), pour un couple  $(i, j)$  appartenant à l'une des matrices ( $R, A$ , et  $T$ ) nous répétons les étapes 2 et 3 jusqu'à optimisation des paramètres  $w_1, w_2$  et  $w_3$ .

## Algorithme 2 : Descente de Gradient Stochastique

1. Etape 1 : Initialisation des paramètres  $w_1$  et  $w_2$
  2. Etape 2 : Calcul de l'erreur de prédiction  $e_{si} = (R_{si} - w_{1s} w_{2i}^T)$ . Equation (09)
  3. Etape 3 : Mise à jour des paramètres
$$w'_{r1_{sk}} = w_{r1_{sk}} + \beta(2\Theta_r e_{r_{si}} w_{r2_{ik}} - \lambda w_{r1_{sk}})$$
$$w'_{r2_{ik}} = w_{r2_{ik}} + \beta(2\Theta_r e_{r_{si}} w_{r1_{sk}} - \lambda w_{r2_{ik}})$$
  4. Etape 4 : Affectation des données  $(w_1, w_2) = (w'_1, w'_2)$
  5. Etape 5 : Répéter les étapes 2, 3 et 4 pour un autre couple  $(s, i)$
- 

## 4.5 Évaluation de l'approche proposée

### 4.5.1 Base d'apprentissage

Pour évaluer notre approche, nous avons mené une enquête auprès des apprenants du second cycle de l'enseignement général, inscrits en classe de Première, au Lycée Moderne Khalil (Daloa, Côte d'Ivoire) durant l'année scolaire 2021-2022. Cette étude a également regroupé 200 apprenants pour évaluer 200 tâches dans la discipline des mathématiques : 40 000 performances. Suite aux différentes tâches développées par les experts, les étudiants ont été invités à prendre part à plusieurs sessions de cours et d'évaluations sur une plateforme conçue et mise en place à cet effet. Les étudiants résolvent des problèmes dans le système d'apprentissage et chaque interaction entre l'apprenant et le système est enregistrée comme une ligne de transaction. Une transaction est une interaction entre l'étudiant et son environnement d'apprentissage. Les informations à propos du nombre d'apprenants, de tâches et de compétences de cet ensemble de données sont consignées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Informations sur les apprenants, les tâches et les compétences

# Apprenants	#Tâches	# Compétences	# Performance
<b>200</b>	<b>200</b>	<b>84</b>	<b>40.000</b>

Cette interaction des apprenants avec l'environnement d'apprentissage a généré les Matrices  $R$  et  $A$  à savoir les matrices relatives aux relations « Apprenant effectue Tâche » et « Apprenant – a appris – Compétences » présentées respectivement par les figures 17 et 18.

		Tâches																	
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18
Apprenants	S1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	S2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	S4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	S5	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S6	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	S7	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
	S8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	S9	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	S10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1

Figure. 17 : Extrait de la Matrice  $R$  (Matrice des Performances) pour 10 Apprenants 18 Tâches

		Compétences								
		KC1	KC2	KC3	KC4	KC5	KC6	KC7	KC8	KC9
Apprenants	S1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
	S2	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	S4	0	0	0	0	1	1	0	0	1
	S5	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	S6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	S7	0	1	0	0	1	0	1	0	0
	S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S9	1	1	0	0	0	1	0	0	0
	S10	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Figure. 18 : Extrait de la Matrice  $A$  (Matrice des Acquis) pour 10 Apprenants 9 Compétences

#### 4.5.2 Evaluation

Pour l'évaluation de notre approche de Factorisation, nous avons utilisé l'ensemble de données issue des Matrices  $R$  et  $A$ . Cet échantillon est composé de :

- 200 apprenants ;
- 200 tâches ;
- 84 compétences ;

La matrice  $R$ , de dimension  $200 \times 200$ , comporte 40000 performances connues. Nous avons utilisé deux jeux de données : un pour l'apprentissage machine et l'autre pour le test. Pour effectuer une validation croisée (voir section 3.3), nous avons utilisé 9/10 des performances pour la phase d'apprentissage machine et 1/10 pour la phase de prédiction.

Nous avons utilisé deux (2) types de métriques : d'abord l'erreur Quadratique moyenne RMSE et l'erreur absolue moyenne MAE pour calculer l'erreur de prédiction de la Q-Matrice prédite puis la mesure de similarité Kappa de Cohen pour déterminer l'écart entre la Q-Matrice des experts et la Q-Matrice prédite. Cet écart permettra d'identifier les différents couples (Compétences, Tâches) qui nécessiteront une interprétation et une analyse des experts.

Les différentes expressions du MAE, du RMSE et de la mesure Kappa de Cohen sont données respectivement à travers les équations (02), (03) et (05).

## **4.6 Résultats et discussion**

### **4.6.1 Résultats**

Cette section présente les différents résultats de RMSE, de MAE et de Kappa de Cohen obtenus. Elle discute par ailleurs ces résultats tout en mettant en œuvre une lucarne de validation de ces résultats par les experts.

Pour l'évaluation de cette approche, nous avons utilisé un environnement de travail Windows 64 bits, 16 Gb de RAM avec un processeur Intel Core i5. Notre algorithme a été simulé avec le langage Python. La mise à jour des paramètres de notre approche (équations 12 et 13) s'est faite en utilisant la technique de descente de gradient stochastique.

```

79 def matrix_factorization(R, S, Q, w1, w2, w3, K, QPred, QPredExt, steps=100, beta=0.01, lambda=0.015): #
80
81 Err = numpy.array([[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]]) # Matrice des erreurs Quad
82 # Err = numpy.array(["itér", "Err_Pred_Perf", "Err_Pred_Emotion", "Err_Pred_Général", "K", "Beta", "L
83 NbreLigneMatErr = 0 # Compte le nombre de lignes de la Matrice des erreurs Quad
84 w2 = w2.T # Transposée de la matrice w2. En effet la deuxième matrice est transposée avant le pro
85 w3 = w3.T # Transposée de la matrice w3o pour le produit de w1 par w3
86
87 for step in range(steps): # Parcours des entiers de 0 à steps-1. step est la variable de parcours
88 # print (step)
89 sys.stdout.flush()
90 # update_progress(step/steps)
91 # Début du processus de mise à jour des paramètres par la descente du gradient stochastique po
92
93 # ***** MATRICE R ***** (w1) et (w2)*****
94 phi = 1
95 phiR = 1
96 for i in range(len(R)): # Pour i allant de 0 jusqu'au nombre de lignes-1 de la matrice R1, en
97 for j in range(len(R[1])): # Pour j allant de 0 jusqu'au nombre de colonnes-1 de la matrice
98 if R[i][j] > -1: # Pour ne pas prendre en compte les données manquantes, car elles sont
99 try:
100     eij = R[i][j] - numpy.dot(w1[i,:],w2[:,j]) # Calcul de l'erreur de prédiction =
101 except IndexError:
102     print("Oops! i = ",i,"and len(w1) = ",len(w1))
103     w1[i,:]
104     break
105 for k in range(K): # k allant de 0 à K-1 (nombre de facteurs Latents)
106 # Mise à jour des paramètres
107 w1[i][k] = w1[i][k] + beta * (2 * phi * eij * w2[k][j] - lambda * w1[i][k]) # M1
108 w2[k][j] = w2[k][j] + beta * (2 * phi * eij * w1[i][k] - lambda * w2[k][j]) # M2
109
110

```

Figure. 19. Capture d'écran lors de l'évaluation de l'approche WRMFM

WRMF est une technique qui permet non seulement de prendre en compte différentes relations de domaine mais aussi d'ajouter un facteur poids qui symbolise le degré d'importance des différentes relations afin de mapper les compétences et les tâches. Pour évaluer cette approche de factorisation matricielle, nous nous sommes essentiellement appuyer sur les matrices  $R$  et  $A$ . La relation principale est « l'apprenant exécute la tâche » avec une valeur de poids égale à 1 et la relation secondaire est « l'apprenant a acquis » avec une valeur de poids égale à 0,9. Après évaluation, les paramètres qui optimisent le modèle ont été consignés dans le tableau 5.

Tableau. 5 : Paramètres d'optimisation

Paramètres du modèle WRMFM	
$K = 2$	#iter = 41 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:3:28$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$
$K = 3$	#iter = 36 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:3:58$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$
$K = 4$	#iter = 10 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:4:45$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$
$K = 5$	#iter = 41 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:5:46$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$
$K = 6$	#iter = 85 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:6:11$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$
$K = 7$	#iter = 44 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $T = 0:7:1$ ; $\Theta \in \{1;0.9\}$

La figure (20) donne l'évolution des erreurs MAE et RMSE en fonction du nombre d'itérations. Ces différentes erreurs de prédiction sont calculées par les équations (02) et (03) en utilisant la Q-Matrix des experts et la Q-Matrix prédite par le modèle.

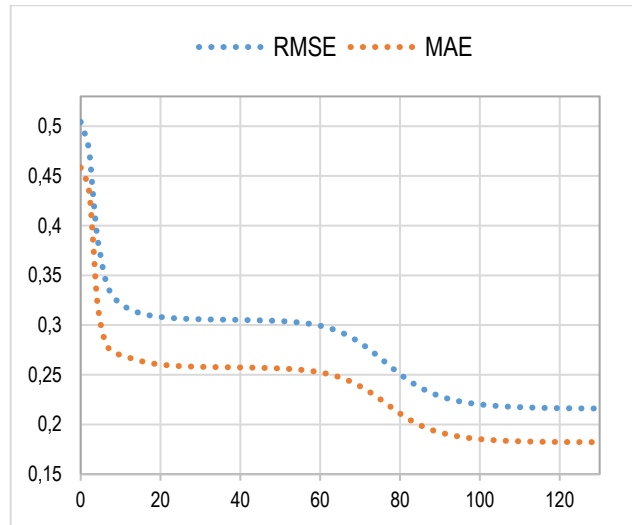


Figure. 20 : Évolution de RMSE et MAE par itérations

Nous obtenons une erreur RMSE = 0.216 et MAE = 0.182 à partir de 113 itérations. Cette erreur représente une forme de discordance entre la Q-Matrix des experts et la Q-Matrix prédite par le modèle. Ceci nous a conduit à calculer la similarité entre ces deux matrices en fonction du nombre de facteurs latents comme présenté dans la figure (16).

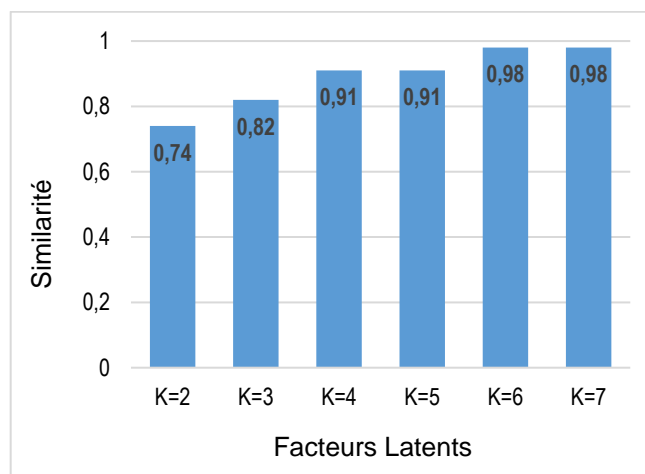


Figure. 21 : Similarité entre la Q-Matrice et la Q-Matrice prédite pour différentes valeurs de facteurs latents

Pour  $K=6$ , la similarité entre la Q-matrice des experts et la Q-matrice prédite est de 0,98, ce qui dénote 378 irrégularités sur 16800 ( $84 \times 200$ ).

#### 4.6.2 Validation de l'approche proposée

La figure 22a présente la Q-Matrice des experts et la figure 22b présente la Q-Matrice Q prédite par le modèle WRMRF. La figure 22b montre certaines irrégularités mises en évidence.

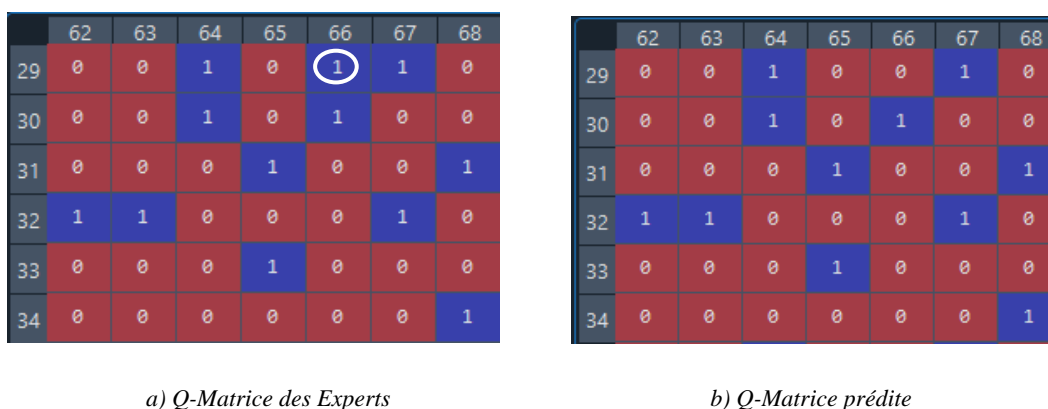


Figure. 22 : Extrait de la Q-Matrice des experts et de la Q-Matrice prédite par le modèle

Les 378 irrégularités relevées lors de l'évaluation ont été soumises à l'avis des Experts qui ont conçu la Q-matrice. Ces irrégularités sont considérées comme des propositions des Q-Matrices basées sur l'apprentissage matriciel effectué à l'aide des matrices  $R$  et  $A$ .

Il ressort de leur analyse que, sur les 378 propositions faites par notre approche de factorisation matricielle, ces experts en jugent 313 recevables, soit un taux d'amélioration de 82,8%. Ce résultat confirme que notre approche permet non seulement de cartographier les tâches et les compétences mais aussi d'améliorer significativement la mise à jour des curricula.

## 4.7 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons proposé premièrement un cadre d'élaboration de Q-Matrice. La validation de cette Q-Matrice des Experts s'est faite en s'appuyant sur un algorithme d'hierarchisation des tâches. Ensuite nous avons proposé une approche de regroupement d'items qui vise à apporter une réponse à la problématique d'inéquation des contenus en Approche Par Compétences. Cette approche s'appuie sur la technique de Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée. Elle utilise deux types de relations que sont la relation « apprenant effectuée

tâche » et la relation « apprenant a des acquis » pour construire la relation « tâche requiert compétence ». Et pour terminer, nous avons mesurer l'écart entre la Q-Matrice proposée par les Experts et la Q-Matrice prédite par notre approche de Factorisation Matricielle. Ce calcul de l'écart a montré que sur 378 propositions faites par notre approche, 313 ont été jugées recevables par ces experts soit un taux d'amélioration de 82,8 % de la Q-Matrice des experts. Cela confirme la précision de prédiction de notre approche dans le champ de la découverte des compétences.

CHAPITRE 5 : **APPROCHE HYBRIDE**  
**POUR AFFINER LA PRÉDICTION DE LA**  
**Q-MATRICE**

Sommaire

---

5.1 INTRODUCTION PARTIELLE .....	85
5.2 CONTEXTE ET MOTIVATION .....	85
5.3 ETAT DE L'ART SUR L'AFFINEMENT DES CARTOGRAPHIES TÂCHES - COMPÉTENCES .....	86
5.4 APPROCHE $S_K$ – WMRMF PROPOSÉE.....	88
5.5 EVALUATION DE L'APPROCHE PROPOSÉE.....	93
5.6 RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	94
5.7 CONCLUSION PARTIELLE .....	98

---

## 5.1 Introduction partielle

Les outils d'élaboration automatique des cartographies « tâches – compétence » se présentent d'une importance capitale pour les acteurs du système éducatif. Dans la littérature associée, plusieurs approches ont été proposées pour résoudre le problème d'élaboration automatique de Q-Matrice. Malheureusement, ces approches ne tiennent pas compte de la redondance des tâches dans la prédiction de la Q-Matrice.

L'objectif de ce chapitre consiste à formuler une approche hybride qui tire parti des performances du modèle WMRMF (Weighted Matrix Reconstruction Matrix Factorization) et de la mesure de Kappa de Cohen ( $S_k$ ) afin d'optimiser la précision dans la prédiction des Q-Matrices. Différemment des travaux proposés dans le chapitre précédent, cette contribution essaie de déterminer la similarité entre les tâches proposées par les experts du domaine en intégrant une nouvelle relation du domaine représentée sous forme de matrice carré. L'approche avancée dans ce chapitre vise à affiner la prédiction de la Q-Matrice en intégrant non seulement les aptitudes cognitives, mais aussi la relation réflexive « tâche requiert tâche ». En plus des relations « Apprenant effectue Tâche » et « Apprenant – a appris – Compétences » pour prédire la relation « Tâche – requiert – compétences », cette approche intègre la relation « Tâche – requiert – Tâches ».

Le chapitre est organisé de la manière suivante : La section 5.2 expose le contexte ainsi que la motivation entourant cette orientation. Ensuite, la section 5.3 présente un état de l'art des techniques employées pour affiner les cartographies « tâches – compétences ». Puis la section 5.3 décrit l'approche WMRMF –  $S_k$  proposée. La section 5.4 présente une évaluation systématique de la méthodologie proposée, comparant et discutant les résultats obtenus avec ceux de l'état de l'art. Et pour conclure, la section 5.5 résume les résultats et conclusions de ce chapitre.

## 5.2 Contexte et motivation

L'évaluation de l'efficacité des systèmes éducatifs a montré la nécessité d'opérer des réformes au niveau des programmes éducatifs [17]. Ces réformes visent particulièrement à améliorer la qualité de l'apprentissage et sont traduites dans de nombreux pays francophones par l'adoption de l'Approche Par Compétence (APC) [20]. Les auteurs tels que Perrenoud [164] et

Mansour [165] ont consacré leurs travaux sur cette approche pédagogique. Les conclusions de leurs études ont présenté l'APC comme étant un catalyseur pour l'amélioration des programmes d'enseignement [21]. Dans cette dynamique, elle apporte une réponse à la problématique de l'efficacité des systèmes éducatifs. Elle engendre un changement de paradigme tant au niveau des méthodes et techniques de l'enseignement qu'au niveau de l'élaboration des contenus d'apprentissage [22]. En effet, différemment de la Pédagogie Par Objectif basée uniquement sur les travaux de Bloom [1], l'APC intègre outre cette approche d'élaboration de l'apprentissage, le séquençage de l'apprentissage par produit [45]. Ainsi les connaissances préalables habituellement définies comme des tâches de prérequis ne sont nécessairement pas obligatoire dans le cadre du séquençage de l'apprentissage par produit. En effet, dans le cadre de la maîtrise des compétences psychomotrices telles que la cuisson d'un pâton en boulangerie, si l'objectif recherché est de réussir le façonnage de la pâte, la maîtrise des étapes intermédiaires telles que le pétrissage n'est parfois pas nécessaire pour la maîtrise de la compétence. Dans ce contexte, les tâches proposées par les experts du domaine peuvent parfois se présenter comme des redondances dans les cartographies tâches – compétences. Malheureusement celles - ci se présentent comme des biais dans le regroupement des items éducatifs. Ainsi, la présente contribution, vise donc à apporter une solution à ce problème d'élaboration de contenus d'apprentissage à l'aide d'une approche de Machine Learning qui s'appuie un modèle de Factorisation Matricielle Multi- Relationnelle Pondérée. Cette étude s'inscrit dans la continuité de nos travaux menés [166] dans le champ du regroupement des items éducatifs. L'étude menée ici vise à affiner le regroupement des items éducatifs et par conséquent l'élaboration des programmes éducatifs. Elle s'appuie par ailleurs sur les travaux [167] utilisant la technique de Factorisation Matricielle s'appuyant sur les attributs socio – émotionnelles pour la prédiction de la performance des apprenants.

### **5.3 Etat de l'art sur l'affinement des cartographies tâches - compétences**

L'adoption de l'APC dans le système éducatif viserait à apporter une réponse à l'élaboration de programmes éducatifs répondant aux besoins économiques, socioculturels et scientifiques de la société. Ainsi pour faciliter le basculement à cette approche pédagogique, des outils d'élaboration de cartographie « tâches – compétences » sont proposés pour aider les acteurs de l'éducation. Dans la littérature, il existe deux grandes approches pour le regroupement des items éducatifs. Les approches basées sur les mesures de similarité et celles basées sur les modèles [106].

L'hypothèse sous-jacente aux approches basées sur les mesures de similarité stipule que les apprenants présenteront des performances similaires dans des tâches exigeant une compétence similaire. Ainsi, elles visent à repérer les similitudes entre différentes paires de tâches. Dans ce contexte, Řihák et Pelánek [108], ont identifié sept (7) mesures de similarité spécifiques à l'éducation. Les résultats de leurs travaux en terme de calcul l'indice de Rand montrent clairement que la méthode Kappa de Cohen donne de meilleurs résultats pour le regroupement d'items éducatifs. Toutefois cette méthode ne tient pas compte de la notion d'apprentissage dans le contexte du regroupement d'items éducatif. En effet, les mesures de similarité dans le domaine éducatif présupposent de façon implicite que le trait latent (la maîtrise d'une tâche ou compétence spécifique) reste constant pendant l'activité d'apprentissage qui a engendré les performances. Ainsi, la performance des apprenants aux tâches appartenant à la même compétence devrait être fortement corrélées. Cela a motivé les auteurs tels que Nazaretsky et *al.*, [109] a proposé une nouvelle mesure de similarité appelée Kappa Learning permettant d'améliorer la méthode Kappa.

Quant aux approches basées sur les modèles, elles cherchent à réduire la complexité du problème en identifiant les facteurs latents qui sous-tendent les tâches. De nombreux travaux utilisent les techniques basées sur la Factorisation Matricielle (FM) pour la construction des cartographies « tâches – compétences ». Dans ce contexte Jingu Kim et Haesun Park [112] proposent la méthode SNMF (Sparse Nonnegative Matrix Factorization). Cette méthode se présente comme une alternative viable pour le regroupement des items et donne de meilleurs résultats de regroupement d'items éducatif comparée à la méthode de K-Means. Différemment de la parcimonie introduite par ces auteurs dans la technique NMF (Nonnegative Matrix Factorization), Beheshti et Desmarais [113] proposent d'introduire des contraintes d'ordre partiel dans la FM. Ils s'appuient sur l'hypothèse selon laquelle si une tâche difficile est réussie, une tâche plus facile devrait l'être également. Une autre technique de FM toujours basée sur la technique NMF est proposée par Desmarais et *al.*, [114]. Cette technique s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle toute compétence requise manquante entraînera un échec lors de l'accomplissement d'une tâche. La NMF (Non-Negative Matrix Factorization) s'est avérée efficace pour les tâches à compétence unique d'où le besoin de tenir compte des tâches à compétences multiples dans la mise en relation tâches – compétences. Dans cette perspective, de nouvelles techniques de FM sont proposées pour améliorer et répondre aux limites de la NMF notamment la technique ALS (Factorisation Alternative des Moindres Carrés). La technique ALS apporte une réponse aux

problèmes de solutions uniques et de minima locaux. Pour remédier à ces problèmes, Desmarais et Naceur [115] proposent pour la mise en relation tâches – compétences de s'appuyer sur la cartographie tâches – compétences proposée par les experts du domaine. Pour les auteurs, la Q-Matrice prédite après minimisation divergera le moins possible de la matrice initiale, rendant ainsi la comparaison avec la Q-Matrice de l'expert et son amélioration plus réalisable.

Dans une étude précédente, nous proposons la technique WMRMF (Weighed Multi-Relationnal Matrix Factorization) comme une alternative au regroupement des items éducatifs. Différemment de la technique ALS, la technique WMRMF s'appuie sur plusieurs relations pour prédire la cartographie « tâches – compétences » des experts. Les auteurs obtiennent une erreur RMSE de 0,216 qui présente une forme de disparité entre la Q-Matrice proposées par les experts et la Q-Matrice prédite par le modèle. Cette disparité pourrait être assimilée à une redondance des tâches d'apprentissage dans la cartographie proposée par les experts du domaine. Malheureusement, aucune de ces méthodes de la littérature ne tient compte de cette redondance des tâches dans le regroupement des items éducatifs. La présente contribution vise donc à résoudre ce problème. Pour cela, nous proposons une nouvelle approche de regroupement d'items éducatifs s'appuyant sur la technique Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (WMRMF) et la mesure de Kappa de Cohen.

#### **5.4 Approche $Sk$ – WMRMF proposée**

Notre approche combine la technique Factorisation Matricielle Multi-Relationnelle Pondérée (WMRMF) et la mesure de Kappa de Cohen ( $Sk$ ). Dans cette contribution, nous proposons une approche hybride de regroupement d'items éducatifs qui apporte une réponse à la redondance des tâches dans l'élaboration des cartographies tâches – compétences. L'approche proposée est appelée  $Sk$  – WMRMF (Cohen's Kappa – Weighted Multi-Relational Matrix Factorization). Elle repose essentiellement sur les travaux réalisés dans [120][166]. La prise en compte de la problématique de la redondance des tâches dans l'élaboration des cartographies tâches – compétences suggère au préalable, le choix de la méthode de séquençage de l'apprentissage.

### 5.4.1 Formulation du problème

En plus des relations « Apprenants – effectue – Tâches » représentée sous la forme d’une matrice de résultats  $R \in \mathbb{R}^{S \times I}$  désignant la note obtenue par l’apprenant  $s$  à la réalisation de la tâche  $I$ , « Apprenant – a – des Acquis » représentée sous la forme d’une matrice des acquis  $A \in \mathbb{R}^{S \times K}$  désignant le niveau de maîtrise des différentes compétences  $K$  par les apprenants  $s$ , nous nous appuyons également sur la relation réflexive « Tâches – requiert – Tâches » représentée sous la forme d’une matrice des tâches  $T \in \mathbb{R}^{T \times T}$  pour prédire la matrice  $Q \in \mathbb{R}^{K \times I}$ . À cette fin, nous présentons un nouveau diagramme entité-association visant à représenter graphiquement les diverses informations prises en considération dans cette approche (Figure 23).

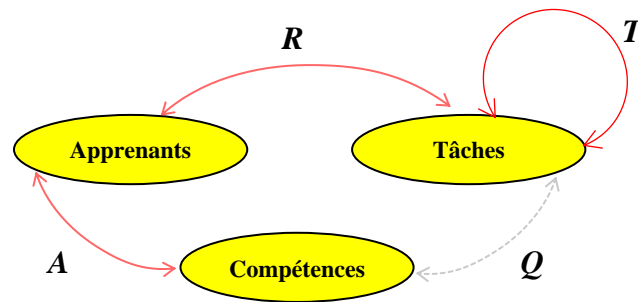


Figure. 23. Relations prises en compte dans l'approche proposée

Cette relation définit la similarité entre les tâches proposées par les experts du domaine et est représentée sous forme de matrice carrée dans laquelle les lignes et les colonnes représentent les tâches effectuées par les apprenants. Pour le calcul de la similarité de deux (2) tâches  $q_1$  et  $q_2$  notée  $T_{q_1, q_2}$ , nous nous référons à la matrice de performance qui donne une synthèse des différentes réponses concernant ces deux tâches en utilisant la formule de Kappa exprimée par l'équation (5). Les différentes performances des apprenants ont été obtenues lors des différentes évaluations (tests, quizz). La valeur de Kappa  $T_{q_1, q_2}$  relative à deux tâches  $q_1$  et  $q_2$  est un nombre appartenant à l'intervalle  $[-1,1]$ . Le tableau ci-dessous montre un ensemble de valeur de Kappa pour sept (7) tâches.

Tableau 6 : Extrait de la matrice de similarité pour 7 tâches

		Tâches						
		$q_{28}$	$q_{29}$	$q_{30}$	$q_{31}$	$q_{32}$	$q_{33}$	$q_{34}$
Tâches	$q_{28}$	1	0.285	0.987	-0.363	0.285	0.545	0.285
	$q_{29}$	0.285	1	0.285	0.960	0.615	-0.666	-0.153
	$q_{30}$	0.987	0.285	1	0.285	-0.363	0.285	0.545
	$q_{31}$	-0.363	0.960	0.285	1	0.615	-0.666	-0.153
	$q_{32}$	0.285	0.615	-0.363	0.615	1	-0.92	-0.666
	$q_{33}$	0.545	-0.666	0.285	-0.666	-0.92	1	0.615
	$q_{34}$	0.285	-0.153	0.545	-0.153	-0.666	0.615	1

Il ressort de l'analyse des résultats du calcul de similarité que les tâches  $q_{28}$  et  $q_{30}$  sont similaires, la valeur du coefficient de similarité  $T_{q_{28}q_{30}}$  tend vers 1 tandis que le coefficient de similarité de  $q_{28}$  et  $q_{33}$  tend vers -1.

#### 5.4.2 Mesure de Kappa de Cohen

Kappa de Cohen est un indice sans dimension qui peut être utilisé pour exprimer l'accord entre deux évaluateurs en un seul nombre. Parfois abrégé Kappa et noté  $Sk$ , elle est une mesure d'accord inter-juges pour les échelles nominales [158]. Généralement dans le contexte de regroupement des items éducatifs, les tâches ou items sont définies comme des évaluateurs, les apprenants comme les sujets à classer et les réponses des apprenants comme des résultats de classification. Les réponses des apprenants à une tâche sont formalisées par les réponses correctes / incorrectes et notées 1 lorsque la réponse est correcte et 0 lorsque la réponse est incorrecte. En nous appuyant sur cette définition, nous considérons un tableau de contingence résumant les réponses des apprenants à deux items (tâches) différents :  $i$  et  $j$ . Supposons que  $n$  apprenants aient répondu aux deux items (tâches). Le nombre d'apprenants dans chaque cellule est défini comme suit (Tableau 7) :

Tableau 7 : Tableau de contingence pour les items  $i$  et  $j$

		<i>item<sub>j</sub></i>		
		<i>Correct</i>	<i>Incorrect</i>	
<i>item<sub>i</sub></i>	<i>Correct</i>	$a$	$b$	$a + b$
	<i>Incorrect</i>	$c$	$d$	$c + d$
		$a + c$	$b + d$	$n$

- $a$  – nombre d'apprenant ayant correctement répondu à  $i$  et  $j$ . c'est un point d'accord.
- $b$  – nombre d'apprenant ayant incorrectement répondu à  $i$  et correctement à  $j$ . c'est un point de désaccord.
- $c$  – nombre d'apprenant ayant correctement répondu à  $i$  et incorrectement à  $j$ . c'est un point d'accord.
- $d$  – nombre d'apprenant ayant incorrectement répondu à  $i$  et à  $j$ . c'est un point d'accord.
- $n = a + b + c + d$

Le nombre de cas sur lesquels les évaluateurs s'accordent équivaut à  $a + d$ . Cet accord est formalisé par l'équation (7) [169].

$$P_o = \frac{a + d}{n} \quad (13)$$

Les items sont indépendants en ce sens que chaque item « évalue » indépendamment si un apprenant appartient à une catégorie d'apprenants maîtrisant une compétence bien donnée. Ainsi, nous pourrions calculer le niveau d'accord qui est attendu par hasard comme une somme de produits de probabilités marginales.

$$P_e = \frac{(a + b)(a + c) + (b + d)(c + d)}{n^2} \quad (14)$$

En faisant la substitution de  $P_o$  et  $P_e$  dans l'équation (13) nous obtenons l'équation (14).

$$T_{ij} = \frac{2(ad - bc)}{(a + b)(a + d) + (a + c)(c + d)} \quad (15)$$

### 5.4.3 Phase d'apprentissage : proposition d'algorithme de mise à jour des paramètres

Pour la phase d'apprentissage, nous avons utilisé la matrice de performances ( $R$ ), la matrice des acquis ( $A$ ) et la matrice de similarités des tâches ( $T$ ). L'ensemble des données est constitué de 40 000 performances (200 apprenants x 200 tâches), 16 800 acquis (84 compétences x 200 apprenants) et 19 900 mesures de similarités. Pour la phase d'apprentissage, nous avons utilisé la validation croisée soit 4/5 pour la phase d'apprentissage et 1/5 pour la phase de test. Les paramètres du modèle sont :

- $W_1$  désigne une matrice dans laquelle chaque ligne  $s$  représente un vecteur qui contient  $F$  facteurs latents décrivant au mieux le profil de l'apprenant  $s$
- $W_2$  désigne une matrice où chaque ligne  $i$  est un vecteur contenant les  $F$  facteurs latents décrivant la tâche  $i$
- $W_3$  désigne une matrice où chaque ligne  $c$  est un vecteur contenant les  $F$  facteurs latents décrivant la compétence  $c$

La mise à jour des paramètres de notre approche (équations 12 et 13) s'est faite en utilisant la technique de descente de gradient stochastique.

Pour la phase d'apprentissage, nous avons utilisé une méthodologie qui s'appuie sur l'algorithme de descente de gradient stochastique à travers 4 étapes :

- A l'étape 1, nous initialisons les paramètres du modèle  $w_1$ ,  $w_2$  et  $w_3$  à partir de la distribution normale  $N(\mu, \sigma^2)$  en prenant pour espérance  $\mu = 0$  et pour écart-type  $\sigma = 0.01$
- Ensuite (étape 2), nous calculons l'erreur de prédiction pour une matrice donnée ( $R$ ,  $A$  et  $T$ ) à partir de l'équation (3).
- Puis (étape 3), nous mettons à jour les paramètres du modèle à partir des équations (4) et (5).
- Et pour terminer (étape 4), pour un couple  $(i, j)$  appartenant à l'une des matrices ( $R$ ,  $A$ , et  $T$ ) nous répétons les étapes 2 et 3 jusqu'à optimisation des paramètres  $w_1$ ,  $w_2$  et  $w_3$ .

## 5.5 Evaluation de l'approche proposée

### 5.5.1 Ensemble de données

Pour l'élaboration de l'ensemble de données, nous avons travaillé avec onze (11) enseignants la discipline des mathématiques du Lycée Moderne Khalil (Daloa, Côte d'Ivoire) durant l'année scolaire 2021 – 2022. Ce travail a duré trois (3) mois et a connu la participation des apprenants aux activités d'apprentissage. Cette participation a permis d'obtenir la matrice des acquis. Par ailleurs à partir du guide et programmes de la classe de Première D élaborés par le Ministère de l'Education Nationale (MEN), ces enseignants ont proposé des tâches (tests, QCM) sous – jacentes aux compétences proposées. Ces différentes tâches (200) ont été soumises à l'ensemble des apprenants (200) lors des sessions d'évaluations. Les différentes notes obtenues par les apprenants ont permis de construire la matrice de performance. Cette matrice est constituée de 40 000 performances. L'objectif principal étant d'affiner la prédiction de la Q-Matrice, nous nous sommes également appuyés sur la cartographie tâches – compétences proposée par les experts en intégrant la similarité des tâches, un facteur important dans l'élaboration des contenus d'apprentissage en APC. Toutes ces matrices seront utilisées comme sources de données pour notre approche proposée.

### 5.5.2 Evaluation

Pour l'évaluation de notre approche de Factorisation, nous avons utilisé l'ensemble de données issue des Matrices  $R$  et  $A$ . Cet échantillon est composé de :

- 200 apprenants ;
- 200 tâches ;
- 84 compétences ;

Nous avons utilisé deux jeux de données : un pour l'apprentissage machine et l'autre pour le test. Pour effectuer une validation croisée (voir section 3.3), nous avons utilisé 9/10 des performances pour la phase d'apprentissage machine et 1/10 pour la phase de prédiction.

Les paramètres du modèle sont :

- $W_1$  désigne une matrice dans laquelle chaque ligne  $s$  représente un vecteur qui contient  $F$  facteurs latents décrivant au mieux le profil de l'apprenant  $s$
- $W_2$  désigne une matrice où chaque ligne  $i$  est un vecteur contenant les  $F$  facteurs latents décrivant la tâche  $i$
- $W_3$  désigne une matrice où chaque ligne  $c$  est un vecteur contenant les  $F$  facteurs latents décrivant la compétence  $c$

Pour la phase d'apprentissage, nous avons utilisé une méthodologie qui s'appuie sur l'algorithme de descente de gradient stochastique à travers 4 étapes :

- A l'étape 1, nous initialisons les paramètres du modèle  $w_1, w_2$  et  $w_3$  à partir de la distribution normale  $N(\mu, \sigma^2)$  en prenant pour espérance  $\mu = 0$  et pour écart-type  $\sigma = 0.01$ .
- Ensuite (étape 2), nous calculons l'erreur de prédiction pour une matrice donnée ( $R, A$  et  $T$ ) à partir de l'équation (3).
- Puis (étape 3), nous mettons à jour les paramètres du modèle à partir des équations (4) et (5).
- Et pour terminer (étape 4), pour un couple  $(i, j)$  appartenant à l'une des matrices ( $R, A$ , et  $T$ ) nous répétons les étapes 2 et 3 jusqu'à optimisation des paramètres  $w_1, w_2$  et  $w_3$ .

## 5.6 Résultats et discussion

Cette section présente les différents résultats de RMSE et de Kappa de Cohen obtenus. Elle examine ces résultats tout en appliquant une fenêtre de validation de ces résultats par des experts.

De même pour l'évaluation de cette approche, nous avons utilisé un environnement de travail Windows 64 bits, 16 Gb de RAM avec un processeur Intel Core i5. Notre algorithme a été simulé avec le langage Python. La mise à jour des paramètres de notre approche (équations 12 et 13) s'est faite en utilisation la technique de descente de gradient stochastique.

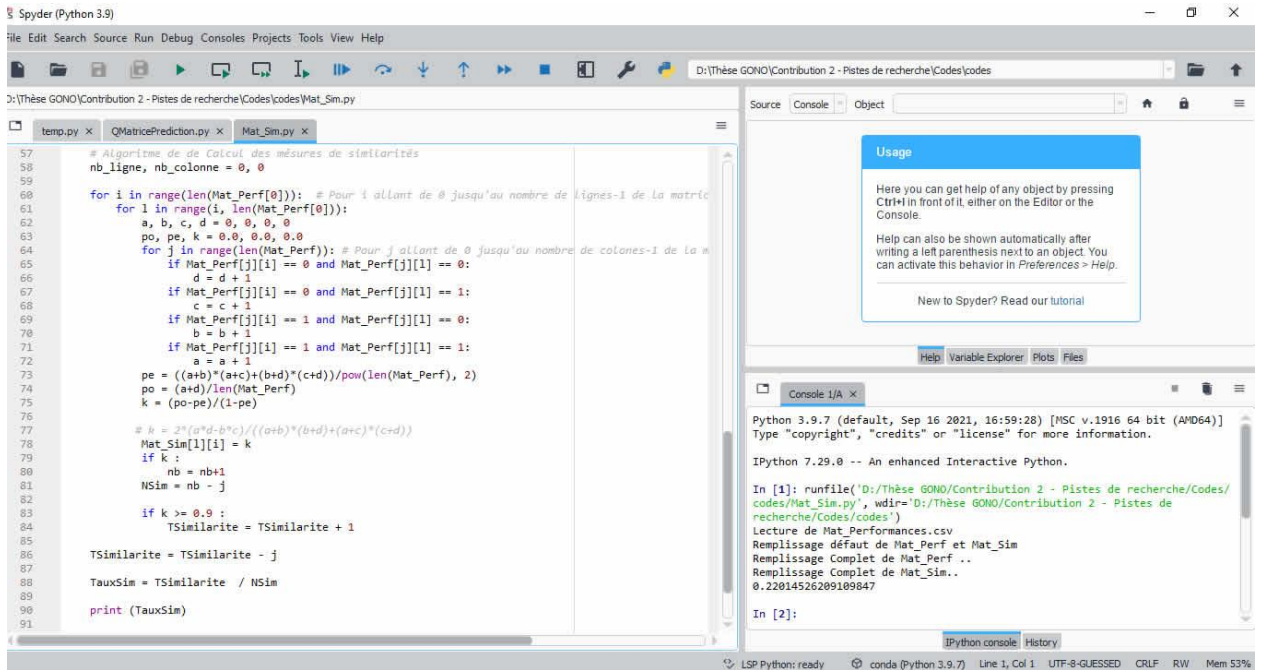


Figure. 24. Capture d'écran lors de l'évaluation de l'approche  $Sk$  - WMRMF

Cette contribution vise à optimiser le regroupement des items éducatifs en tenant compte de la redondance des tâches dans les cartographies tâches - compétences. A la différence des travaux menés dans la contribution précédente, nous avons étendu la technique WMRMF pour la prise en compte de la redondance des tâches.

Tableau. 8 : Paramètres d'optimisation

Méthodes	Paramètres
<b>WMRMF</b>	$K = 6$ ; #iter = 113 ; $\beta = 10^{-2}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $\Theta_R = 1$ ; $\Theta_A = 0.9$ ;
<b><math>Sk</math> - WMRMF</b>	$K = 5$ ; #iter = 149 ; $\beta = 10^{-4}$ ; $\lambda = 0.015$ ; $\Theta_R = 1$ ; $\Theta_A = 0.9$ ; $\Theta_T = 1$

La figure 21 illustre les résultats de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE) au bout de 149 itérations. Cette erreur est calculée par l'équation (03) en utilisant la Q-Matrice des experts prédite par le modèle WMRMF et la Q-Matrice prédite par le modèle  $Sk$  - WMRMF.

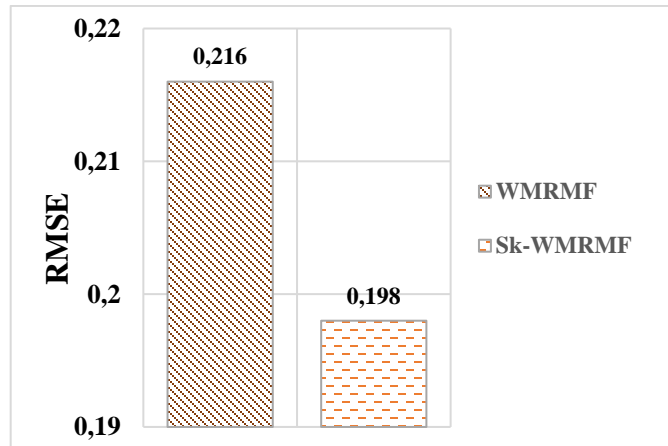


Figure. 25. Résultats RMSE pour les modèles WMRMF et Sk - WMRMF

Nous obtenons une erreur RMSE = 0,216 pour le modèle WMRMF à partir de 113 itérations et une erreur RMSE = 0,198 pour notre approche proposée à partir de 149 itérations. Les erreurs RMSE constituent dans le cadre la prédiction de la Q-Matrice une forme de disparité entre la Q-Matrice de base à savoir celle élaborée avec l'appui des experts du domaine et celles prédites par les différents modèles.

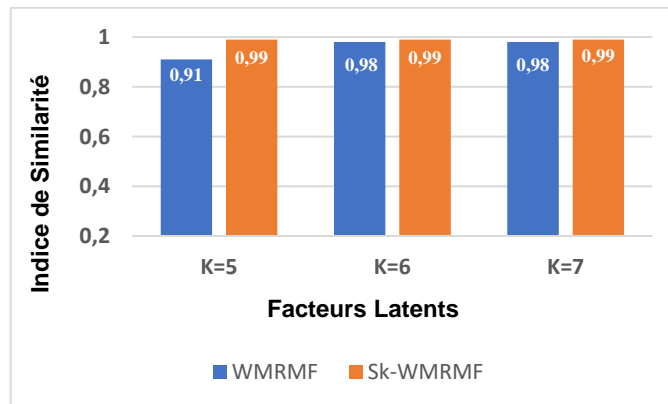


Figure. 26. Indices de similarité entre la Q-Matrice des Experts et la Q-Matrice prédite par les modèles WMRMF et Sk – WMRMF

La figure 26 présente les indices de similarité entre la matrice prédite par les modèles WMRMF, Sk – WMRMF et la Q-Matrice des Experts. Pour  $K = 5$  et  $K = 6$ , l'indice de similarité entre la Q-Matrice des experts et celle prédite par notre approche est 0,99 contre 0,91 et 0,98 avec l'approche WMRMF. Ainsi l'approche Sk – WMRMF indexe 168 irrégularités sur 16800 (84 x 200) contre

378 irrégularités pour l'approche WMRMF. Pour valider l'approche  $Sk - WMRMF$  proposée, nous avons également soumis les irrégularités relevées lors de l'évaluation à l'avis des experts. L'analyse révèle que parmi les 168 propositions générées, les experts considèrent 152 comme étant recevables, soit un taux d'amélioration de 90,47% contre 82,8% pour la technique WMRMF. Les résultats montrent que la prise en compte de la relation réflexive « Tâches – requiert – Tâches » améliore significativement la prédiction de la Q-Matrice des Experts. Elle réduit considérablement les irrégularités soumises à l'avis des Experts, irrégularités supposées être des tâches redondantes dans les cartographies « Taches – Compétences ».

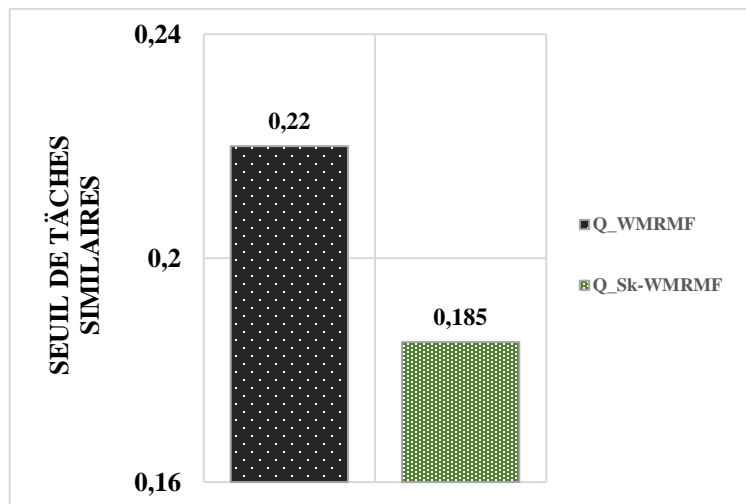


Figure. 27. Seuil de tâches redondantes admis dans l'élaboration des Q-Matrices des Experts pour les modèles WMRMF et  $Sk - WMRMF$

La figure 27 présente le seuil de tâches redondantes admis dans l'élaboration de Q-Matrice. Le taux de tâches redondantes obtenu à partir de la Q-Matrice des Experts prédite par la technique WMRMF est de 0,22 et de 0,185 pour la technique proposée. L'approche proposée ayant améliorée la prédiction de la Q-Matrice, le seuil suggéré est de 0,185 pour une meilleure prédiction de la Q-Matrice des Experts.

### 5.6.1 Discussion

Les résultats présentés dans les figures 26 et 27 montrent clairement que le modèle  $Sk - WMRMF$  présente une meilleure précision dans l'élaboration des cartographies « tâches - compétences ». Cette observation pourrait être rationalisée par le postulat selon lequel la

redondance des tâches dans l'élaboration des contenus d'apprentissage selon l'APC est susceptible d'exercer une influence sur le regroupement des items éducatifs. Dans le même sens, elle contribue à faciliter l'élaboration des stratégies d'apprentissage et la maîtrise de la compétence. Selon Tagne et *al.*, [13] l'APC devrait contribuer à décloisonner les contenus à apprendre, à faire le lien entre les stratégies et les contenus en lien de manière à améliorer la participation et la motivation des apprenants. Malheureusement les représentations et pratiques sociales associées à cette approche pédagogique et le manque de manuels d'apprentissage orientent encore vers le choix de la PPO en tant que modèle pédagogique privilégié. Cette hypothèse est soutenue par les résultats à la figure 4 qui présente le seuil de tâches redondantes admis dans l'élaboration de la Q-Matrice des Experts. Ces résultats démontrent le nombre de tâches redondantes est un biais dans le regroupement des items éducatif.

## 5.7 Conclusion partielle

Dans la présente contribution, nous avons proposé une nouvelle approche de regroupement d'items éducatif pour apporter une réponse à la redondance des tâches dans les cartographies « tâches – compétences ». Elle s'appuie sur une technique d'ensemble combinant la technique de Factorisation Matricielle et la mesure de Kappa de Cohen. Différemment de la technique WMRMF qui s'appuie sur les relations « Apprenants – effectue – Tâches » et « Apprenant – a – des Acquis », la technique  $Sk - WMRMF$  outre ces relations, la relation « Tâches – requiert – Tâches ». En appliquant la métrique RMSE à notre approche  $Sk - WMRMF$ , les résultats expérimentaux sur l'ensemble de données collecté dans un établissement d'enseignement secondaire général (Côte d'Ivoire), nous obtenons un  $RMSE = 0.198$ . Egalement avec 178 propositions faites par l'approche, 152 ont été jugées recevables soit un taux de 90,47% d'amélioration de la Q-Matrice des Experts. Ce résultat montre que notre approche permet d'affiner le regroupement d'items éducatifs mais d'améliorer le contenu d'apprentissage proposé dans le contexte de l'Approche Par Compétence. Dans les travaux futurs, évaluer la viabilité des contenus d'apprentissage proposés par l'Enseignement Technique, la Formation Professionnelle et de l'Apprentissage pourrait aider les acteurs à améliorer tant l'efficacité du système éducatif que la qualité de la main d'œuvre proposée.

# Conclusion générale et perspectives

## 1. Bilan

Dans le cadre des réformes visant à remédier à l'inefficacité du système éducatif ivoirien, une transition a été opérée du modèle de la Pédagogie par Objectifs (PPO) vers celui de l'Approche par Compétences (APC). Cette approche pédagogique cherche à réduire l'écart entre la formation théorique et la formation pratique en créant un environnement d'apprentissage similaire, voire identique, à celui du milieu de production. Elle a pour principal objectif de répondre aux limites inhérentes à la PPO, notamment l'inadéquation des contenus pédagogiques aux réalités ivoiriennes, la fragmentation excessive des connaissances, et la faible implication des apprenants dans le processus d'apprentissage. Cependant, l'absence d'un manuel standardisé pour l'évaluation des apprenants constitue un obstacle à la mise en œuvre effective de cette approche. Les travaux de recherche présentés dans cette thèse ont donc pour objectif de proposer un cadre pour l'élaboration de la Q-Matrice dans le contexte éducatif ivoirien. Ces recherches mettent l'accent sur le développement d'outils facilitant la mise en relation des tâches et des compétences, dans le but d'améliorer la qualité de la formation.

La première contribution de cette thèse a été de proposer un cadre méthodologique pour l'élaboration d'une Q-Matrice dans le contexte éducatif ivoirien. Au-delà de l'approche méthodologie classique proposée dans la littérature, nous avons proposé une autre étape à savoir celle d'ordonnement des tâches et compétences. A cet effet, nous avons développé un algorithme d'ordonnement des tâches et compétences s'appuyant sur le degré d'affinité (AAFS) et le score de satisfaction (SAS) des enseignants dans la réalisation des tâches d'apprentissages. Cette approche s'appuie sur les guides et programmes mis à disposition par le Ministère de l'Education Nationale et de l'Apprentissage (MENA) et les données sur l'évaluation des enseignants. Pour l'évaluation de notre algorithme d'ordonnement, nous avons utilisé la mesure de similarité de Kappa de Cohen afin de comparer la cartographie « tâches-compétences » fondée sur la pertinence des tâches proposée par les experts avec celle obtenue après ordonnancement (basée sur le SAS et l'AAFS). Nous obtenons un écart de correspondance de 352 liens. Ces liens ont été soumis à l'avis des experts et il ressort que 210 liens ont été jugés recevables soit un taux d'amélioration de 86% de la cartographie « tâches – compétences » proposée par les

experts. Parallèlement, une étude expérimentale a été menée en impliquant deux groupes d'apprenants : le premier groupe a suivi un parcours basé sur le SAS et l'AAFS, tandis que le second a suivi un parcours fondé sur la pertinence des tâches. Il ressort également que l'utilisation de la cartographies « tâches – compétences » basée sur les SAS / AAFS donne de meilleure performance que celle élaborée par les experts.

Notre deuxième contribution a été de proposer une méthode automatique d'élaboration de la Q-Matrice. A cet effet, nous avons proposé un modèle s'appuyant la technique de Factorisation Multi-Relationnelle utilisant différentes sources d'informations telles que les performances de l'apprenant, les compétences acquises par l'apprenant pour prédire la cartographie tâches – compétences. Pour évaluer notre approche, une étude expérimentale a été réalisée sur un ensemble d'apprenants du second cycle de l'enseignement général, inscrits en classe de Première D, au Lycée Moderne Khalil (Daloa, Côte d'Ivoire). Les résultats de l'évaluation de cette approche de Factorisation Matricielle ont montré, que la technique WMRMF arrive à prédire la cartographie tâche – compétences proposée par les Experts, avec une erreur RMSE en dessous de 0,216. Ensuite l'écart entre la Q-Matrice proposée par les Experts et celle prédite par la technique WMRMF a été calculé. Cet écart est considéré comme une forme de disparité dans le contexte de la prédiction de la Q-Matrice. Le calcul de l'écart a montré que sur 378 propositions faites par notre approche, 313 ont été jugées recevables par ces experts soit un taux d'amélioration de 82,8 % de la Q-Matrice des experts.

Ainsi notre dernière contribution a été d'affiner la prédiction de la Q-Matrice proposée par les Experts du domaine. A cet effet, nous avons proposé un modèle hybride intégrant la technique de Factorisation Matricielle Multi – Relationnelle pondérée et la mesure de Kappa de Cohen ( $Sk - WMRMF$ ) pour tenir compte des disparités (tâches de redondantes) exprimées dans l'approche WMRMF. En plus des relations « Apprenants – effectue – Tâches », « Apprenant – a – des Acquis » représentée sous la forme d'une matrice des acquis, nous nous appuyons également sur la relation réflexive « Tâches – requiert – Tâches » pour prédire la Q-Matrice. Pour évaluer l'approche  $Sk - WMRMF$  proposée, nous nous sommes appuyés sur le même ensemble de données que celle utilisée dans la contribution précédente. Les résultats de l'évaluation de cette approche ont montré, que la technique  $Sk - WMRMF$  arrive à affiner la cartographie tâche – compétences proposée par les Experts, avec une erreur  $RMSE = 0.198$ . Egalement avec 178 propositions faites par

l'approche, 152 ont été jugées recevables soit un taux de 90,47% d'amélioration de la Q-Matrice des Experts.

Les différents résultats de cette thèse montrent que la Q-Matrice permet d'aider à la mise en relation des tâches et compétences et par conséquent à apporter une réponse à la problématique de l'inadéquation des contenus d'apprentissage. Egalement ils ont permis de montrer que tous les tâches proposées n'ont pas de lien avec les compétences sous-jacentes ainsi intégrer les facteurs externes surtout les facteurs socio-économiques dans le contexte de l'APC pourrait améliorer considérablement cette activité de mise en relation de tâches-compétences.

## **2. Perspectives**

Les différents résultats de nos recherches ont des implications pour la modélisation de l'apprenant en général et plus particulièrement pour la prédiction des cartographies tâche-compétences. Bien que l'ensemble de nos travaux réalisés dans le cadre de cette étude ait permis d'affiner les résultats des prédictions des cartographies tâches-compétences, il est à noter cependant que ceux-ci font face à certaines limitations, laissant entrevoir des perspectives de recherche prometteuses. En voici quelques exemples :

### **2.1 Etendre l'élaboration de la Q-Matrice aux spécialités de l'ETFP**

L'Approche de prédiction de Q-Matrice proposée a été simulée sur des données issues sur les guides pédagogiques de l'enseignement général. Bien que l'Approche par Compétence soit mise en œuvre dans l'enseignement général et technique, le séquençage de l'apprentissage dans l'Enseignement Technique et la Formation Professionnelle (ETFP) intègre parfois des stratégies d'apprentissage différentes de l'enseignement général. En Effet, l'apprentissage de certaines tâches telles que la pose d'un bouton, le démontage d'une pièce mécanique nécessite de s'appuyer sur des stratégies d'apprentissage psychomotrices et même un séquençage de l'apprentissage par produit au lieu du séquençage étape par étape connue en enseignement général.

## **2.2 Elaboration de la Q-Matrice en intégrant les attributs socio – économiques des apprenants**

Dans notre approche de prédiction de la Q-Matrice nous nous appuyons sur les performances et acquis de l'apprenant. Intégrer les attributs socio – économiques de l'apprenant pourraient impacter positivement l'élaboration des Q-Matrices. En effet, les résultats de ces travaux ont montré que 17,2 % des tâches proposées n'ont pas pu être mises en relation avec les compétences, tâches souvent maîtrisées par les apprenants. Ainsi tenir compte des facteurs externes liées à l'apprentissage pourrait aider à mieux affiner l'élaboration des Q-Matrices

## **2.3 Affiner l'élaboration de la Q-Matrice**

La redondance des tâches demeure une préoccupation persistante dans la mise en relation de tâches – compétences. En effet, de nombreuses tâches proposées par les experts du domaine très souvent utilisée pour la maîtrise de certaines compétences sont redondantes car utilisées avec d'autres tâches pour la maîtrise de la même compétence. Egalement le nombre de tentative dans la résolution de la tâche pourrait être un indicateur important dans la mise en relation des tâches – compétences.

# Liste des publications

## Publications scientifiques:

**D. A. R Gono, A. Kouamé, K. M. Brou and B. T. Gooré, “Hybrid approach using Multi-Relational Weighted Matrix Factorization (WMRMF) and Cohen's Kappa ( $Sk$ ) to refine Educational Items Clustering”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Vol. 19 (7), eISSN : 1863-0383, 2024**

**D. A. R Gono, Z. F. O. Trey, K. A. Assielou and B. T. Gooré, “Tasks-skills mapping elaboration in the Ivorian educational context: Methodology and experience with the mathematics discipline”, *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, Vol. 12 (8), eISSN: 1168-1178, 2024**

**D. A. R. Gono, B. T. Gooré, Y. Tiecoura and K. A. Assielou, “Multi-Relational Matrix Factorization Approach for Educational Items Clustering”, *International Journal of Information and Education Technology (IJIET)* vol. 12, no. 1, pp. 42-47, 2023.**

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. BLOOM, *Bloom's taxonomy*. 1956.
- [2] M. SEAMAN, "BLOOM'S TAXONOMY," *Curric. Teach. Dialogue*, vol. 13, 2011.
- [3] H. M. Kliebard, "The Tyler Rationale revisited," *J. Curric. Stud.*, vol. 27, no. 01, pp. 81–88, 1995, doi: 10.1080/0022027950270107.
- [4] F. C. Lunenburg, "Curriculum Development : Inductive Models," *Sch. 2.1*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2011.
- [5] R. M. GAGNE and L. J. BRIGGS, "Principles of instructional design.," *Holt, Rinehart Winst.*, 1974.
- [6] F. Fotso, *De la pédagogie par objectifs à la pédagogie des compétences*. 2011.
- [7] R. Oyeniran, "Basic Education in Ivory Coast: From Education for All to Compulsory Education, Challenges and Perspectives," *J. Educ. Learn.*, vol. 6, no. 2, p. 283, 2017, doi: 10.5539/jel.v6n2p283.
- [8] O. Dangbégnon, "Côte d'Ivoire's Education System and Its Impact on Ivorians' Quality of Life," 2021, pp. 225–241.
- [9] ETFP, "Réforme de l'Enseignement Technique et la Formation Professionnelle 2016 - 2025," *J. Off. Côte d'Ivoire*, 2016.
- [10] J. FOURNIOL and M. GBATO, *Réforme de la formation professionnelle et technique en Côte d'Ivoire*. 2017.
- [11] Organisation Internationale de la Francophonie, *Conception et réalisation d'un guide d'organisation pédagogique et matérielle*. 2009.
- [12] M. Gbato, "Construire un système de formation professionnelle," *Rev. Int. d'éducation Sèvres*, no. 71, pp. 133–140, Apr. 2016, doi: 10.4000/ries.4637.
- [13] G. Tagne, D. Asoh, and C. Gauthier, "Réussite scolaire et réforme éducative selon l'Approche Par Compétences (APC) en Afrique Subsaharienne : résultats d'une étude comparative," *Rev. l'Association Francoph. Int. Rech. Sci. en Educ.*, vol. 16, pp. 76–97,

- 2016, [Online]. Available: <http://www.la-recherche-en-education.org/index.php/lre/article/view/281/152>.
- [14] PASEC, *Résumé exécutif PASEC2019 Qualité du système éducatif en Afrique subsaharienne francophone : Compétences et environnement d'enseignement-apprentissage au primaire*. 2020.
- [15] DAIP, "Mise en place d'un système de suivi des diplômés de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle en Côte d'Ivoire," *RISTE*, vol. 7, pp. 88–102, 2017.
- [16] KOUAKOU Kouadio Clément and YAPO Andoh Régis Vianney, "Mesures et déterminants de l' inadéquation compétences-emploi en Côte d' Ivoire," 2019.
- [17] D. Lafontaine and M. Simon, "Évaluation des systèmes éducatifs," *Mes. évaluation en éducation*, vol. 31, no. 3, pp. 95–123, May 2014, doi: 10.7202/1024967ar.
- [18] J.-P. Jarousse, "De l'évaluation externe des systèmes éducatifs à la gestion locale de la qualité des apprentissages," *Rev. Int. d'éducation Sèvres*, Apr. 2022, doi: 10.4000/ries.5642.
- [19] IIPE-UNESCO Dakar, *Approche par les compétences dans l'enseignement et la formation techniques et professionnels en Afrique*. 2022.
- [20] I. Destin, "L' approche par compétences en contextes scolaires francophones : quels enjeux contextuels dans le cas d' Haïti et du Burkina Faso ? Iramène Destin To cite this version : HAL Id : tel-01866698," 2018.
- [21] A. C. Pires-Ferreira, "Réforme du curriculum et approche par compétences au Cap Vert. Entre injonction internationale et projet national?," *Cah. la Rech. sur l'éducation les savoirs*, vol. 13, pp. 183–210, 2014.
- [22] C. Chauvigné and J.-C. Coulet, "L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire?," *Rev. française pédagogie*, no. 172, pp. 15–28, Jul. 2010, doi: 10.4000/rfp.2169.
- [23] C. Dierendonck and A. Fagnant, "Approche par compétences et évaluation à large échelle : deux logiques incompatibles?," *Mes. évaluation en éducation*, vol. 37, no. 1, pp. 43–82, Jan. 2016, doi: 10.7202/1034583ar.

- [24] M. MILED, “Un cadre conceptuel pour l’élaboration d’un curriculum selon l’approche par les compétences,” *La refonte la pédagogie en Algérie – Défis enjeux d’une société en Mutat.*, pp. 1–9, 2005.
- [25] J.-M. De Ketele, “L’évaluation et le curriculum : les fondements conceptuels, les débats, les enjeux,” *Les dossiers des Sci. l’éducation*, no. 25, pp. 89–106, Apr. 2011, doi: 10.4000/dse.1022.
- [26] A. Benamar, “La refonte de la pédagogie en Algérie : Défis et enjeux d’une société en mutation»,” *Alger, Casbah Ed.*, no. 38, pp. 1042–1052, Dec. 2007, doi: 10.4000/insaniyat.3266.
- [27] J.-M. Lange, “Curriculum possible de l’Éducation au Développement Durable : entre actions de participation et investigations multiréférentielles d’enjeux,” *Éducation Relat. à l’environnement*, no. Volume 11, Dec. 2014, doi: 10.4000/ere.691.
- [28] M. Birenbaum, A. E. Kelly, and K. K. Tatsuoka, “Diagnosing Knowledge States in Algebra Using the Rule-Space Model,” *J. Res. Math. Educ.*, vol. 24, no. 5, pp. 442–459, Nov. 1993, doi: 10.5951/jresmetheduc.24.5.0442.
- [29] C.-Y. Chiu, “Statistical Refinement of the Q-Matrix in Cognitive Diagnosis,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 37, no. 8, pp. 598–618, Nov. 2013, doi: 10.1177/0146621613488436.
- [30] Y. Chen, J. Liu, G. Xu, and Z. Ying, “Statistical Analysis of Q -Matrix Based Diagnostic Classification Models,” *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 110, no. 510, pp. 850–866, Apr. 2015, doi: 10.1080/01621459.2014.934827.
- [31] H. Li and H. K. Suen, “Constructing and Validating a Q-Matrix for Cognitive Diagnostic Analyses of a Reading Test,” *Educ. Assess.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–25, Jan. 2013, doi: 10.1080/10627197.2013.761522.
- [32] J. P. Leighton, M. J. Gierl, and S. M. Hunka, “The Attribute Hierarchy Method for Cognitive Assessment: A Variation on Tatsuoka’s Rule-Space Approach.,” *J. Educ. Meas.* 41, no. 3 205–37, vol. 3, pp. 205–237, 2004, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/1435314>.
- [33] K. K. TATSUOKA and M. M. TATSUOKA, “SPOTTING ERRONEOUS RULES OF

- OPERATION BY THE INDIVIDUAL CONSISTENCY INDEX,” *J. Educ. Meas.*, vol. 20, no. 3, pp. 221–230, Sep. 1983, doi: 10.1111/j.1745-3984.1983.tb00201.x.
- [34] K. K. Tatsuoka, *ITEM CONSTRUCTION AND PSYCHOMETRIC MODELS APPROPRIATE FOR CONSTRUCTED RESPONSES*, no. August. 1991.
- [35] K. K. Tatsuoka, *Cognitive Assessment*. Routledge, 2009.
- [36] C. Tatsuoka, “Diagnostic Models as Partially Ordered Sets,” *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.*, vol. 7, no. 1, pp. 49–53, Mar. 2009, doi: 10.1080/15366360802715510.
- [37] T. Barnes, “The Q-matrix Method : Mining Student Response Data for Knowledge,” *Am. Assoc. Artif. Intell. 2005 Educ. data Min. Work.*, pp. 1–8, 2005.
- [38] W. Wang, H. Ma, Y. Zhao, Z. Li, and X. He, “Tracking knowledge proficiency of students with calibrated Q-matrix,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 192, p. 116454, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2021.116454.
- [39] A. A. Rupp and J. L. Templin, “Unique Characteristics of Diagnostic Classification Models: A Comprehensive Review of the Current State-of-the-Art,” *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.*, vol. 6, no. 4, pp. 219–262, Nov. 2008, doi: 10.1080/15366360802490866.
- [40] J. Liu, G. Xu, and Z. Ying, “Theory of self-learning Q-matrix,” *Bernoulli*, vol. 19, no. 5A, Nov. 2013, doi: 10.3150/12-BEJ430.
- [41] Z. T. Goin Bi and N. C. Koutou, “De la privatisation à la marchandisation de l’éducation en Côte d’Ivoire,” *Rev. Int. d’éducation Sèvres*, no. 82, pp. 85–92, Dec. 2019, doi: 10.4000/ries.9180.
- [42] N. P. AKOGUHI, M. G. ADJA, D. MAMADOU, E. S. ASSOHOUN, K. A. J. KOUA, and K. F. KOUAME, “Apport de la modélisation orientée objet dans l ’ analyse spatiale des infrastructures d ’ enseignement à l ’ Université Jean Lorougnon Guédé ( UJLoG ) de Daloa , Centre-Ouest de la Côte d ’ Ivoire Résumé Abstract,” *Afrique Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 105–123, 2020.
- [43] J.-M. De Ketele, “L’indispensable rapport PASEC 2014,” *Rev. Int. d’éducation Sèvres*, no. 72, pp. 15–17, Sep. 2016, doi: 10.4000/ries.5433.

- [44] H. I. Abdoulaye DIASSE, “Introduction of The Competency Based Approach in Teaching and Learning Mathematics at Elementary School Level in Senegal-Successes And Challenges,” *NUE J. Int. Educ. Coop.*, vol. 13, pp. 57–66, 2019.
- [45] OIF, *Conception et réalisation d ’ un référentiel de formation*. 2016.
- [46] J. M. Toungara, “The Apotheosis of Côte d’Ivoire’s Nana Houphouët-Boigny,” *J. Mod. Afr. Stud.*, vol. 28, no. 1, pp. 23–54, Mar. 1990, doi: 10.1017/S0022278X00054215.
- [47] J.-J. Bogui, “Analyse de la dynamique intergénérationnelle dans la perception des technologies numériques et leur intégration dans la pédagogie universitaire à l’Université Félix Houphouët-Boigny d’Abidjan (Côte d’Ivoire),” *Can. J. Commun.*, vol. 42, no. 2, pp. 273–289, May 2017, doi: 10.22230/cjc.2017v42n2a3128.
- [48] M. Coulibaly, “Université virtuelle de Côte d ’ Ivoire : un modèle pédagogique à interroger . Melama Coulibaly To cite this version : HAL Id : hal-02956676,” 2020.
- [49] D. N. C. François, “LES UNIVERSITÉS NUMÉRIQUES ET PROMOTION DE L ’ EMPLOYABILITÉ EN AFRIQUE : CAS DE L ’ UNIVERSITÉ VIRTUELLE DE CÔTE D ’ IVOIRE ( UVCi ) Résumé Introduction Au lendemain des indépendances , les gouvernants des pays subsahariens ont pratiquement tous pris l ’,” *Ed. Francoph. Univ. d’Afrique*, vol. 6, no. 06, pp. 509–525, 2022.
- [50] A. K. Holo, S. Bi, and A. Mian, “Étude d ’ un dispositif technopédagogique en formation ouverte et à distance : le cas de l ’ Université Virtuelle de Côte d ’ Ivoire ( UVCi ) Study of a technopedagogical device in open and distance,” pp. 35–48, 2020.
- [51] A. F. STANLEY, “THE TYLER RATIONALE AND TYLER’S 1970s REVISION : AN HISTORICAL RECONSIDERATION,” 2009.
- [52] E. STONES, *Educational objectives and the teaching of educational psychology*. 2011.
- [53] K. Aska, “Formation Par Competences Et Elements Pour La Pratique De L ’ Orientation Dans L ’ Enseignement Primaire En Cote D ’ Ivoire,” pp. 35–51, 2010.
- [54] A. Ouattara, K., N’dede, B. F., Aya, “La Formation Par Compétences dans l ’ enseignement primaire en Côte d ’ Ivoire : réalités et défis,” *Educ. Res. Netw. West Cent. Africa*, no. 223,

2009.

- [55] L. Chisholm and R. Leyendecker, "Curriculum reform in post-1990s sub-Saharan Africa," *Int. J. Educ. Dev.*, vol. 28, pp. 195–205, 2008, doi: 10.1016/j.ijedudev.2007.04.003.
- [56] A. Kouadio, "L'enseignement général et l'enseignement technique et professionnel en Côte d'Ivoire : quelle articulation pour quels enjeux ?," *Carrefours de l'éducation*, vol. n° 24, no. 2, pp. 217–232, Sep. 2007, doi: 10.3917/cdle.024.0217.
- [57] É. B. PALÉ, "Évaluation de l'implantation de l'approche par compétences dans la formation professionnelle en Afrique sub-saharienne: cas de la Côte d'Ivoire," 2018.
- [58] P. Perrenoud, "La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences," *Rev. Sci. Edu.*, vol. 3, no. 24, 1998.
- [59] D. Nedjla, "L'approche par compétences et la pédagogie de projet : de nouveaux paradigmes pour un enseignement universitaire de qualité . Cas des étudiants du département des sciences financières et comptabilité .," *Rev. El-Ryssala des études Rech. en Sci. Hum.*, pp. 1042–1052, 2022.
- [60] K. . Weva, "Synthesis of studies on the generalization and sustainability of reforms," *ADEA Bienn. Meet.*, vol. 2003, 2003.
- [61] J.-M. Bernard, A. Nkengne, and F. Robert, "La relation entre réformes des programmes scolaires et acquisitions à l'école primaire en Afrique: réalité ou fantasme? L'exemple de l'approche par les compétences," *Inst. Rech. sur l'Education Sociol. Econ. l'Education*, vol. 33, no. February, pp. 0–32, 2007, [Online]. Available: <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00133800/>.
- [62] B. of Education and Roegiers, "L'APPROCHE PAR COMPÉTENCES EN AFRIQUE FRANCOPHONE : QUELQUES TENDANCES," *IBE Work. Pap. Curric. issues*, 7, no. May, 2006.
- [63] M. J. G. J. P. Leighton, "Cognitive Diagnostic Assessment for Education: Theory and Applications," *J. Educ. Meas.*, vol. 45, no. 4, pp. 407–411, 2008.
- [64] P. Zhan, F. Li, and H. Jiao, "Editorial: Cognitive Diagnostic Assessment for Learning,"

*Front. Psychol.*, vol. 12, Nov. 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.806636.

- [65] T. Fan, J. Song, and Z. Guan, “Integrating diagnostic assessment into curriculum: a theoretical framework and teaching practices,” *Lang. Test. Asia*, vol. 11, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s40468-020-00117-y.
- [66] J. Wang and K. Liang, “A Cognitive Diagnosis Method in Adaptive Learning System Based on Preconceptions,” *Sci. Program.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/5011804.
- [67] B. G. Dega, “Cognitive Diagnostic Assessment of Students’ Responses : An Example From Energy and Momentum Concepts,” *Eur. J. Phys. Educ.*, vol. 10, no. 1, pp. 13–23, 2019.
- [68] Y.-W. Lee and Y. Sawaki, “Cognitive Diagnosis Approaches to Language Assessment: An Overview,” *Lang. Assess. Q.*, vol. 6, no. 3, pp. 172–189, Jul. 2009, doi: 10.1080/15434300902985108.
- [69] Z. Javidanmehr and M. R. A. Sarab, “Cognitive diagnostic assessment: Issues and considerations,” *Int. J. Lang. Test.*, vol. 7, no. 2, pp. 73–98, 2017.
- [70] L. A. Roussos, J. L. Templin, and R. A. Henson, “Skills diagnosis using IRT-based latent class models,” *J. Educ. Meas.*, vol. 44, no. 4, pp. 293–311, 2007, doi: 10.1111/j.1745-3984.2007.00040.x.
- [71] S. Ketabi, S. M. Alavi, and H. Ravand, “Diagnostic test construction: Insights from cognitive diagnostic modeling,” *Int. J. Lang. Test.*, vol. 11, no. 1, pp. 22–35, 2021.
- [72] C. F. Collares, “Cognitive diagnostic modelling in healthcare professions education: an eye-opener,” *Adv. Heal. Sci. Educ.*, vol. 27, no. 2, pp. 427–440, 2022, doi: 10.1007/s10459-022-10093-y.
- [73] C. Ma, J. Ouyang, and G. Xu, “Learning Latent and Hierarchical Structures in Cognitive Diagnosis Models,” *Psychometrika*, 2022, doi: 10.1007/s11336-022-09867-5.
- [74] X. Li and W. C. Wang, “Assessment of differential item functioning under cognitive diagnosis models: The DINA model example,” *J. Educ. Meas.*, vol. 52, no. 1, pp. 28–54, 2015, doi: 10.1111/jedm.12061.
- [75] H. Chen and J. Chen, “Retrofitting Non-cognitive-diagnostic Reading Assessment Under

- the Generalized DINA Model Framework,” *Lang. Assess. Q.*, vol. 13, no. 3, pp. 218–230, 2016, doi: 10.1080/15434303.2016.1210610.
- [76] P. Zhan, “Deterministic Input, Noisy Mixed Modeling for Identifying Coexisting Condensatio,” 2020.
- [77] M. von Davier, “The Log-Linear Cognitive Diagnostic Model (LCDM) as a Special Case of the General Diagnostic Model (GDM),” *ETS Res. Rep. Ser.*, vol. 2014, no. 2, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1002/ets2.12043.
- [78] A. A. Rupp and J. L. Templin, “Unique Characteristics of Diagnostic Classification Models: A Comprehensive Review of the Current State-of-the-Art,” *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.*, vol. 6, no. 4, pp. 219–262, Nov. 2008, doi: 10.1080/15366360802490866.
- [79] J. Templin and L. Bradshaw, “Hierarchical Diagnostic Classification Models: A Family of Models for Estimating and Testing Attribute Hierarchies,” *Psychometrika*, vol. 79, no. 2, pp. 317–339, Apr. 2014, doi: 10.1007/s11336-013-9362-0.
- [80] Y. Kaya and W. L. Leite, “Assessing Change in Latent Skills Across Time With Longitudinal Cognitive Diagnosis Modeling: An Evaluation of Model Performance,” *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 77, no. 3, pp. 369–388, Jun. 2017, doi: 10.1177/0013164416659314.
- [81] R. A. Henson, J. L. Templin, and J. T. Willse, “Defining a Family of Cognitive Diagnosis Models Using Log-Linear Models with Latent Variables,” *Psychometrika*, vol. 74, no. 2, pp. 191–210, Jun. 2009, doi: 10.1007/s11336-008-9089-5.
- [82] J. de la Torre and N. D. Minchen, “The G-DINA Model Framework,” 2019, pp. 155–169.
- [83] J. de la Torre, “The Generalized DINA Model Framework,” *Psychometrika*, vol. 76, no. 2, pp. 179–199, Apr. 2011, doi: 10.1007/s11336-011-9207-7.
- [84] M. Von Davier, “A general diagnostic model applied to language testing data,” *Br. J. Math. Stat. Psychol.*, vol. 61, no. 2, pp. 287–307, 2008, doi: 10.1348/000711007X193957.
- [85] L. T. DeCarlo, “Recognizing Uncertainty in the Q-Matrix via a Bayesian Extension of the DINA Model,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 36, no. 6, pp. 447–468, Sep. 2012, doi: 10.1177/0146621612449069.

- [86] M. Desmarais, “The refinement of a q-matrix: assessing methods to validate tasks to skills mapping,” *Proc. ...*, pp. 308–311, 2014, [Online]. Available: [http://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/short\\_papers/308\\_EDM-2014-Short.pdf](http://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/short_papers/308_EDM-2014-Short.pdf).
- [87] T. Barnes, D. Bitzer, and M. Vouk, “Experimental analysis of the q-matrix method in knowledge discovery,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 3488 LNAI, no. June 2014, pp. 603–611, 2005, doi: 10.1007/11425274\_62.
- [88] J. Sessoms and R. A. Henson, “Applications of Diagnostic Classification Models: A Literature Review and Critical Commentary,” *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2018, doi: 10.1080/15366367.2018.1435104.
- [89] H. Ravand and P. Baghaei, “Diagnostic Classification Models: Recent Developments, Practical Issues, and Prospects,” *Int. J. Test.*, vol. 20, no. 1, pp. 24–56, Jan. 2020, doi: 10.1080/15305058.2019.1588278.
- [90] J. Liu, G. Xu, and Z. Ying, “Data-Driven Learning of Q-Matrix,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 36, no. 7, pp. 548–564, 2012, doi: 10.1177/0146621612456591.
- [91] A. A. Rupp and J. Templin, “The effects of Q-matrix misspecification on parameter estimates and classification accuracy in the DINA model,” *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 68, no. 1, pp. 78–96, 2008, doi: 10.1177/0013164407301545.
- [92] D. M. Dimitrov and D. V. Atanasov, “Conjunctive and Disjunctive Extensions of the Least Squares Distance Model of Cognitive Diagnosis,” *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 72, no. 1, pp. 120–138, Feb. 2012, doi: 10.1177/0013164411402324.
- [93] J. Heller, “Complete Q -matrices in conjunctive models on general attribute structures,” *Br. J. Math. Stat. Psychol.*, vol. 75, no. 3, pp. 522–549, Nov. 2022, doi: 10.1111/bmsp.12266.
- [94] F. B. Baker, “Sensitivity of the Linear Logistic Test Model to Misspecification of the Weight Matrix,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 17, no. 3, pp. 201–210, Sep. 1993, doi: 10.1177/014662169301700301.
- [95] S. Im and J. E. Corter, “Statistical Consequences of Attribute Misspecification in the Rule

- Space Method,” *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 71, no. 4, pp. 712–731, Aug. 2011, doi: 10.1177/0013164410384855.
- [96] M. McGlohen and H.-H. Chang, “Combining computer adaptive testing technology with cognitively diagnostic assessment,” *Behav. Res. Methods*, vol. 40, no. 3, pp. 808–821, Aug. 2008, doi: 10.3758/BRM.40.3.808.
- [97] H. Cen, K. Koedinger, and B. Junker, “Learning factors analysis - A general method for cognitive model evaluation and improvement,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 4053 LNCS, pp. 164–175, 2006, doi: 10.1007/11774303\_17.
- [98] B. Ženko, S. Džeroski, and J. Struyf, “Learning Predictive Clustering Rules,” 2006, pp. 234–250.
- [99] A. K. JAIN, M.N. MURTY, and P.J. FLYNN, “Data Clustering : A Review,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 31, no. 3, 1999.
- [100] R. Xu, S. Member, and D. W. Li, “Survey of Clustering Algorithms,” *IEEE Trans. NEURAL NETWORKS*, vol. 16, no. 3, pp. 645–678, 2005.
- [101] C. Sutton, “An Introduction to Conditional Random Fields,” *Found. Trends® Mach. Learn.*, vol. 4, no. 4, pp. 267–373, 2012, doi: 10.1561/22000000013.
- [102] C. Fraley and A. E. Raftery, “How many clusters? Which clustering method? Answers via model-based cluster analysis,” *Comput. J.*, vol. 41, no. 8, pp. 586–588, 1998, doi: 10.1093/comjnl/41.8.578.
- [103] S. Deepti, S. Lokesh, S. Sisodia, and Khushboo Saxena., “Clustering Techniques : A Brief Survey of Different Clustering Algorithms,” *Int. J. Latest Trends Eng. Technol. Clust.*, vol. 1, no. 3, pp. 82–87, 2015, [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1037.1127&rep=rep1&type=pdf>.
- [104] M. Zimmerman, N. A. Peterson, and M. A. Zimmerman, “Beyond the Individual : Toward a Nomological Network of Organizational Empowerment Beyond the Individual : Toward a Nomological Network of Organizational Empowerment,” vol. 34, no. October 2004,

2016, doi: 10.1023/B.

- [105] A. Saxena *et al.*, “A review of clustering techniques and developments,” *Neurocomputing*, vol. 267, pp. 664–681, 2017, doi: 10.1016/j.neucom.2017.06.053.
- [106] R. Pelánek, “Measuring Similarity of Educational Items: An Overview,” *IEEE Trans. Learn. Technol.*, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1109/TLT.2019.2896086.
- [107] S. S. Choi, S. H. Cha, and C. C. Tappert, “A survey of binary similarity and distance measures,” *WMSCI 2009 - 13th World Multi-Conference Syst. Cybern. Informatics, Jointly with 15th Int. Conf. Inf. Syst. Anal. Synth. ISAS 2009 - Proc.*, vol. 3, pp. 80–85, 2009.
- [108] J. Řihák and R. Pelánek, “Measuring similarity of educational items using data on learners’ performance,” *Proc. 10th Int. Conf. Educ. Data Mining, EDM 2017*, pp. 16–23, 2017.
- [109] T. Nazaretsky, S. Hershkovitz, and G. Alexandron, “Kappa Learning: A New Item-Similarity Method for Clustering Educational Items from Response Data,” *Proc. 12th Int. Conf. Educ. Data Min.*, pp. 129–138, 2019, [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED599209.pdf>.
- [110] S. Lakshmi Prabha and A. R. M. Shanavas, “A Study on Learning Factor Analysis – An Educational Data Mining Technique for Student Knowledge Modeling,” *IOSR J. Comput. Eng. Ver. IV*, vol. 17, no. 6, pp. 2278–661, 2015, doi: 10.9790/0661-176495101.
- [111] N. Thai-Nghe, L. Drumond, T. Horváth, A. Krohn-Grimberghe, A. Nanopoulos, and L. Schmidt-Thieme, “Factorization techniques for predicting student performance,” *Educ. Recomm. Syst. Technol. Pract. Challenges*, pp. 129–153, 2011, doi: 10.4018/978-1-61350-489-5.ch006.
- [112] Jingu Kim and Haesun Park, “Nonnegative Matrix Factorization for Clustering,” *Mod. Massive Data Sets*, no. July, pp. 1–26, 2008.
- [113] B. Beheshti and M. Desmarais, “Improving matrix factorization techniques of student test data with partial order constraints,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 7379 LNCS, pp. 346–350, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-31454-4\_33.

- [114] M. C. Desmarais, B. Beheshti, and R. Naceur, “Item to skills mapping: Deriving a conjunctive Q-matrix from data,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 7315 LNCS, pp. 454–463, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-30950-2\_58.
- [115] M. C. Desmarais and R. Naceur, “A Matrix Factorization Method for Mapping Items to Skills and for Enhancing Expert-Based Q-Matrices,” pp. 441–450, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-39112-5\_45.
- [116] K. Harbouche, N. Smaani, and I. Zenbout, “Clustering Educational Items from Response Data Using Penalized Pearson Coefficient and Deep Autoencoders,” in *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 413 LNNS, pp. 75–85, doi: 10.1007/978-3-030-96311-8\_8.
- [117] K. A. Assielou, C. T. Haba, T. L. Kadjo, K. D. Yao, and B. T. Goore, “Multi Relational and Social Influence Model for Predicting Student Performance in Intelligent Tutoring Systems ITS,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 2058–2066, Feb. 2020, doi: 10.35940/ijeat.C5169.029320.
- [118] K. A. Assielou, C. Théodore, B. Tra, T. Lambert, and K. Daniel, “Emotional Impact for Predicting Student Performance in Intelligent Tutoring Systems (ITS),” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 7, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110728.
- [119] K. A. Assielou, C. T. Haba, and T. L. Kadjo, “Multi-Relational and Social-Influence Model for Predicting Student Performance in Intelligent Tutoring Systems (ITS),” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 2058–2066, 2020, doi: 10.35940/ijeat.c5169.029320.
- [120] K. A. ASSIELOU, C. T. HABA, T. L. KADJO, B. T. GOORE, and K. D. YAO, “A New Approach to Modelling Students’ Socio-Emotional Attributes to Predict Their Performance in Intelligent Tutoring Systems,” *J. Educ. e-Learning Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 340–348, Sep. 2021, doi: 10.20448/journal.509.2021.83.340.348.
- [121] M. C. Desmarais and R. Naceur, “A Matrix Factorization Method for Mapping Items to Skills and for Enhancing Expert-Based,” 2013, doi: 10.1007/978-3-642-39112-5\_45.
- [122] N. Ampazis and T. Emmanouilidis, “FALCON: A matrix factorization framework for

- recommender systems using constrained optimization,” *Intell. Decis. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 221–232, Sep. 2015, doi: 10.3233/IDT-140218.
- [123] Y. Koren, R. Bell, and C. Volinsky, “Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 42, no. 8, pp. 30–37, Aug. 2009, doi: 10.1109/MC.2009.263.
- [124] G. Takács, I. Pilászy, B. Németh, and D. Tikk, “Matrix factorization and neighbor based algorithms for the netflix prize problem,” *RecSys ’08 Proc. 2008 ACM Conf. Recomm. Syst.*, no. October, pp. 267–274, 2008, doi: 10.1145/1454008.1454049.
- [125] A. K. Uysal, “Comparative Performance Analysis of Techniques for Automatic Drug Review Classification,” *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, pp. 485–490, Dec. 2018, doi: 10.18466/cbayarfbe.481096.
- [126] M. W. Browne, “Cross-Validation Methods,” *J. Math. Psychol.*, vol. 44, no. 1, pp. 108–132, Mar. 2000, doi: 10.1006/jmps.1999.1279.
- [127] D. Berrar, “Cross-Validation,” in *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*, Elsevier, 2019, pp. 542–545.
- [128] G. Diana and C. Tommasi, “Cross-validation methods in principal component analysis: A comparison,” *Stat. Methods Appl.*, vol. 11, no. 1, pp. 71–82, Feb. 2002, doi: 10.1007/BF02511446.
- [129] J. Lei, “Cross-Validation With Confidence,” *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 115, no. 532, pp. 1978–1997, Oct. 2020, doi: 10.1080/01621459.2019.1672556.
- [130] M. Tadlaoui, “Système de recommandation de ressources pédagogiques fondé sur les liens sociaux : formalisation et évaluation,” 2018.
- [131] F. O. Isinkaye, Y. O. Folajimi, and B. A. Ojokoh, “Recommendation systems: Principles, methods and evaluation,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 16, no. 3, pp. 261–273, 2015, doi: 10.1016/j.eij.2015.06.005.
- [132] S. Zhang, L. Yao, Y. Tay, X. Xu, X. Zhang, and L. Zhu, “Metric Factorization: Recommendation beyond Matrix Factorization,” 2018, [Online]. Available:

<http://arxiv.org/abs/1802.04606>.

- [133] D. Bokde, S. Girase, and D. Mukhopadhyay, “Matrix Factorization Model in Collaborative Filtering Algorithms: A Survey,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, pp. 136–146, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.04.237.
- [134] T. Chai and R. R. Draxler, “Root mean square error ( RMSE ) or mean absolute error ( MAE )?,” *Copernicus Publ. behalf Eur. Geosci. Union*, pp. 1525–1534, 2014, doi: 10.5194/gmdd-7-1525-2014.
- [135] D. Chicco, M. J. Warrens, and G. Jurman, “The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation,” *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 7, p. e623, Jul. 2021, doi: 10.7717/peerj-cs.623.
- [136] R. Salakhutdinov and A. Mnih, “Probabilistic matrix factorization,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst. 20 - Proc. 2007 Conf.*, pp. 1–8, 2008.
- [137] S. Yuan, “Review of Root-Mean-Square Error Calculation Methods for Large Deployable Mesh Reflectors,” *Int. J. Aerosp. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–18, Aug. 2022, doi: 10.1155/2022/5352146.
- [138] T. Chai and R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature,” *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, Jun. 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.
- [139] F.-M. Gerard, “L’évaluation de la qualité des systèmes de formation,” *Mes. évaluation en éducation*, vol. 24, no. 2–3, pp. 53–77, Aug. 2022, doi: 10.7202/1091170ar.
- [140] R. P. Díaz Redondo, M. Caeiro Rodríguez, J. J. López Escobar, and A. Fernández Vilas, “Integrating micro-learning content in traditional e-learning platforms,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 80, no. 2, pp. 3121–3151, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11042-020-09523-z.
- [141] A. F. Hidayat, D. D. J. Suwawi, and K. A. Laksitowening, “Learning Content Recommendations on Personalized Learning Environment Using Collaborative Filtering Method,” in *2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, Jun. 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICoICT49345.2020.9166371.

- [142] Y. Cai, D. Tu, and S. Ding, “Theorems and Methods of a Complete Q Matrix With Attribute Hierarchies Under Restricted Q-Matrix Design,” *Front. Psychol.*, vol. 9, Aug. 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.01413.
- [143] W. Wang, H. Ma, Y. Zhao, Z. Li, and X. He, “Relevance-Aware Q-matrix Calibration for Knowledge Tracing,” 2021, pp. 101–112.
- [144] Y.-W. Lee and Y. Sawaki, “Cognitive Diagnosis and Q-Matrices in Language Assessment,” *Lang. Assess. Q.*, vol. 6, no. 3, pp. 169–171, Jul. 2009, doi: 10.1080/15434300903059598.
- [145] Y. Li, M. Zhen, and J. Liu, “Validating a Reading Assessment Within the Cognitive Diagnostic Assessment Framework: Q-Matrix Construction and Model Comparisons for Different Primary Grades,” *Front. Psychol.*, vol. 12, Dec. 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.786612.
- [146] A. Ünlü and T. Kiefer, “A.A. RUPP, J.L. TEMPLIN, & R.A. HENSON (2010) Diagnostic Measurement: Theory, Methods, and Applications.,” *Psychometrika*, vol. 76, no. 4, pp. 715–716, Oct. 2011, doi: 10.1007/s11336-011-9228-2.
- [147] J. de la Torre and J. A. Douglas, “Higher-order latent trait models for cognitive diagnosis,” *Psychometrika*, vol. 69, no. 3, pp. 333–353, Sep. 2004, doi: 10.1007/BF02295640.
- [148] K. K. Tatsuoaka, *Cognitive Assessment*. Routledge, 2009.
- [149] P. Nájera, M. A. Sorrel, J. de la Torre, and F. J. Abad, “Improving Robustness in Q-Matrix Validation Using an Iterative and Dynamic Procedure,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 44, no. 6, pp. 431–446, Sep. 2020, doi: 10.1177/0146621620909904.
- [150] L. Havelková and M. Hanus, “Map Skills in Education: A Systematic Review of Terminology, Methodology, and Influencing Factors,” *Rev. Int. Geogr. Educ. Online*, Aug. 2019, doi: 10.33403/rigeo.583272.
- [151] M. Alavi and F. Ranjbaran, “Constructing and Validating a Q-Matrix for Cognitive Diagnostic Analysis of a Reading Comprehension Test Battery\*,” *Educ. Assessment*, vol. 10, no. 21, pp. 1–31, 2018.
- [152] D. Wang, Y. Cai, and D. Tu, “Q-Matrix Estimation Methods for Cognitive Diagnosis

Models: Based on Partial Known Q-Matrix,” *Multivariate Behav. Res.*, pp. 1–13, Apr. 2020, doi: 10.1080/00273171.2020.1746901.

- [153] F. R. Tonekaboni, H. Ravand, and R. Rezvani, “The construction and validation of a Q-matrix for a high-stakes reading comprehension test: A G-DINA Study,” *Int. J. Lang. Test.*, vol. 11, no. 1, pp. 58–87, 2021.
- [154] Y. García-Ramírez and V. Bijelić, “Assessing task prioritization for professors through affinity and satisfaction scores,” *Cogent Educ.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1080/2331186X.2024.2321355.
- [155] J. A. Jacobs and S. E. Winslow, “Overworked Faculty: Job Stresses and Family Demands,” *Ann. Am. Acad. Pol. Soc. Sci.*, vol. 596, no. 1, pp. 104–129, Nov. 2004, doi: 10.1177/0002716204268185.
- [156] K. R. Koedinger, A. T. Corbett, and C. Perfetti, “The Knowledge-Learning-Instruction Framework: Bridging the Science-Practice Chasm to Enhance Robust Student Learning,” *Cogn. Sci.*, vol. 36, no. 5, pp. 757–798, Jul. 2012, doi: 10.1111/j.1551-6709.2012.01245.x.
- [157] A. Villanueva *et al.*, “Towards modeling of human skilling for electrical circuitry using augmented reality applications,” *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 18, no. 1, p. 39, Dec. 2021, doi: 10.1186/s41239-021-00268-9.
- [158] J. Cohen, “A Coefficient of Agreement for Nominal Scales,” vol. XX, no. 1, pp. 37–46, 1960, doi: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
- [159] P. Nedungadi and T. K. Smruthy, “Personalized Multi-relational Matrix Factorization Model for Predicting Student Performance,” 2016, pp. 163–172.
- [160] L. Chen, G. Chen, and F. Wang, “Recommender systems based on user reviews: the state of the art,” *User Model. User-adapt. Interact.*, vol. 25, no. 2, pp. 99–154, Jun. 2015, doi: 10.1007/s11257-015-9155-5.
- [161] N. Thai-Nghe, M. Nhut-Tu, and H.-H. Nguyen, “An Approach for Multi-Relational Data Context in Recommender Systems,” 2017, pp. 709–720.
- [162] D. T. G. Takács, I. Pilászy, B. Németh, “On the Gravity Recommendation System,”

*Processing*, vol. 2007, pp. 22–30, 2007, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:On+the+Gravity+Recommendation+System#0>.

- [163] N. Thai-Nghe and L. Schmidt-Thieme, “Multi-relational Factorization Models for Student Modeling in Intelligent Tutoring Systems,” *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Knowl. Syst. Eng. KSE 2015*, no. October, pp. 61–66, 2016, doi: 10.1109/KSE.2015.9.
- [164] P. PERRENOUD, “L’approche par compétences : une réponse à l’échec scolaire ?,” *Réussir au collégial*, vol. 71, p. 21356, 2000.
- [165] A. MANSOUR, “Approche Par Compétences,” *Reper. - IREM*, vol. 88, no. 1998, pp. 5–20, 2012.
- [166] D. A. R. GONO, B. T. GOORE, Y. TIECOURA, and K. A. ASSIELOU, “Multi-relational Matrix Factorization Approach for Educational Items Clustering,” vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.18178/ijiet.2023.13.1.1778.
- [167] K. A. ASSIELOU, C. T. HABA, T. L. KADJO, B. T. GOORE, and K. D. YAO, “A New Approach to Modelling Students’ Socio-Emotional Attributes to Predict Their Performance in Intelligent Tutoring Systems,” *J. Educ. e-Learning Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 340–348, Sep. 2021, doi: 10.20448/journal.509.2021.83.340.348.
- [168] M. J. WARRENS, “Five Ways to Look at Cohen’s Kappa,” *J. Psychol. Psychother.*, vol. 05, no. 04, 2015, doi: 10.4172/2161-0487.1000197.
- [169] J. SIM and C. C. WRIGHT, “The Kappa Statistic in Reliability Studies: Use, Interpretation, and Sample Size Requirements,” *Phys. Ther.*, vol. 85, no. 3, pp. 257–268, Mar. 2005, doi: 10.1093/ptj/85.3.257.



## **ANNEXES**

**Annexe 1** : Guide et programmes de l'éducation nationale pour la classe de 1ere D, 2021 - 2022

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE,  
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE

\*\*\*\*\*

INSPECTION GENERALE

\*\*\*\*\*

DIRECTION DE LA PEDAGOGIE  
ET DE LA FORMATION CONTINUE

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE  
Union-Discipline-Travail

\*\*\*\*\*



# DOMAINES DES SCIENCES

## PROGRAMME EDUCATIFS ET GUIDE D'EXECUTION

### MATHEMATIQUES

#### Première D

## MOT DE MADAME LA MINISTRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

L'école est le lieu où se forment les valeurs humaines indispensables pour le développement harmonieux d'une nation. Elle doit être en effet le cadre privilégié où se cultivent la recherche de la vérité, la rigueur intellectuelle, le respect de soi, d'autrui et de la nation, l'amour pour la nation, l'esprit de solidarité, le sens de l'initiative, de la créativité et de la responsabilité.

La réalisation d'une telle entreprise exige la mise à contribution de tous les facteurs, tant matériels qu'humains. C'est pourquoi, soucieux de garantir la qualité et l'équité de notre enseignement, le Ministère de l'Éducation Nationale s'est toujours préoccupé de doter l'école d'outils performants et adaptés au niveau de compréhension des différents utilisateurs.

Les programmes éducatifs et leurs guides d'exécution que le Ministère de l'Éducation Nationale a le bonheur de mettre aujourd'hui à la disposition de l'enseignement de base est le fruit d'un travail de longue haleine, au cours duquel différentes contributions ont été mises à profit en vue de sa réalisation. Ils présentent une entrée dans les apprentissages par les situations en vue de développer des compétences chez l'apprenant en lui offrant la possibilité de construire le sens de ce qu'il apprend.

Nous présentons nos remerciements à tous ceux qui ont apporté leur appui matériel et financier pour la réalisation de ce programme. Nous remercions spécialement Monsieur Philippe JONNAERT, Professeur titulaire de la Chaire UNESCO en Développement Curriculaire de l'Université du Québec à Montréal qui nous a accompagnés dans le recadrage de nos programmes éducatifs.

Nous ne saurions oublier tous les Experts nationaux venus de différents horizons et qui se sont acquittés de leur tâche avec compétence et dévouement.

A tous, nous réitérons la reconnaissance du Ministère de l'Éducation Nationale.

Nous terminons en souhaitant que tous les milieux éducatifs fassent une utilisation rationnelle de ces programmes éducatifs pour l'amélioration de la qualité de notre enseignement afin de faire de notre pays, la Côte d'Ivoire un pays émergent à l'horizon 2020, selon la vision du Chef de l'État, SEMAlassane OUATTARA.

Merci à tous et vive l'École Ivoirienne !



## LISTE DES SIGLES

<b>A.P.</b>	Arts Plastiques
<b>A.P.C.</b>	Approche Par Compétence
<b>A.P.F.C.</b>	Antenne de la Pédagogie et de la Formation Continue
<b>All.</b>	Allemand
<b>Angl.</b>	Anglais
<b>C.A. F.O.P</b>	Centre d'Animation et de Formation Pédagogique
<b>C.M.</b>	Collège Moderne
<b>C.N.F.P.M.D.</b>	Centre National de Formation et de Production du Matériel Didactique
<b>C.N.M.S</b>	Centre National des Matériels Scientifiques
<b>C.N.R.E</b>	Centre National des Ressources Educatives
<b>C.O.C</b>	Cadre d'Orientation Curriculaire
<b>D.D.E.N.</b>	Direction Départementale de l'Education Nationale
<b>D.E.U.G.</b>	Diplôme d'Etude Universitaire Générale
<b>D.R.E.N.</b>	Direction Régionale de l'Education Nationale
<b>D.P.F.C.</b>	Direction de la Pédagogie et de la Formation Continue
<b>D.R.H.</b>	Direction des Ressources Humaines
<b>E.D.H.C.</b>	Education aux Droits de l'Homme et à la Citoyenneté
<b>E.P.S.</b>	Education Physique et Sportive
<b>Esp.</b>	Espagnol
<b>Fr</b>	Français
<b>FOAD</b>	Formation à Distance
<b>Hist-Géo</b>	Histoire et Géographie
<b>I.G.E.N.</b>	Inspection Générale de l'Education Nationale
<b>I.O.</b>	Instituteur Ordinaire
<b>I.A.</b>	Instituteur Adjoint
<b>L.M.</b>	Lycée Moderne
<b>L. Mun.</b>	Lycée Municipal
<b>M.E.N.</b>	Ministère de l'Education Nationale
<b>Math.</b>	Mathématique
<b>S.V.T.</b>	Sciences de la Vie et de la Terre
<b>P.P.O.</b>	Pédagogie Par Objectif
<b>PHYS-CHIMIE</b>	Physique Chimie
<b>U.P.</b>	Unité Pédagogique

## 1. TABLE DES MATIERES - MATHEMATIQUES PREMIERE D

N°	RUBRIQUES	PAGES
1.	MOT DE MME LA MINISTRE	2
2.	LISTE DES SIGLES	3
3.	TABLE DES MATIÈRES	4
4.	INTRODUCTION	5
5.	PROFIL DE SORTIE	6
6.	DOMAINE DES SCIENCES	6
7.	REGIME PEDAGOGIQUE	6
8.	TABLEAU SYNOPTIQUE	6
9.	CORPS DU PROGRAMME EDUCATIF	8
10.	GUIDE D'EXÉCUTION	19
11.	PROGRESSION	19
12.	PROPOSITIONS DE CONSIGNES, SUGGESTIONS PEDAGOGIQUES ET MOYENS	20
13.	SCHEMA DU COURS APC	31
14.	EVALUATION EN APC	32

## INTRODUCTION

Dans son souci constant de mettre à la disposition des établissements scolaires des outils pédagogiques de qualité appréciable et accessibles à tous les enseignants, le Ministère de l'Éducation nationale vient de procéder au toilettage des Programmes d'Enseignement.

Cette mise à jour a été dictée par :

- La lutte contre l'échec scolaire ,
- La nécessité de cadrage pour répondre efficacement aux nouvelles réalités de l'école ivoirienne ,
- Le souci de garantir la qualité scientifique de notre enseignement et son intégration dans l'environnement ,
- L'harmonisation des objectifs et des contenus d'enseignement sur tout le territoire national.

Ces programmes éducatifs se trouvent enrichis des situations. Une situation est un ensemble de circonstances contextualisées dans lesquelles peut se retrouver une personne. Lorsque cette personne a traité avec succès la situation en mobilisant diverses ressources ou habiletés, elle a développé des compétences : on dira alors qu'elle est compétente.

La situation n'est donc pas une fin en soi, mais plutôt un moyen qui permet de développer des compétences , ainsi une personne ne peut être décrétée compétente à priori.

Chaque programme définit pour tous les ordres d'enseignement, le profil de sortie, le domaine disciplinaire, le régime pédagogique et il présente le corps du programme de la discipline.

Le corps du programme est décliné en plusieurs éléments qui sont :

- La compétence ,
- Le thème ,
- La leçon ,
- Un exemple de situation ,
- Un tableau à deux colonnes comportant respectivement :
  - **Les habiletés** : elles correspondent aux plus petites unités cognitives attendues de l'élève au terme d'un apprentissage ,
  - **Les contenus d'enseignement** : ce sont les notions à faire acquérir aux élèves

Par ailleurs, les disciplines du programme sont regroupées en cinq domaines :

- le **Domaine des langues** comprenant le Français, l'Anglais, l'Espagnol et l'Allemand ,
- le **Domaine des sciences et technologie** regroupant les Mathématiques, la Physique-Chimie, les Sciences de la Vie et de la Terre et les TICE ,
- le **Domaine de l'univers social** concernant l'Histoire-Géographie, l'Éducation aux Droits de l'Homme et à la Citoyenneté et la Philosophie ,
- le **Domaine des arts** comportant les Arts Plastiques et l'Éducation Musicale ,
- le **Domaine du développement éducatif, physique et sportif** prenant en compte l'Éducation Physique et Sportive.

Toutes ces disciplines concourent à la réalisation d'un seul objectif final, celui de la formation intégrale de la personnalité de l'enfant. Toute idée de cloisonner les disciplines doit, de ce fait, être abandonnée.

L'exploitation optimale des programmes recadrés nécessite le recours à une pédagogie fondée sur la participation active de l'élève, le passage du rôle de l'enseignant, de celui de dispensateur des connaissances vers celui d'accompagnateur de l'élève.

## I. PROFIL DE SORTIE

A la fin du second cycle de l'enseignement secondaire général de la série D (sciences expérimentales), l'élève doit avoir acquis des compétences lui permettant de traiter une situation relative :

- aux **calculs algébriques** (Ensemble de nombres réels, Polynômes et fractions rationnelles, Equations et inéquations dans  $\mathbb{R}$ , Equations et inéquations dans  $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$ , Systèmes linéaires, Nombres complexes),
- aux **fonctions** (Généralités sur les fonctions, Etude de fonctions élémentaires, Fonctions et applications, Fonctions et Transformations du plan, Limites et continuité, Dérivation, Etude et représentation graphique de fonction, Suites numériques, Primitives, Fonctions logarithmes et étude de fonctions faisant intervenir la fonction logarithme népérien, Fonction exponentielle népérienne et étude de fonctions faisant intervenir la fonction exponentielle népérienne, Fonctions exponentielles et fonctions puissances, Calcul intégral, Équations différentielles),
- **à l'organisation et au traitement de données** (Statistique à une variable, Statistique à deux variables)
- **à la modélisation d'un phénomène aléatoire** (Dénombrement, Probabilités),
- **à la géométrie du plan** (Vecteurs et points du plan, Produit scalaire, Droites et cercles dans le plan, Angles inscrits, Angles orientés et trigonométrie, Barycentre),
- **à la géométrie de l'espace** (Droites et plan de l'espace, Orthogonalité dans l'espace),
- **aux transformations du plan** (Utilisation des symétries et translations, Homothéties et Rotations, Composées d'homothéties de même centre et composées de rotations de même centre, Nombres complexes et transformations du plan),

## II. DOMAINE DES SCIENCES

Le domaine des sciences et technologie est composé de quatre disciplines :

- les mathématiques
- la physique-chimie
- les sciences de la vie et de la terre
- les technologies de l'information et de la communication à l'école (TICE).

Les mathématiques fournissent les outils indispensables à l'étude des autres disciplines du domaine. En effet, les biologistes par exemple étudient l'évolution de certains micro-organismes qui se multiplient rapidement en ayant recours à des modèles mathématiques.

Les mathématiques sont utilisées en physique, notamment en électricité et en mécanique.

## III. REGIME PEDAGOGIQUE

En Côte d'Ivoire, l'année scolaire comporte 34 semaines.

Discipline	Nombre d'heures/semaine	Nombre d'heures/année	Pourcentage par rapport à l'ensemble des disciplines
MATHEMATIQUE	5	170	16,94%

## IV. TABLEAU SYNOPTIQUE DES PROGRAMMES DE MATHS DE LA SERIE D

### COMPETENCE 1

Traiter une situation relative aux calculs algébriques et aux fonctions

N°	THEME	SECONDE C	PREMIERE D	TERMINALE D
1.	Thème 1 : Calculs algébriques	Leçon 1 : Ensemble de nombres réels Leçon 2 : polynômes et fractions rationnelles Leçon 3 : Equations et inéquations dans $\mathbb{R}$ Leçon 4 : Equations et inéquations dans $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$	leçon 1 : Equations et inéquations du second degré dans $\mathbb{R}$ leçon 2 : Equations dans $\mathbb{R}^2$ et dans $\mathbb{R}^3$	Leçon 1 : Nombres complexes

2.	Thème 2 : Fonctions	Leçon 1 : Généralités sur les fonctions Leçon 2 : Etude des fonctions élémentaires	leçon 1 : Généralités sur les fonctions leçon 2 : Limite et continuité leçon 3 : Dérivabilité leçon 4 : Extension de la notion de la limite leçon 5 : Etude et représentation graphique d'une fonction leçon 6 : suites numériques	Leçon 1 : Limite et continuité Leçon 2 : Dérivabilité et étude de fonctions Leçon 3 : Primitives Leçon 4 : Fonction logarithme népérien et étude de fonctions faisant intervenir la fonction ln Leçon 5 : Fonction exponentielle népérienne et étude de fonctions faisant intervenir la fonction exp. Leçon 6 : Calcul Intégral Leçon 7 : Suites Numériques Leçon 8 : Equations différentielles
----	---------------------	---	---	--

### COMPETENCE 2

Traiter une situation relative à la modélisation de phénomènes aléatoires, à l'organisation et au traitement des données

N°	THEME	SECONDE C	PREMIERE D	TERMINALE D
3.	Thème 1 : Organisation et traitement des données	Leçon 1 : Statistique à une variable	Leçon 1 : Statistique à une variable	Leçon 1 : Statistique à deux variables
4.	Thème 2 : Modélisation d'un phénomène aléatoire		Leçon 1 : Dénombrement Leçon 2 : Probabilité	Leçon 1 : Probabilité

### COMPETENCE 3

Traiter une situation relative à la Géométrie du plan, à la Géométrie de l'espace et aux Transformations du plan

N°	THEME	SECONDE C	PREMIERE D	TERMINALE D
5.	Thème 1 : Géométrie du plan	Leçon 1 : Vecteurs et points du plan Leçon 2 : Produit scalaire Leçon 3 : Droites et cercles dans le plan Leçon 4 : Angles inscrits Leçon 5 : Angles orientés et trigonométrie	Leçon 1 : Barycentre Leçon 2 : Trigonométrie	
6.	Thème 2 : Géométrie de l'espace	Leçon 1 : Droites et plan de l'espace	Leçon 1 : Orthogonalité dans l'espace	
7.	Thème 3 : Transformations du plan	Leçon 1 : Utilisation des symétries et translations	Leçon 1 : Composées de transformations du	Leçon 1 : Nombres complexes et

	Leçon 2 : Homothéties et Rotations	plan	transformations du plan
--	------------------------------------	------	-------------------------

# CORPS DU PROGRAMME EDUCATIF MATHÉMATIQUES – PREMIÈRE D

## COMPÉTENCE 1

Traiter une situation relative aux calculs algébriques et aux fonctions.

Cette compétence se décline en deux thèmes :

Thème 1 : Calculs algébriques

Thème 2 : Fonctions

### THEME 1 : CALCULS ALGÈBRIQUES

#### Leçon 1.1 : Equations et inéquations du second degré dans $\mathbb{R}$

Un élève en classe de 1<sup>ère</sup> D décide de faire un jardin de tomate dans la grande cour familiale. Pour l'encourager son père lui offre 20 m de grillage pour la clôture. Il décide de réaliser son jardin comme l'indique la figure ci-dessous, laissant sans clôture un côté de ce jardin de forme rectangulaire. Il veut que l'aire du jardin soit de 48m<sup>2</sup> en utilisant les 20 m de grillage. Il explique son projet à ses camarades de classe.



Intéressés par ce projet, les élèves de la classe décident de résoudre une équation pour déterminer les dimensions du jardin.

Habilités	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le discriminant d'un polynôme du second degré</li> <li>- le discriminant d'une équation du second degré</li> <li>- les formules donnant les zéros éventuels d'un polynôme du second degré</li> <li>- les formules donnant les solutions éventuelles d'une équation du second degré</li> <li>- l'expression de la somme des solutions éventuelles d'une équation du second degré</li> <li>- l'expression du produit des solutions éventuelles d'une équation du second degré</li> <li>- les règles donnant le signe d'un polynôme du second degré</li> <li>- la forme factorisée d'un polynôme du second degré connaissant ses zéros éventuels</li> </ul>
Ecrire	-un polynôme du second degré sous forme d'un produit de polynômes du premier degré en utilisant le discriminant
Etudier	- le signe d'un polynôme du second degré
Trouver	-une solution d'une équation du second degré en utilisant la somme ou le produit des solutions, l'autre étant donné
Déterminer	- deux nombres connaissant leur somme et leur produit
Résoudre	<ul style="list-style-type: none"> <li>-une équation du second degré en utilisant le discriminant</li> <li>-une inéquation du second degré en utilisant le discriminant</li> </ul>

	-graphiquement une équation ou une inéquation du second degré - une équation du type : $\sqrt{p(x)} = q(x)$ , - une inéquation du type : $\sqrt{p(x)} \leq q(x)$ où p est un polynôme de degré inférieur ou égal à 2 et q un polynôme de degré inférieur ou égal à 1 - des équations du type : $ax^4 + bx^2 + c = 0$ , où a, b et c sont des nombres réels
Traiter une situation	faisant appel équations et inéquations du second degré

### Leçon 1.2 : Equations dans $\mathbb{R}^2$ et dans $\mathbb{R}^3$

#### Exemple de situation d'apprentissage

Trois élèves d'une classe de première D font des recherches sur les hydrocarbures. Ils découvrent le texte suivant :

« Un mélange de méthane, d'acétylène et d'oxygène est introduit dans un eudiomètre. Le mélange initial occupe un volume de  $70 \text{ cm}^3$ . Après le passage d'une étincelle, il se produit une réaction. Au retour dans les conditions normales, il reste dans l'eudiomètre  $30 \text{ cm}^3$  de dioxyde de carbone et  $10 \text{ cm}^3$  d'oxygène ».

Impressionnés par les résultats de cette expérience, ils veulent déterminer les volumes respectifs des gaz qui composent le mélange initial.

Pour cela, ils décident d'apprendre avec l'aide de leurs camarades de classe à résoudre des systèmes d'équations dans  $\mathbb{R}^3$ .

Habilités	Contenus
Identifier	- le déterminant d'un système linéaire de deux équations dans $\mathbb{R}^2$
Connaitre	-la propriété sur l'unicité de la solution d'un système linéaire de deux équations dans $\mathbb{R}^2$
Calculer	- le déterminant d'un système linéaire de deux équations dans $\mathbb{R}^2$
Traduire	- diverses situations concrètes en équations dans $\mathbb{R}^2$ - diverses situations concrètes en équations dans $\mathbb{R}^3$
Justifier	- l'existence et l'unicité de la solution d'un système de deux équations linéaires dans $\mathbb{R}^2$ en utilisant le déterminant
Résoudre	- un système de deux équations linéaires dans $\mathbb{R}^2$ - un système de trois équations linéaires dans $\mathbb{R}^3$ , ayant une unique solution par substitution ou par la méthode du pivot de Gauss
Traiter une situation	- faisant appel aux équations dans $\mathbb{R}^2$ ou dans $\mathbb{R}^3$

## THEME 2 : FONCTIONS

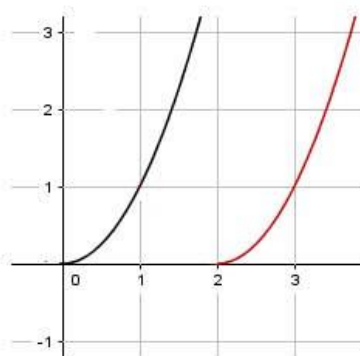
### Leçon 1.3 : Généralités sur les fonctions

#### Exemple de situation d'apprentissage

Pendant une expérience en classe, un ordinateur donne différentes trajectoires d'un objet mobile sur son écran.

Le professeur affirme qu'il existe une transformation qui permet de passer d'une des courbes à l'autre.

Curieux, les élèves décident d'étudier et de construire l'image d'une courbe par une transformation.



HABILETES	CONTENUS
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition de la restriction d'une fonction sur une partie non vide</li> <li>- la définition d'une application</li> <li>- la définition d'une application injective</li> <li>- la définition d'une application surjective</li> <li>- la définition d'une application bijective et de sa réciproque</li> <li>- la définition d'une fonction supérieure ou inférieure à une autre sur un intervalle donné</li> <li>- la définition de la somme, du produit et du quotient de deux fonctions</li> <li>- la définition de la composée de deux fonctions</li> <li>- les fonctions associées : <math>x \mapsto f(x - a)</math> , <math>x \mapsto f(x) + b</math> ,  <math>x \mapsto f(x - a) + b</math> , <math>x \mapsto f(-x)</math> , <math>x \mapsto -f(x)</math> , <math>x \mapsto -f(-x)</math> , <math>x \mapsto  f(x) </math></li> <li>- les propriétés relatives à la représentation graphique de fonctions et translation</li> <li>- les propriétés relatives à la représentation graphique de fonctions et symétries</li> <li>- la propriété relative à la représentation graphique d'une fonction bijective et celle de sa réciproque</li> </ul>
Reconnaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'image d'une représentation graphique d'une fonction par une translation ou par une symétrie</li> <li>- la représentation graphique d'une fonction bijective</li> </ul>
Construire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les représentations graphiques des fonctions associées à la fonction <math>f</math> :  <math>x \mapsto f(x - a)</math> , <math>x \mapsto f(x) + b</math> , <math>x \mapsto f(x - a) + b</math> ,  <math>x \mapsto f(-x)</math> , <math>x \mapsto -f(x)</math> , <math>x \mapsto -f(-x)</math> ,  <math>x \mapsto  f(x) </math>.</li> <li>- la courbe représentative de la bijection réciproque d'une bijection <math>f</math> dans un repère orthonormé, connaissant la courbe représentative de <math>f</math>.</li> </ul>
Comparer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- deux fonctions connaissant leurs représentations graphiques</li> <li>- deux fonctions connaissant leurs formules explicites</li> </ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'ensemble de définition de la somme , du produit , du quotient ou de la composée de deux fonctions.</li> <li>- la formule explicite de la somme , du produit , du quotient ou de la composée de deux fonctions.</li> </ul>
Interpréter	- graphiquement l'inéquation $f(x) \leq g(x)$ sur un intervalle donné
Résoudre	- l'inéquation $f(x) \leq g(x)$
Traiter une situation	- faisant appel à des fonctions

## Leçon 1.4 : Limites et continuité.

### Exemple de situation d'apprentissage

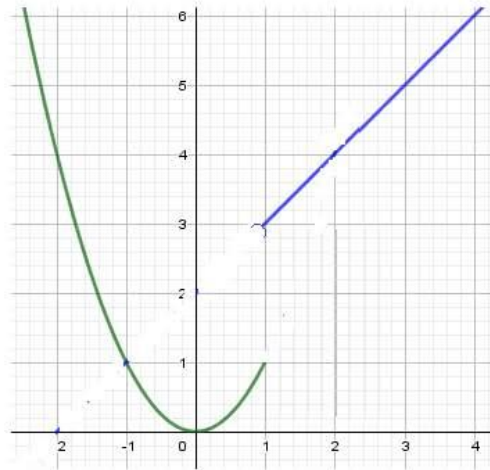
Pendant une séance de cours en informatique qu'organise le club scientifique, les élèves d'une classe de première D apprennent à tracer des courbes à l'aide de l'ordinateur

Ainsi pour la fonction  $f$  définie par :

$$\begin{cases} f(x) = x^2 \text{ si } x \in ]-\infty, 1] \\ f(x) = x + 2 \text{ si } x \in ]1, +\infty[ \end{cases}$$

Ils observent sur l'écran de leur ordinateur une figure morcelée en deux au point d'abscisse 1 (voir figure). Cherchant à expliquer cette particularité de la courbe, un membre du club les renvoie aux notions de continuité

Curieux d'en savoir plus, les élèves décident de connaître les définitions et propriétés relatives aux limites et continuité et de les utiliser pour justifier le saut au point d'abscisse 1.



Habiletés	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition d'une fonction continue en un point</li> <li>- la définition d'une fonction continue sur un intervalle</li> <li>- les propriétés relatives à la continuité d'une fonction en un point</li> <li>- les limites des fonctions de référence</li> <li>- les opérations sur les limites des fonctions en un point</li> <li>- la continuité des fonctions somme, produit, quotient en un point.</li> </ul>
Noter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la limite d'une fonction en un point</li> <li>- la limite à gauche d'une fonction en un point</li> <li>- la limite à droite d'une fonction en un point</li> </ul>
Reconnaître	- graphiquement qu'une fonction est continue en un point
Justifier	- qu'une fonction est continue en un point
Calculer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les limites éventuelles de certaines fonctions en un point en utilisant les opérations sur les limites des fonctions en un point</li> <li>- la limite à gauche, la limite à droite en un point d'une fonction.</li> </ul>
Etudier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la continuité d'une fonction en un point en utilisant la limite à gauche, la limite à droite en ce point</li> <li>- la continuité d'une fonction en un point en utilisant les propriétés sur la somme, produit, quotient des fonctions continues en ce point</li> </ul>
Traiter une situation	- faisant appel aux limites et à la continuité d'une fonction en un point

## Leçon 1.5 : Dérivation

### Exemple de situation d'apprentissage

La coopérative de la promotion «première» de l'établissement que tu fréquentes, gère une broyeuse de manioc. Cette machine peut broyer jusqu'à 25 tonnes de manioc par jour.

Une étude, sur le fonctionnement et la recette journaliers de la broyeuse, faite par ton professeur de mathématiques révèle que le bénéfice en milliers de francs, réalisé s'exprime par  $b(x) = -x^2 + 40x - 225$  où  $x$  est la quantité de manioc broyé par jour.

Dans le but de faire des prévisions pour le bal de fin d'années, toi et tes camarades de classe souhaitent savoir le bénéfice maximal et la quantité de manioc qu'il faut pour avoir ce bénéfice. Pour cela ils décident d'étudier la dérivation.

HABILETES	CONTENUS
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition du nombre dérivé en un point d'une fonction</li> <li>- la définition de la fonction dérivée sur un intervalle ouvert.</li> <li>- les fonctions dérivées des fonctions de référence</li> <li>- la propriété de la fonction dérivable sur un intervalle ouvert..</li> <li>- la propriété de la dérivabilité et continuité en un point</li> <li>- les propriétés sur les opérations des fonctions dérivables (somme, produit, inverse, quotient).</li> <li>- la propriété de la fonction dérivée des fonctions du type <math>g(x)=f(ax + b)</math> où <math>f</math> est une fonction de référence.</li> <li>- les propriétés sur la dérivée et sens de variation</li> <li>- la propriété sur l'extremum relatif d'une fonction</li> </ul>
Noter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le nombre dérivé d'une fonction en un point</li> <li>- la dérivée d'une fonction sur un intervalle ouvert</li> </ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une équation de la tangente à une courbe en un point donné.</li> <li>-le sens de variation d'une fonction sur un intervalle donné en utilisant le signe sa dérivée.</li> <li>- un extremum d'une fonction en utilisant sa dérivée.</li> <li>- la fonction dérivée d'une fonction sur un intervalle ouvert donné</li> <li>-des fonctions dérivées en utilisant les opérations sur les fonctions dérivables et les dérivées des fonctions: <math>x \rightarrow ax + b</math>, <math>x \rightarrow \sqrt{x}</math>, <math>x \rightarrow x^n</math> (<math>n \in \mathbb{N}^*</math>), <math>x \rightarrow \frac{1}{x}</math>, <math>x \rightarrow \cos x</math>, <math>x \rightarrow \sin x</math>, <math>x \rightarrow \tan x</math>, <math>x \rightarrow \frac{1}{x^n}</math> (<math>n \in \mathbb{N}^*</math>)</li> </ul>
Calculer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le nombre dérivé d'une fonction en un point ,</li> </ul>
Construire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la tangente en un point de la courbe représentative d'une fonction sans utiliser une équation de cette tangente.</li> </ul>
Interpréter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graphiquement le nombre dérivé en un point.</li> </ul>
Traiter une situation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faisant appel à la dérivation</li> </ul>

## Leçon 1.6 : Extension de la notion de limite

### Exemple de situation d'apprentissage

<p>Au cours de leurs recherches sur internet, des élèves d'une classe de première D découvrent que l'équation de la trajectoire d'un objet mobile dans le plan muni d'un repère orthonormé est :</p> $f(t) = \frac{t}{2t+1} \text{ où } t \in [0, +\infty[.$ <p>Ils constatent que pour des valeurs de plus en plus grandes de <math>t</math>, la trajectoire de ce mobile se rapproche de la droite d'équation <math>y = \frac{1}{2}</math> comme l'indique le graphique ci-contre.</p> <p>Ils veulent donc expliquer ce résultat.</p> <p>Ils s'organisent pour étudier les limites d'une fonction</p>	
---	--

Habiletés	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la limite infinie d'une fonction en un point</li> <li>- la notion d'asymptote verticale</li> <li>- la limite à l'infini d'une fonction</li> <li>- la notion d'asymptote horizontale</li> <li>- la limite à l'infini des fonctions de référence : <math>x \rightarrow c, x \rightarrow x, x \rightarrow x^2, x \rightarrow x^3, x \rightarrow \sqrt{x}, x \rightarrow \frac{1}{x}</math></li> <li>- la limite à l'infini des fonctions <math>x \rightarrow x^n, x \rightarrow \frac{1}{x^n}, n \in \mathbb{N}^*</math></li> <li>- la limite à gauche ou à droite en un point <math>a</math> de : <math>x \rightarrow \frac{1}{x-a}</math>,</li> <li>- la limite à gauche ou à droite en un point <math>a</math> de : <math>x \rightarrow \frac{1}{(x-a)^n}</math></li> <li>- les propriétés relatives aux opérations sur les limites à l'infini</li> <li>- la propriété relative à la limite à l'infini d'une fonction polynôme</li> <li>- la propriété relative à la limite à l'infini d'une fonction rationnelle</li> </ul>
Interpréter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graphiquement une limite infinie d'une fonction en un point (asymptote verticale)</li> <li>- graphiquement une limite finie d'une fonction à l'infini (asymptote horizontale)</li> </ul>
Calculer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les limites à l'infini des fonctions polynômes et des fonctions rationnelles</li> <li>- les limites aux bornes de l'ensemble de définition d'une fonction</li> <li>- la limite à droite (respectivement à gauche) en <math>a</math> d'une fonction rationnelle non définie en <math>a</math>.</li> </ul>
Justifier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- qu'une droite d'équation <math>x = a</math> est asymptote verticale à la représentation graphique d'une fonction donnée</li> <li>- qu'une droite d'équation <math>y = b</math> est asymptote horizontale à la représentation graphique d'une fonction donnée</li> </ul>
Traiter une situation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faisant appel à l'extension de la notion de limite</li> </ul>

## Leçon 1.7 : Etude et représentation graphique d'une fonction

### Exemple de situation

Une ménagère produit  $x$  galettes par jour. Sa fille, en classe de 1<sup>ère</sup>, a modélisé en fonction du nombre  $x$  de galettes, le coût de production  $C(x)$  journalier estimé en FCFA par :  $C(x) = 0,004x^2 + 30x + 1000$ . Elle vend ces galettes à 40 FCF l'unité. Chaque jour, elle réussit à écouler toute sa production. Mais elle constate qu'elle fait souvent des pertes selon de nombre de galettes produites.

La fille explique la situation que vit sa mère à ses camarades de classe.

Les élèves décident d'étudier de représenter la fonction Bénéfice  $B(x) = 40x - C(x)$  pour déterminer les valeurs de  $x$  pour lesquelles la ménagère fait des bénéfices.

Habiletés	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition d'une fonction paire</li> <li>- la définition d'une fonction impaire</li> <li>- la propriété relative à la représentation graphique d'une fonction paire, d'une fonction impaire</li> </ul>
Reconnaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la représentation graphique d'une fonction paire</li> <li>- la représentation graphique d'une fonction impaire</li> <li>- le centre de symétrie d'une fonction à partir de sa représentation graphique</li> <li>- l'axe de symétrie d'une fonction à partir de sa représentation graphique</li> </ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"> <li>-le tableau de variation d'une fonction définie par sa formule explicite sur son ensemble de définition</li> <li>- les extrémums éventuels d'une fonction définie par sa formule explicite sur son ensemble de définition</li> <li>- les asymptotes verticales, horizontales ou obliques d'une fonction définie par sa formule explicite sur son ensemble de définition</li> </ul>
Interpréter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graphiquement la parité d'une fonction</li> <li>- graphiquement la limite nulle à l'infini de <math>x \rightarrow f(x) - (ax + b)</math>, (asymptote oblique)</li> </ul>
Construire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la représentation graphique d'une fonction polynôme de degré inférieur ou égal à 3</li> <li>- la représentation graphique d'une fonction homographique</li> <li>- la représentation graphique d'une fonction de type <math>x \mapsto ax + b + \frac{c}{dx + e}</math></li> <li>- la représentation graphique d'une fonction paire ou impaire sur son ensemble de définition, connaissant sa représentation sur son ensemble d'étude</li> </ul>
Justifier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- qu'une droite donnée par une équation cartésienne est asymptote à la représentation graphique d'une fonction</li> </ul>
Démontrer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- qu'une fonction est paire ou impaire.</li> <li>- qu'une droite d'équation <math>x = a</math> est un axe de symétrie de la courbe représentative d'une fonction</li> <li>- qu'un point donné est centre de symétrie de la courbe représentative d'une fonction.</li> </ul>
Résoudre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graphiquement des équations ou des inéquations de type : <math>f(x) = g(x)</math>, <math>f(x) \leq g(x)</math>.</li> </ul>
Traiter une situation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faisant appel à l'étude et à la représentation graphique d'une fonction</li> </ul>

## Leçon 1.8 : suites numériques

### Exemple de situation d'apprentissage

Le père d'un élève en classe de première a placé la somme de 200000 francs dans une banque au nom de ce dernier dès sa naissance à un taux de 3% par an. Il ne pourra toucher à la somme qu'à 18 ans.

L'élève, impatient, désire savoir ce qu'il aura au terme des 18 ans.

Pour l'aider, les élèves de sa classe s'organisent pour étudier les suites numériques.

Habiletés	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"><li>- la définition d'une suite numérique</li><li>- la définition d'une suite arithmétique</li><li>- la définition d'une suite géométrique</li><li>- l'expression du terme général d'une suite arithmétique en fonction d'un terme quelconque de cette suite</li><li>- l'expression du terme général d'une suite géométrique en fonction d'un terme quelconque de cette suite</li><li>- la somme de <math>n</math> termes consécutifs d'une suite arithmétique</li><li>- la somme de <math>n</math> termes consécutifs d'une suite géométrique</li></ul>
Reconnaître	<ul style="list-style-type: none"><li>- une suite définie par une formule explicite</li><li>- une suite définie par une formule de récurrence</li></ul>
Calculer	<ul style="list-style-type: none"><li>- des termes d'une suite.</li><li>- une somme de termes consécutifs d'une suite arithmétique</li><li>- une somme de termes consécutifs d'une suite géométrique</li><li>- un terme de rang quelconque d'une suite arithmétique connaissant un terme et la raison</li><li>- un terme de rang quelconque d'une suite géométrique connaissant un terme et la raison</li></ul>
Représenter	<ul style="list-style-type: none"><li>- graphiquement des termes d'une suite définie par une formule de récurrence</li></ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"><li>- la raison d'une suite arithmétique</li><li>- la raison d'une suite géométrique</li></ul>
justifier	<ul style="list-style-type: none"><li>- qu'une suite est arithmétique</li><li>- qu'une suite est géométrique</li></ul>
Traiter une situation	<ul style="list-style-type: none"><li>- faisant appel aux suites numériques</li></ul>

## COMPETENCE2

Traiter une situation relative à la modélisation d'un phénomène aléatoire, à l'organisation et au traitement des données.

### Thème 1 : Organisation et traitement des données

#### Leçon 2.1 : Statistique à une variable

##### Exemple de situation d'apprentissage

L'équipe de course à pieds d'un lycée a un nouvel entraîneur. Celui-ci vient de recevoir le tableau ci-dessous indiquant le temps mis par chacun des membres de l'équipe lors de la dernière épreuve de 10 km.

Nom	Temps (en min)
Agnero	53
Aka	51
Akalé	66
Allou	63
Amani	59
Ballo	61
Camara	48
Dago	41
Ehouman	47
Fallé	46

Nom	Temps (en min)
Goly	51
Gnali	60
Kassi	49
Koffi	46
Kouamé	44
Kouman	43
Lath	52
Lamine	39
Lohess	42
Manouan	53

Nom	Temps (en min)
Pakora	51
Sery	57
Seyo	62
Tiékoura	50
Traoré	43
Vanié	47
Yao	48
Yéo	56
Zadi	49
Zatto	61

Soucieux d'améliorer les performances de l'équipe, l'entraîneur expose ses décisions suivantes à l'équipe.

« Je vais vous partager en cinq équipes de niveau équivalent (selon le temps mis lors de votre dernière épreuve) et de même effectif.

Pour exposer les raisons de mon choix, je vais faire un affichage présentant une représentation graphique sous forme d'un histogramme.

Chacun des sportifs sera situé par rapport aux autres avec le classement, ainsi qu'une mise en évidence du premier quart, de la moitié et du troisième quart et des temps correspondants ».

Les élèves des classes de première D faisant partie de l'équipe sont impatients de savoir dans quelles équipes ils seront et quelle est la situation de chacun par rapport aux autres.

Ils se mettent ensemble pour répondre à ces préoccupations.

HABILETES	CONTENUS
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition de quartiles d'une série statistique regroupée en classes de même amplitude ou non.</li> <li>- la définition de l'écart interquartile d'une série statistique regroupée en classes</li> </ul>
Regrouper	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les modalités en classes de même amplitude ou non.</li> </ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la classe modale d'une série statistique regroupée en classes d'amplitudes différentes.</li> </ul>
Calculer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les paramètres de position d'une série statistique regroupée en classes de même amplitude ou non : la moyenne, la médiane, les quartiles</li> <li>- les paramètres de dispersion d'une série statistique regroupée en classe de même amplitude ou non : la variance, l'écart-type, l'écart interquartile</li> </ul>
Construire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'histogramme des effectifs et des fréquences d'une série statistique regroupée en classes de même amplitude ou non.</li> <li>- les polygones des effectifs et des fréquences d'une série statistique regroupée en classes de même amplitude ou non.</li> <li>- les polygones des effectifs cumulés et des fréquences cumulés d'une série statistique</li> </ul>

	regroupée en classes de même amplitude ou non. - des courbes cumulatives.
Interpréter	- les caractéristiques de position - les caractéristiques de dispersion
Traiter une situation	- faisant appel à la statistique

## Thème 2 : Modélisation d'un phénomène aléatoire

### Leçon 2.2 : Dénombrement

#### Exemple de situation d'apprentissage

Pour préparer un exposé sur les banques, les élèves d'une classe de 1<sup>ère</sup> prennent des informations auprès d'une banque. Selon ces informations, une banque dispose de guichets automatiques où certains clients peuvent faire des retraits d'argent à l'aide d'une carte magnétique. Chaque carte magnétique a un code secret connu seulement du titulaire de la carte. Ce code secret est une suite de quatre chiffres du système décimal.

**Exemples de codes :** 0375 , 9918 , 2400.

Curieux, les élèves décident de déterminer le nombre de cartes magnétiques que la banque peut distribuer à ses clients. Ils s'organisent pour apprendre les techniques et les formules de dénombrement.

HABILETES	CONTENUS
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition d'un ensemble fini</li> <li>- la définition de la réunion de deux ensembles finis</li> <li>- la définition de l'intersection de deux ensembles finis</li> <li>- la définition du complémentaire d'un ensemble</li> <li>- la définition de deux ensembles disjoints</li> <li>- la définition du cardinal d'un ensemble fini</li> <li>- la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</li> <li>- la définition du produit cartésien d'ensembles finis</li> <li>- le nombre de p-uplets d'un ensemble à n éléments</li> <li>- le nombre d'arrangements à p éléments d'un ensemble à n éléments (<math>n \geq p</math>)</li> <li>- le nombre de permutations d'un ensemble à n éléments</li> <li>- le nombre de combinaisons à p éléments d'un ensemble à n éléments (<math>n \geq p</math>)</li> <li>- la propriété relative au cardinal de la réunion de deux ensembles finis</li> <li>- la propriété relative au cardinal du complémentaire</li> <li>- la propriété du cardinal du produit cartésien d'ensembles finis</li> </ul>
Choisir	- une des notions p-uplet, arrangement, permutation, combinaison pour résoudre un problème de dénombrement
Dénombrer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- en utilisant une des notions p-uplet, arrangement, permutation, combinaison</li> <li>- en utilisant un arbre de choix, un tableau à double entrée, un diagramme ou un comptage</li> </ul>
Calculer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le cardinal d'un ensemble fini</li> <li>- le cardinal du produit cartésien d'ensembles finis</li> <li>- <math>n!</math>, <math>C_n^p</math>, <math>A_n^p</math> (<math>p \leq n</math>)</li> </ul>
Traiter une situation	- faisant appel aux dénombrements

### Leçon 2.3 : Probabilité

#### Exemple de situation d'apprentissage

Un jeu organisé à la kermesse de l'école consiste à lancer une fois un dé parfait numéroté de 1 à 6 et à noter le numéro de la face supérieure.

On dit qu'on a le jackpot lorsqu'on obtient 6. Le Jackpot donne droit à 10 000 F.

Au cours d'une discussion, une élève d'une classe de première D, affirme qu'on a peu de chance d'avoir le numéro du jackpot qu'un autre numéro. Son camarade de classe qui vient de décrocher le jackpot n'est pas du même avis.

Afin de les départager, les autres élèves de la classe décident d'effectuer des calculs de probabilité.

HABILETES	CONTENUS
Connaître	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition d'une probabilité sur un ensemble fini</li> <li>- le vocabulaire des probabilités : expérience aléatoire, évènement, évènement certain, éventualité, évènement élémentaire, évènement contraire, évènement impossible, probabilité d'un évènement, évènement (A ou B), évènement (A et B), univers, évènements incompatibles, équiprobabilité.</li> <li>- les propriétés <math>p(A \cup B) = p(A) + p(B) - p(A \cap B)</math>, <math>p(\overline{A}) = 1 - p(A)</math></li> </ul>
Dénombrer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les cas possibles d'une expérience dans le cas d'une expérience conduisant à un nombre fini d'éventualités</li> <li>- les cas favorables d'un évènement dans le cas d'une expérience conduisant à un nombre fini d'éventualités</li> </ul>
Calculer	- la probabilité d'un évènement
Traiter une situation	- faisant appel à la probabilité

### COMPETENCE 3

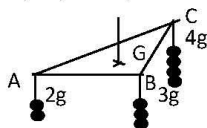
Traiter des situations relatives à la géométrie du plan, à la géométrie de l'espace et aux transformations du plan.

#### THEME 1 : GEOMETRIE DU PLAN

#### Leçon 3.1 : Barycentre

#### Exemple de situation d'apprentissage

Une suspension est constituée d'un triangle ABC de masse négligeable et de poids fixés en chacun de ses sommets. On se propose de déterminer en quel point G, accrocher la suspension pour qu'elle soit en équilibre



Un élève en 1<sup>ère</sup> D, affirme que le point G vérifie  $2\overrightarrow{GA} + 3\overrightarrow{GB} + 4\overrightarrow{GC} = \vec{0}$ .

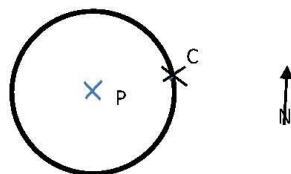
Ses camarades de classe décident de déterminer alors la position exacte du point G.

Habilités	Contenus
Connaître	- la définition : <ul style="list-style-type: none"> <li>• du barycentre de deux points pondérés ou de trois points pondérés</li> <li>• de l'isobarycentre de deux points pondérés ou de trois points pondérés</li> </ul> - les propriétés relatives au barycentre de deux points pondérés ou trois points pondérés - la caractérisation vectorielle du milieu d'un segment - la caractérisation vectorielle du centre de gravité d'un triangle
Reconnaître	- le barycentre deux ou trois points pondérés, à partir d'une égalité vectorielle - l'isobarycentre de deux ou trois points pondérés, à partir d'une égalité vectorielle
Traduire	- qu'un point est barycentre de deux ou trois points pondérés, à partir d'une égalité vectorielle - qu'un point est isobarycentre de deux ou trois points pondérés, à partir d'une égalité vectorielle
Construire	- le barycentre de deux ou trois points pondérés
Déterminer	- le barycentre de deux ou trois points pondérés - l'isobarycentre de deux ou trois points pondérés - un ensemble de points en utilisant la formule de réduction - des nombres réels $\alpha$ et $\beta$ pour que G soit barycentre des points pondérés (A, $\alpha$ ) et (B, $\beta$ ), A, B et G étant trois points alignés donnés. - les coordonnées du barycentre de points pondérés donnés dans un repère
Justifier	- qu'un point donné est le barycentre de deux ou trois points pondérés en utilisant une égalité vectorielle - qu'un point donné est le barycentre de trois points pondérés en utilisant les barycentres partiels
Traiter une situation	faisant appel au barycentre

### Leçon 3.2 : Angles orientés et trigonométrie

#### Exemple de situation d'apprentissage

Carte aux trésors



Un homme riche et passionné des mathématiques a laissé une carte et deux trésors bien dissimulés. (voir carte ci-dessus). Il a laissé les instructions suivantes :

- Les trésors  $T_1$  et  $T_2$  sont sur le cercle de centre le puits P et passant par le citronnier C,
- Pour trouver le trésor  $T_1$ , il faut parcourir le cercle à partir du point C dans le sens contraire des aiguilles d'une montre sachant que  $\text{mes } \overrightarrow{T_1 P C} = 60^\circ$ ,
- Pour trouver le trésor  $T_2$ , il faut parcourir le cercle à partir du point  $T_1$  dans le sens des aiguilles d'une montre sachant que  $\text{mes } \overrightarrow{T_2 P C} = 45^\circ$ .

Des élèves en classe 1<sup>er</sup> D, déterminés à retrouver ces trésors, décident d'étudier les angles orientés et leurs propriétés.

Habilités	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la définition de la mesure principale d'un angle orienté</li> <li>- la définition de la somme ou de la différence de deux angles orientés-</li> <li>- la définition du cosinus, du sinus ou de la tangente d'un nombre réel</li> <li>- la relation de Chasles</li> <li>- la définition d'une fonction périodique</li> <li>- les propriétés relatives à l'angle orienté nul, à l'angle orienté plat ou à l'angle orienté droit</li> <li>- les formules d'addition, de duplication et de linéarisation</li> <li>- les propriétés du sinus, du sinus du cosinus, de la tangente d'angles associés</li> </ul>
Reconnaitre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la représentation graphique d'une fonction périodique</li> <li>- la représentation graphique périodique</li> </ul>
Représenter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graphiquement les fonctions de types : <math>x \mapsto \cos x</math> , <math>x \mapsto \sin x</math> , <math>x \mapsto \tan x</math>,  <math>x \mapsto \cos(ax + b)</math>, : <math>x \mapsto \sin(ax + b)</math></li> </ul>
Placer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sur le cercle trigonométrique, le point image d'un angle orienté dont on connaît une mesure</li> </ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la mesure principale d'un angle orienté</li> <li>- une mesure de la somme de deux angles en utilisant la relation de Chasles</li> <li>- à l'aide du cercle trigonométrique, le sinus, le cosinus, la tangente d'un nombre réel.</li> <li>- les lignes trigonométriques de <math>-x</math> , <math>x + \pi</math> , <math>\pi - x</math> , <math>\frac{\pi}{2} - x</math> , <math>\frac{\pi}{2} + x</math> à partir de celle de <math>x</math> en utilisant les angles associés</li> <li>- des lignes trigonométriques en utilisant les formules d'addition ou de duplication</li> </ul>
Transformer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- des expressions trigonométriques en utilisant les formules d'addition ou de duplication</li> <li>- des expressions trigonométriques en utilisant les angles associés</li> </ul>
Réduire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'expression <math>a \cos x + b \sin x</math></li> </ul>
Justifier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- que deux réels donnés sont des mesures d'un même angle orienté</li> </ul>
Résoudre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dans <math>\mathbb{R}</math>, les équations de type : <math>\cos x = \cos a</math>, <math>\sin x = \sin a</math>, <math>\tan x = \tan a</math>,  <math>a</math> étant un nombre réel donné</li> <li>- dans <math>\mathbb{R}</math> les équations de type : <math>\cos x = a</math>, <math>\sin x = a</math>, <math>\tan x = a</math>, <math>a</math> étant un nombre réel donné</li> <li>- dans <math>\mathbb{R}</math> les équations de type : <math>a \cos x + b \sin x + c = 0</math>, (<math>a</math> et <math>b</math> sont deux nombres réels non nuls donnés ).</li> <li>- graphiquement les inéquations de type : <math>\cos x \leq a</math>, <math>\sin x \leq a</math>, <math>\tan x \leq a</math> (<math>a</math> est un nombre réel donné).</li> </ul>
Traiter une situation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faisant appel à la trigonométrie</li> </ul>

## THEME 2 : GEOMETRIE DANS L'ESPACE

### Leçon 3.3 : Orthogonalité dans l'espace

#### Exemple de situation

En passant devant un chantier de construction, deux élèves de 1<sup>ère</sup> D entendent le chef de chantier donner des instructions pour que les planchers des différents étages en construction soient parallèles. Cela confère une solidité au bâtiment.

Un des élèves affirme que cela est possible si chaque droite représentant un pilier est orthogonale à toutes les droites d'un plancher donné.

Son camarade soutient qu'il suffit que chaque droite représentant un palier soit orthogonale à deux droites sécantes d'un plancher donné.

Cette discussion se poursuit en classe.

Pour les départager, les élèves décident d'étudier l'orthogonalité dans l'espace et d'apprendre à démontrer qu'une droite est orthogonale à un plan.



HABILETES	CONTENUS
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"><li>- la définition de deux droites orthogonales</li><li>- la définition d'une droite perpendiculaire à un plan</li><li>- la définition de deux plans perpendiculaires</li><li>- la définition de la projection orthogonale sur un plan</li><li>- les propriétés relatives à l'orthogonalité et au parallélisme dans l'espace</li><li>- la propriété relative au projeté orthogonal du milieu d'un segment.</li></ul>
Reconnaitre	sur les solides usuels (pavé droit, prisme, tétraèdre, pyramide) :: <ul style="list-style-type: none"><li>- deux droites orthogonales , deux plans perpendiculaires , deux plans parallèles ou une droite perpendiculaire à un plan</li><li>- le projeté orthogonal d'un point , d'une droite ou d'un segment</li><li>- l'image du milieu d'un segment par la projection orthogonale sur un plan</li></ul>
Déterminer	l'image d'un point , d'une droite ou d'un segment par une projection orthogonale sur un plan
Démontrer	<ul style="list-style-type: none"><li>- que deux droites sont orthogonales</li><li>- que deux plans sont perpendiculaires</li><li>- qu'une droite est perpendiculaire à un plan</li><li>- que deux plans parallèles</li><li>- que deux droites sont parallèles</li><li>- qu'un point est milieu d'un segment</li></ul>
Traiter une situation	faisant appel à l'orthogonalité dans l'espace

### THEME 3 : TRANSFORMATION DU PLAN

#### Leçon 3.4 : Composées de transformations du plan

##### Exemple de situation d'apprentissage

Lors d'une exposition sur le bâtiment à Abidjan, des élèves d'une classe de 1<sup>ère</sup> D ont visité les stands avec leur professeur de mathématique, lui-même passionné d'architecture. Ils observent la photographie d'une maison et sont émerveillés devant la répétition de certaines figures géométriques. Leur professeur affirme que l'architecte a utilisé une image de base et la composée de deux transformations pour obtenir cette œuvre architecturale.

Impressionnés par cette prouesse, les élèves décident d'apprendre à construire l'image d'un point par la composée de deux transformations et de démontrer des propriétés en utilisant la composée de deux transformations.

Habilités	Contenus
Connaitre	<ul style="list-style-type: none"><li>- la nature et les éléments caractéristique de la composée de deux rotations de même centre</li><li>- la nature et les éléments caractéristique de la composée de deux homothéties de même centre</li></ul>
Construire	<ul style="list-style-type: none"><li>- l'image d'un point par la composée de deux rotations de même centre</li><li>- l'image d'un point par la composée de deux homothéties de même centre</li></ul>
Déterminer	<ul style="list-style-type: none"><li>- la nature et les caractéristiques de la composée deux rotations de même centre</li><li>- la nature et les caractéristiques de la composée de deux homothéties de même centre</li><li>- des lieux géométriques en utilisant une rotation ou la composée de deux rotations de même centre</li><li>- des lieux géométriques en utilisant une homothétie ou la composée de deux homothéties de même centre</li></ul>
Démontrer	<ul style="list-style-type: none"><li>- des propriétés en utilisant une rotation ou la composée de deux rotations de même centre</li><li>- des propriétés en utilisant une homothétie ou la composée de deux homothéties de même centre</li></ul>
Résoudre	<ul style="list-style-type: none"><li>- un problème de construction en utilisant une rotation, la composée de deux rotations de même centre,</li><li>- un problème de construction en utilisant une homothétie ou la composée de deux homothéties de même centre</li></ul>
Traiter une situation	faisant appel aux composées de transformations du plan

# GUIDE D'EXECUTION DES PROGRAMMES MATHÉMATIQUES - PREMIERE D

## I. PROGRESSION 1<sup>ère</sup> D 2017-2018 (voir annexe)

## II. PROPOSITIONS DE CONSIGNES, SUGGESTIONS PEDAGOGIQUES ET MOYENS

### LEÇON 1 : BARYCENTRE

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Barycentre de 2 ou 3 points pondérés</li> <li>-définition et notation de point pondéré</li> <li>-définition du barycentre de 2 ou 3 points pondérés et notation</li> <li>- condition d'existence du barycentre</li> <li>● Propriétés</li> <li>-homogénéité (multiplication des coefficients par un scalaire)</li> <li>-réduction de la somme de vecteurs : <math>a\overline{MA} + b\overline{MB} = (a + b)\overline{MG}</math> avec <math>a + b \neq 0</math></li> <li>-Ensemble des barycentres de deux points A et B</li> <li>-le théorème du barycentre partiel</li> <li>● Isobarycentre</li> <li>-définition</li> <li>-caractérisation vectorielle du milieu d'un segment</li> <li>-caractérisation du centre de gravité d'un triangle</li> <li>● Coordonnées du barycentre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utiliser les acquis sur le calcul vectoriel (relation de Chasles, constructions, alignement)</li> <li>● Etablir un lien avec la physique chimie (centre d'inertie) et les statistiques (moyenne pondérée)</li> <li>● les lignes de niveau ne sont pas au programme</li> <li>● la caractérisation du cercle <math>\overline{MA} \cdot \overline{MB} = 0</math> n'est pas au programme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li> </li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Calculatrice</li> <li> </li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> <li> </li> <li>-Instruments de géométrie</li> <li> </li> <li>-Internet</li> <li>-Revue</li> </ul>

### Leçon 2 : Angle orienté et trigonométrie

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Somme et différence des angles orientés</li> <li>● Relation de Chasles</li> <li>● Définition du sinus du cosinus et de la tangente d'un nombre réel</li> <li>● Propriétés : <math>\cos^2 x + \sin^2 x = 1</math> <math>-1 \leq \cos x \leq 1</math> <math>-1 \leq \sin x \leq 1</math></li> <li>● périodicité des fonctions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Présenter les notions d'angles orientés à partir d'exemples accompagnés de figures et non de façon abstraite</li> <li>● Les fonctions trigonométriques sont des exemples de fonctions périodiques</li> <li>● la représentation graphique de la fonction tangente pourra être faite dans la leçon « Etude de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li> </li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Calculatrice</li> <li> </li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> <li> </li> <li>-Instruments de géométrie</li> </ul>

<p>trigonométriques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>représentation graphique des fonctions sinus, cosinus et tangente</li> <li>Formules d'addition :  <math>\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b</math>,  <math>\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b</math>,  <math>\sin(a-b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b</math>,  <math>\sin(a+b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b</math></li> <li>Formules de duplication:  <math>\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a</math>,  <math>\sin 2a = 2 \sin a \cos a</math></li> <li>Formules de linéarisation:  <math>\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}</math>,  <math>\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}</math></li> <li>Réduction de <math>a \cos x + b \sin x</math></li> <li><b>équations ou inéquations trigonométriques</b></li> <li>- Equations du type :  <math>\cos x = \cos a</math>,  <math>\sin x = \sin a</math>,  <math>\tan x = \tan a</math>, avec <math>a</math> étant un nombre réel donné  <math>\cos x = a</math>  <math>\sin x = a</math>  <math>\tan x = a</math>  <math>a \cos x + b \sin x + c = 0</math>  <math>(a \neq 0 \text{ et } b \neq 0)</math>.</li> <li>- inéquations trigonométriques du type : <math>\cos x \leq a</math>, <math>\sin x \leq b</math>, <math>\tan x \leq c</math>  <math>(a, b, c \text{ sont des nombres réels donnés})</math>.</li> </ul>	<p>fonctions »</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lors des évaluations, privilégier les lectures si nécessaire en fournissant les courbes</li> <li>Habituer les élèves à l'utilisation du cercle trigonométrique pour retrouver des formules ou résoudre des équations ou inéquations trigonométriques</li> </ul>		<p>-Internet -Revue</p>
---	---	--	-----------------------------

### Leçon 3 : Orthogonalité dans l'espace

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>Droites orthogonales: Définitions, propriétés</li> <li>Droites et plans orthogonaux : -définition - propriétés, orthogonalité et parallélisme</li> <li>Plans perpendiculaires -définition -propriétés</li> <li>Distance d'un point à un plan -définition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les exercices seront résolus avec des figures comme support à distribuer aux élèves ou à faire dessiner</li> <li>Veiller à ce que les élèves travaillent sur des figures correctes</li> <li>Faire remarquer aux élèves que les propriétés du plan ne s'étendent toujours à l'espace notamment en ce qui concerne l'orthogonalité de deux droites ou l'orthogonalité d'une droite et d'un plan par exemple</li> <li>Commencer d'abord à raisonner sur des solides « simples » comme par exemple les cubes, pavés droits, puis passer progressivement à des solides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> <li>- patrons de solides</li> <li>-confection de solides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> <li>-Instruments de géométrie</li> <li>-cube, pavé droit, prisme, tétraèdre</li> <li>-photos de solides etc.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projection orthogonale sur un plan</li> </ul>	<p>plus complexes (prismes, tétraèdres, pyramides)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Au cours des évaluations, se limiter à des solides classiques (cube, pavé droit, prisme, pavé droit, tétraèdre, pyramide)</li> <li>•La projection orthogonale sur une droite n'est pas au programme</li> </ul>		
--	---	--	--

#### Leçon 4 : Composées de transformations du plan

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<p>-composée de deux translations</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•ROTATIONS</li> <li>-Nature et éléments caractéristiques de la composée de deux rotations de même centre</li> <li>•HOMOTHETIES</li> <li>-Nature et éléments caractéristiques de la composée de deux homothéties de même centre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•En seconde, les homothéties ont été définies et étudiées au niveau 1. On a dégagé les premières propriétés. En première D, les rotations et homothéties sont utilisées pour démontrer des propriétés, résoudre des problèmes de construction, trouver des lieux géométriques</li> <li>Lorsque la résolution du problème sollicite la composée de deux rotations ou de deux homothéties de même centre, les transformations doivent être données. (niveau 2).</li> <li>•Sont hors programme : <ul style="list-style-type: none"> <li>-la composée de rotations de centres différents,</li> <li>- la composée d'homothéties de centres différents,</li> <li>- la composée de deux transformations de natures différentes,</li> <li>-les similitudes</li> <li>-toute référence à la notion d'isométrie</li> </ul> </li> <li>•Rappel des définitions de niveaux 1 et 2</li> <li>*Niveau 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>-se familiariser avec la transformation,</li> <li>-reconnaitre la transformation,</li> <li>-construire l'image d'un point, d'une figure simple par la transformation définie de différentes façons</li> <li>-reconnaitre des figures « homologues » par la transformation</li> </ul> </li> <li><i>Au niveau 1, on pourra également utiliser des transformations pour démontrer, résoudre des problèmes de construction, ou trouver des ensembles de points à condition que cette transformation soit clairement indiquée.</i></li> <li>*Niveau 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>-composer des transformations,</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> </ul>

	-utiliser des transformations (mais pas leurs composées) pour : -démontrer des propriétés, -résoudre des problèmes de construction, -trouver des lieux géométriques		
--	--	--	--

### Leçon 5 : Equations et inéquations du second degré dans IR

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Discriminant d'un polynôme du second degré, d'une équation du second degré</li> <li>•Formules donnant les zéros (resp. les solutions) éventuelles d'un polynôme (resp. d'une équation) du second degré à une inconnue à l'aide du discriminant.</li> <li>•Expression de la somme et du produit des solutions d'une équation du second degré.</li> <li>•Règles donnant le signe d'un polynôme du second degré suivant le signe du discriminant et du coefficient du monôme du plus haut degré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La résolution des équations et inéquations irrationnelles se fera uniquement sur des exemples simples. Aucune théorie ne sera mise en place. On se contentera de dégager des méthodes.</li> <li>•Aucune théorie sur la résolution des systèmes n'est exigible</li> <li>•Sont hors programme : -tout problème faisant appel à un paramètre -tout problème faisant appel à un changement de paramètre -les inéquations du type : <math>\sqrt{P(x)} &gt; Q(x)</math> -les systèmes de <math>\mathbb{R}^3</math> n'ayant pas une solution unique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> </ul>

### Leçon 6 : Equations dans $\mathbb{R}^2$ ou dans $\mathbb{R}^3$

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Déterminant d'un système de deux équations dans <math>\mathbb{R}^2</math></li> <li>•Critère d'existence et d'unicité d'un système de deux équations dans <math>\mathbb{R}^2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La méthode du pivot de Gauss est un procédé de résolution par combinaison. Elle nécessite une organisation des calculs mais ne fait pas appel à des connaissances nouvelles.</li> <li>• La programmation linéaire est au programme de cette classe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuels</li> <li>- Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> </ul>

### Leçon 7 : Généralités sur les fonctions

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Définition de la restriction d'une fonction</li> <li>•Définition de la composée de deux fonctions</li> <li>• Définition d'une application injective</li> <li>• Définition d'une application surjective</li> <li>•Définition d'une application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La notion d'extremum sera traitée uniquement sous forme d'exercices</li> <li>•Les schémas de calcul ne sont pas au programme, de même que la notion de fonction majorée ou minorée</li> <li>•La détermination de l'expression de la bijection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> </ul>

bijective ● Définition de la bijection réciproque d'une bijection ● Comparaison de deux fonctions ● Opérations sur les fonctions numériques : somme, produit et quotient de deux fonctions ● Fonctions associées : $x \mapsto f(x-a)$ , $x \mapsto f(x)+b$ , $x \mapsto f(-x)$ , $x \mapsto -f(x)$ , $x \mapsto  f(x) $ , $x \mapsto f(x-a)+b$ ● Parité : définition, interprétation graphique ● Axe et centre de symétrie - définition - interprétation graphique	réciproque d'une fonction donnée par sa formule explicite est hors programme ● Sont hors programme, les représentations graphiques des fonctions associées $x \mapsto f(ax)$ et $x \mapsto af(x)$ pour $a \neq 1$ et $a \neq -1$ ● Les notions seront introduites sous forme de travaux dirigés		
--	---	--	--

### Leçon 8 : Limite et continuité

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
● Définition de la continuité d'une fonction en un point ● Limites des fonctions de référence en un point ● Propriétés des opérations sur les limites ● Limite à droite, limite à gauche en un point ● continuité en un point des fonctions : somme, produit quotient et des fonctions de référence : $x \mapsto c$ , $x \mapsto x$ , $x \mapsto x^2$ , $x \mapsto x^3$ , $x \mapsto \frac{1}{x}$ , $x \mapsto \sqrt{x}$	● L'approche intuitive de la notion de limite ne sera pas formalisée ● L'établissement des différentes formes de limites se fera à partir d'exemples bien choisis ● On privilégiera les notations $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ et $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ $<$ $>$	-Travail individuel  -Travail en groupes	-Manuels -Fiche d'exercices -Fiche de travaux dirigés -calculatrice scientifique

### Leçon 9 : Dérivation

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
● Nombre dérivé en un point ● Interprétation graphique du nombre dérivé en un point ( $f'(a)$ est le coefficient directeur de la tangente en a) ● Fonction dérivable sur un intervalle ● dérivabilité et continuité d'une fonction en un point -Si une fonction est dérivable en un point a alors elle est continue en a. La réciproque est fautive. ● Tableau des dérivées des fonctions de référence : $x \mapsto ax+b$ , $x \mapsto \sqrt{x}$ , $x \mapsto x^n$ ( $n \in \mathbb{N}^*$ ),	● Pour introduire le nombre dérivé, on pourra s'appuyer sur la problématique : La recherche d'une tangente à une courbe en un point, définie comme position limite d'une sécante à cette courbe. ● Le calcul des dérivées de la puissance d'une fonction dérivable est hors programme ● On ne demandera pas de justifier qu'une fonction est dérivable sur un intervalle ● Pour les problèmes d'optimisation, des indications	-Travail individuel  -Travail en groupes	-Manuels -Fiche d'exercices -Fiche de travaux dirigés -calculatrice scientifique

$x \mapsto \frac{1}{x}$ , $x \mapsto \cos x$ , $x \mapsto \sin x$ , $x \mapsto \tan x$ , $x \mapsto \frac{1}{x^n}$ $(n \in \mathbb{N}^*)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Opérations sur les fonctions dérivables : somme, produit, inverse, quotient.</li> <li>Théorème (admis) donnant le sens de variation d'une fonction dérivable sur un intervalle à partir du signe de sa dérivée.</li> <li>Extremum relatif d'une fonction.</li> </ul>	seront données pour obtenir la fonction à étudier		
---	---	--	--

### Leçon 10 : Extension de la notion de la limite

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Limite infinie en a.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limite à gauche, limite à droite</li> <li>- Asymptote verticale</li> </ul> </li> <li><b>Limite à l'infini</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limite finie à l'infini</li> <li>- asymptote horizontale</li> <li>- limite infinie à l'infini</li> <li>- limite à l'infini des fonctions élémentaires</li> </ul> </li> <li><b>Calcul de limites</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites et opérations (propriétés admises)</li> <li>- limites d'une somme et d'un produit (propriétés)</li> <li>- limite en a d'une fonction rationnelle non définie en a <math>x \mapsto \frac{1}{(x-a)^n}</math> (n pair, n impair)</li> <li>- limites à l'infini d'une fonction polynôme, d'une fonction rationnelle (Propriétés)</li> </ul> </li> <li><b>continuité des fonctions élémentaire en un point (admis)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuité des fonctions polynômes, fonctions rationnelles en un point de leur ensemble de définition</li> <li>- Opération sur les fonctions continues (admises).</li> </ul> </li> </ul>	<p>Toutes les notions seront introduites à l'aide d'exemples simples. On mettra l'accent sur les exercices. Les représentations graphiques permettront aux apprenants de donner du sens aux notions et de créer une représentation mentale de ses notions.</p> <p>L'introduction de ses notions sera associée à la l'étude et à la représentation graphique de fonctions simples. C'est pourquoi il est importe de finir le chapitre sur la dérivation avant de traiter l'extension de la notion de limite.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail individuel</li> <li>- Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuels</li> <li>- Fiche d'exercices</li> <li>- Fiche de travaux dirigés</li> <li>- calculatrice scientifique</li> </ul>

### Leçon 11 : Etude et représentation graphique d'une fonction

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notion d'asymptotes obliques.</li> <li>• Etude et représentation graphique de fonctions polynômes de degré inférieur ou égal à 3.</li> <li>• Etude et représentation graphique de :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- fonctions rationnelles :</li> <li>- fonctions homographiques</li> <li>- fonctions du type <math>x \mapsto ax + b + \frac{c}{a'x+b'}</math></li> <li>- fonctions sinus, cosinus et tangente</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir la notion d'asymptote oblique</li> <li>- Les fonctions faisant intervenir des paramètres sont hors programme</li> <li>- Les fonctions définies par raccordement sont hors programme</li> <li>- Lors des évaluations, les équations des asymptotes obliques seront données aux élèves (pas d'exercices de recherche d'asymptote)</li> <li>- Il sera intéressant de demander aux élèves de faire des esquisses de courbe à partir du tableau de variation de la fonction.</li> <li>- La courbe représentant la fonction étudiée se construira à partir de quelques points bien choisis auxquels on associera la pente de la tangente.</li> <li>- Les notions de fonction paire et de fonction impaire seront introduites à partir d'exemples et seront réinvesties dans des cas pratiques d'étude de fonctions.</li> <li>- Dans cette leçon le cumul de réduction d'ensemble d'étude de fonctions à la fois paire (ou impaire) et périodique est à éviter. On se limitera à des exemples simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail en groupe</li> <li>• Travail individuel</li> <li>• Enquête</li> <li>• <i>Brainstorming</i></li> <li>• <i>Discussion dirigée</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuel</li> <li>• Internet</li> <li>• Revues</li> <li>• Média</li> <li>• Instruments de géométrie</li> </ul>

### Leçon 12 : Suites numériques

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition d'une suite numérique</li> <li>• Suite déterminée par               <ul style="list-style-type: none"> <li>-une formule explicite,</li> <li>-une formule de récurrence.</li> </ul> </li> <li>• Représentation graphique des termes d'une suite</li> <li>• Suites arithmétiques,               <ul style="list-style-type: none"> <li>-définition,</li> <li>-expression du terme général en fonction d'un terme quelconque</li> <li>-somme de <math>n</math> termes d'indices consécutifs</li> </ul> </li> <li>• suites géométriques :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour introduire les suites, on s'appuiera sur des situations issues de la géométrie ou de la vie économique et sociale</li> <li>• Mettre l'accent sur le vocabulaire et les notations spécifiques aux suites</li> <li>• Le passage entre formule explicite et formule de récurrence ne sera développé que dans le cadre des suites arithmétiques et géométriques</li> <li>• Dans la représentation graphique des premiers termes d'une suite définie par une formule de récurrence, il est conseillé de fournir les représentations graphiques des courbes aux élèves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> <li>-calculatrice scientifique</li> <li>-données économiques, démographique etc.</li> </ul>

-définition, -expression du terme général en fonction d'un terme quelconque -somme de $n$ termes d'indices consécutifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On veillera à donner du sens aux lettres figurant dans les formules (nombre de termes, premier terme, dernier terme, raison,...)</li> <li>• L'étude des variations et la convergence n'est pas au programme.</li> <li>• L'étude des calculs approchés des zéros d'une fonction est hors programme</li> </ul>		
---	---	--	--

### Leçon 13 : Statistiques à une variable

Le professeur s'emploiera à former les élèves à la programmation de formule statistique à l'aide de la calculatrice. C'est l'occasion d'initier les élèves à l'utilisation du logiciel Excel sur l'ordinateur.

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<p><b>Statistiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Séries statistiques regroupées en classes.</b></li> <li>• <b>Représentations graphiques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'histogramme</li> <li>- courbes cumulatives</li> <li>- polygones des effectifs et des fréquences</li> </ul> </li> <li>• <b>Caractéristiques de position d'une série statistique regroupée en classes.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de la moyenne</li> <li>- Définition de la médiane (2<sup>ème</sup> quartile )</li> <li>- Définition du premier quartile et du troisième quartile</li> </ul> </li> <li>• <b>Caractéristiques de dispersion d'une série statistique regroupées en classes.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de la variance</li> <li>- Définition de l'écart type</li> </ul> </li> </ul>	<p>Tout le chapitre doit être traité en exercices et en travaux dirigés.</p> <p>Le professeur fera remarquer que dans les histogrammes, ce sont les aires (et non pas les hauteurs) des rectangles figuratifs qui représentent les effectifs ou les fréquences par classe.</p> <p>Les élèves ayant calculer en 2<sup>nde</sup> C, moyenne, écart type dans le cas des séries à variables discrètes, on fera remarquer qu'il suffit, ici, de remplacer dans les calculs les modalités par les centres des classes</p> <p>La détermination graphique de la médiane est un savoir-faire nouveau .on peut la déterminer de deux manières : -abscisse de l'intersection des courbes cumulatives croissante et décroissante , -image réciproque de <math>N/2</math> par une courbes cumulatives.(<math>N</math> est l'effectif total ).</p> <p>Les calculs des caractéristiques de dispersion et de la variance, se font soit à l'aide de la calculatrice, soit en construisant un tableau.</p> <p>L'étude de l'écart-type donne une</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail en groupe</li> <li>• Travail individuel</li> <li>• Enquête</li> <li>• <i>Brainstorming</i></li> <li>• <i>Discussion dirigée</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuel</li> <li>• Internet</li> <li>• Revues</li> <li>• Média</li> <li>• Instruments de géométrie</li> </ul>

	bonne approche intuitive de la notion de dispersion		
--	---	--	--

#### Leçon 14 : Dénombrement

Contenus	Consignes pour conduire les activités	Techniques pédagogiques	Supports didactiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cardinal d'un ensemble fini.</li> <li>- <math>\text{card}(A \cup B) = \text{card}(A) + \text{card}(B) - \text{card}(A \cap B)</math></li> <li>- <math>\text{card}(A \times B) = \text{card}(A) \times \text{card}(B)</math></li> <li>- <math>\text{card}(A^p) = (\text{card}A)^p, p \in \mathbb{N}^*</math></li> <li>• Listes à p éléments : p-listes</li> <li>- nombre de p-listes d'un ensemble à n éléments (avec répétition) : <math>n^p</math></li> <li>- nombre de p-listes d'un ensemble à n éléments (sans répétition) : nombre d'arrangements : <math>A_n^p = \frac{n!}{(n-p)!}, n \geq p</math></li> <li>- nombre d'arrangements à p éléments d'un ensemble à n éléments (permutation) : nombre d'arrangements : <math>A_n^n = n!</math></li> <li>• Combinaisons :</li> <li>- nombre de combinaisons à p éléments d'un ensemble à n éléments (<math>n \geq p</math>) : <math>C_n^p = \frac{A_n^p}{p!}</math></li> <li>- propriétés de <math>C_n^p = \frac{A_n^p}{p!}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser des arbres de choix, des diagrammes, des tableaux...</li> <li>• Apprendre à choisir l'outil de dénombrement approprié pour résoudre des problèmes</li> <li>• Utiliser quelques résultats combinatoires de base</li> <li>• On évitera l'utilisation abusive et mécanique des formules</li> <li>• La détermination de <math>\text{card}(A \cup B)</math> et <math>\text{card}(A \times B)</math> se fera sur des exemples concrets</li> <li>• On reformulera soigneusement les énoncés des exercices chaque fois que c'est nécessaire en relevant les ambiguïtés ou les implicites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travail individuel</li> <li>-Travail en groupes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuels</li> <li>-Fiche d'exercices</li> <li>-Fiche de travaux dirigés</li> <li>-calculatrice scientifique</li> <li>-données économiques, démographique etc.</li> </ul>

**Leçon 15 : Probabilité**

CONTENUS	CONSIGNES POUR CONDUIRE LES ACTIVITES	TECHNIQUES PEDAGOGIQUES	SUPPORTS DIDACTIQUES
<ul style="list-style-type: none"><li>● <b>Probabilité</b></li><li>- Vocabulaire</li> <li>- Définition d'une probabilité dans le cas d'une équiprobabilité</li> <li>- Propriétés</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● On introduira le vocabulaire des probabilités au travers de situations concrètes</li> <li>● On apprendra à reconnaître l'univers et les événements élémentaires d'une expérience aléatoire.</li> <li>● Le choix de l'univers est fondamental et ne modifie pas dans certains cas les résultats des calculs de probabilité.</li> <li>● On se placera dans des situations ayant du sens, en particulier on présentera des applications des probabilités en biologie et en économie.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Travail individuel</li>  <li>-Travail en groupes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Manuels</li><li>-Fiche d'exercices</li><li>-Fiche de travaux dirigés</li><li>-calculatrice scientifique</li><li>-données économiques, démographique etc.</li></ul>

## Annexe 2 : Programme de Mathématique, niveau Première D pour 6 leçons

<b>Leçon 2 : Dénombrement</b>	
<b>Code</b>	<b>Compétences</b>
KC001	Connaitre la définition d'un ensemble fini
KC002	Connaitre la définition de la réunion de deux ensembles finis
KC003	Connaitre la définition de l'intersection de deux ensembles finis
KC004	Connaitre la définition du complémentaire d'un ensemble
KC005	Connaitre la définition de deux ensembles disjoints
KC006	Connaitre la définition du cardinal d'un ensemble fini
KC007	Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison
KC008	Connaitre la définition du produit cartésien d'ensembles finis
KC009	Connaitre le nombre de p-uplets d'un ensemble à n éléments
KC010	Connaitre le nombre d'arrangements à p éléments d'un ensemble à n éléments ( $n \geq p$ )
KC011	Connaitre le nombre de permutations d'un ensemble à n éléments
KC012	Connaitre le nombre de combinaisons à p éléments d'un ensemble à n éléments ( $n \geq p$ )
KC013	Connaitre la propriété relative au cardinal de la réunion de deux ensembles finis
KC014	Connaitre la propriété relative au cardinal du complémentaire
KC015	Connaitre la propriété du cardinal du produit cartésien d'ensembles finis
KC016	Choisir une des notions p-uplet, arrangement, permutation, combinaison pour résoudre un problème de dénombrement
KC017	Dénombrer en utilisant une des notions p-uplet, arrangement, permutation, combinaison
KC018	Dénombrer en utilisant un arbre de choix, un tableau à double entrée, un diagramme ou un comptage
KC019	Calculer le cardinal d'un ensemble fini
KC020	Calculer le cardinal du produit cartésien d'ensembles finis
KC021	Calculer $n!$ , $C_n^p$ , $A_n^p$ ( $p \leq n$ )
KC022	Traiter une situation faisant appel aux dénombrements
<b>Leçon 4 : Limites et continuité</b>	
KC023	Connaitre la définition d'une fonction continue en un point
KC024	Connaitre la définition d'une fonction continue sur un intervalle
KC025	Connaitre les propriétés relatives à la continuité d'une fonction en un point
KC026	Connaitre les limites des fonctions de référence
KC027	Connaitre les opérations sur les limites des fonctions en un point
KC028	Connaitre la continuité des fonctions somme, produit, quotient en un point.
KC029	Noter la limite d'une fonction en un point
KC030	Noter la limite à gauche d'une fonction en un point
KC031	Noter la limite à droite d'une fonction en un point
KC032	Reconnaître graphiquement qu'une fonction est continue en un point
KC033	Justifier qu'une fonction est continue en un point

KC034	Calculer les limites éventuelles de certaines fonctions en un point en utilisant les opérations sur les limites des fonctions en un point
KC035	Calculer la limite à gauche, la limite à droite en un point d'une fonction.
KC036	Etudier la continuité d'une fonction en un point en utilisant la limite à gauche, la limite à droite en ce point
KC037	Etudier la continuité d'une fonction en un point en utilisant les propriétés sur la somme, produit, quotient des fonctions continues en ce point
KC038	Traiter une situation - faisant appel aux limites et à la continuité d'une fonction en un point
<b>Leçon 5 : Probabilité</b>	
KC039	Connaître la définition d'une probabilité sur un ensemble fini
KC040	Connaître le vocabulaire des probabilités : expérience aléatoire, évènement, évènement certain, éventualité, évènement élémentaire, évènement contraire, évènement impossible, probabilité d'un évènement, évènement (A ou B), évènement (A et B), univers, évènements incompatibles, équiprobabilité.
KC041	Connaître les propriétés $p(A \cup B) = p(A) + p(B) - p(A \cap B)$ ; $p(\bar{A}) = 1 - p(A)$
KC042	Dénombrer les cas possibles d'une expérience dans le cas d'une expérience conduisant à un nombre fini d'éventualités
KC043	Dénombrer les cas favorables d'un évènement dans le cas d'une expérience conduisant à un nombre fini d'éventualités
KC044	Calculer la probabilité d'un évènement
KC045	Traiter une situation faisant appel à la probabilité
<b>Leçon 6 : Dérivation</b>	
KC046	Connaître la définition du nombre dérive en un point d'une fonction
KC047	Connaître la définition de la fonction dérivée sur un intervalle ouvert.
KC048	Connaître les fonctions dérivées des fonctions de référence
KC049	Connaître la propriété de la fonction dérivable sur un intervalle ouvert..
KC050	Connaître la propriété de la dérivabilité et continuité en un point
KC051	Connaître les propriétés sur les opérations des fonctions dérivables (somme, produit, inverse, quotient).
KC052	Connaître la propriété de la fonction dérivée des fonctions du type $g(x)=f(ax + b)$ où f est une fonction de référence.
KC053	Connaître les propriétés sur la dérivée et sens de variation
KC054	Connaître la propriété sur l'extremum relatif d'une fonction
KC055	Noter le nombre dérivé d'une fonction en un point
KC056	Noter la dérivée d'une fonction sur un intervalle ouvert
KC057	Déterminer une équation de la tangente à une courbe en un point donné.
KC058	Déterminer le sens de variation d'une fonction sur un intervalle donné en utilisant le signe sa dérivée.
KC059	Déterminer un extremum d'une fonction en utilisant sa dérivée.
KC060	Déterminer la fonction dérivée d'une fonction sur un intervalle ouvert donné
KC061	Déterminer des fonctions dérivées en utilisant les opérations sur les fonctions dérivables et les dérivées des fonctions : $x \rightarrow ax + b$ , : $x \rightarrow \sqrt{x}$ , : $x \rightarrow x^n$ ( $n \in \mathbb{N}^*$ ), $x \rightarrow 1/x$ , : $x \rightarrow \cos x$ , : $x \rightarrow \sin x$ , : $x \rightarrow \tan x$ , : $x \rightarrow 1/x^n$ ( $n \in \mathbb{N}^*$ )

KC062	Calculer le nombre dérivé d'une fonction en un point
KC063	Construire la tangente en un point de la courbe représentative d'une fonction sans utiliser une équation de cette tangente.
KC064	Interpréter graphiquement le nombre dérivé en un point.
KC065	Traiter une situation faisant appel à la dérivation
<b>Leçon 8 : extension de la notion de limite</b>	
KC066	Connaitre la limite infinie d'une fonction en un point
KC067	Connaitre la notion d'asymptote verticale
KC068	Connaitre la limite à l'infini d'une fonction
KC069	Connaitre la notion d'asymptote horizontale
KC070	Connaitre la limite à l'infini des fonctions de référence : $x \rightarrow c$ , $x \rightarrow x$ , $x \rightarrow x^2$ , $x \rightarrow x^3$ , $x \rightarrow \sqrt{x}$ , $x \rightarrow 1/x$
KC071	Connaitre la limite à l'infini des fonctions $x \rightarrow x^n$ , $x \rightarrow 1/x^n$ , $n \in \mathbb{N}^*$
KC072	Connaitre la limite à gauche ou à droite en un point a de: $x \rightarrow 1/(x-a)$ ,
KC073	Connaitre la limite à gauche ou à droite en un point a de : $x \rightarrow 1/(x-a)^n$
KC074	Connaitre les propriétés relatives aux opérations sur les limites à l'infini
KC075	Connaitre la propriété relative à la limite à l'infini d'une fonction polynôme
KC076	Connaitre la propriété relative à la limite à l'infini d'une fonction rationnelle
KC077	Interpréter graphiquement une limite infinie d'une fonction en un point (asymptote verticale)
KC078	Interpréter graphiquement une limite finie d'une fonction à l'infini (asymptote horizontale)
KC079	Calculer les limites à l'infini des fonctions polynômes et des fonctions rationnelles
KC080	Calculer les limites aux bornes de l'ensemble de définition d'une fonction
KC081	Calculer la limite à droite (respectivement à gauche) en a d'une fonction rationnelle non définie en a.
KC082	Justifier qu'une droite d'équation $x = a$ est asymptote verticale à la représentation graphique d'une fonction donnée
KC083	Justifier qu'une droite d'équation $y = b$ est asymptote horizontale à la représentation graphique d'une fonction donnée
KC084	Traiter une situation - faisant appel à l'extension de la notion de limite

### Annexe 3 : Quelques activités d'apprentissage proposées par les enseignants du Lycée Khalil

ACTIVITES					
<b>KC001 : Connaitre la définition d'un ensemble fini</b>					
Q001: Un ensemble fini est un ensemble dont le nombre d'éléments est fini		Q002: L'ensemble $A = \{a ; b ; c ; d ; e ; f ; g ; h\}$ est un ensemble fini		Q003: L'ensemble $B = [0 ; 4[$ est un ensemble fini.	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES	
<b>KC006 : Connaitre la définition du cardinal d'un ensemble fini</b>	

Q004: Le cardinal d'un ensemble est le nombre d'éléments de cet ensemble.		Q005: Le cardinal de l'ensemble A est noté $Car(A)$		Q006: Soit $A=\{2 ;3 ;4 ;5 \}$ . Le cardinal de A est 5		Q007: Le cardinal de l'ensemble vide est 0	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux		

ACTIVITES					
KC002 : <i>Connaitre la définition de la réunion de deux ensembles finis</i>					
Q008: On appelle réunion de deux ensembles A et B, l'ensemble constitué des éléments appartenant à A ou à B		Q009: La réunion de deux ensemble A et B est noté $A \cup B$		Q010: $\{a ;b ;c \}$ est la réunion des ensemble $\{a ;b\}$ et $\{b ;c\}$	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES					
KC003 : <i>Connaitre la définition de l'intersection de deux ensembles finis</i>					
Q011: On appelle intersection de deux ensembles A et B, l'ensemble constitué des éléments appartenant à la fois à A et à B (éléments communs).		Q012: L'intersection de deux ensemble A et B est noté $A \cap B$		Q013: $\{1 ;2 ;3 ;4 \}$ est la réunion des ensemble $\{1 ;2 ;3 ;4\}$ et $\{1 ;2 ;3 ;5\}$	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES					
KC004 : <i>Connaitre la définition du complémentaire d'un ensemble</i>					
Q014: Le complémentaire de l'ensemble A dans l'ensemble $\Omega$ est l'ensemble des éléments de A qui n'appartiennent pas à $\Omega$ .		Q015: Le complémentaire de l'ensemble A dans l'ensemble $\Omega$ est noté $\bar{A}$		Q016: Le complémentaire de $\{1 ;2 ;3 \}$ dans $\{0 ;1 ;2 ;3 ;4 ;5 \}$ est $\{0 ;4 ;5\}$	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES					
KC005 : <i>Connaitre la définition de deux ensembles disjoints</i>					
Q017: Deux ensembles A et B sont disjoints si leur intersection est égale à l'ensemble vide.		Q018: On écrit $A \cap B = A$ pour traduire le fait que A et B sont disjoints		Q019: Soit $A=\{2 ;4 ;6 ;8 \}$ et $B=\{1 ;3 ;5 ;7 ;9 \}$ . Les ensembles A et B sont disjoints	
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES													
KC008 : <i>Connaitre la définition du produit cartésien d'ensembles finis</i>													
Q020: Le produit cartésien de A par B est l'ensemble constitué de tous les couples (a ;b) tels que : $a \in A$ et $b \notin B$		Q021: Le produit cartésien de A par B est noté $A \times B$		Q022: Le produit cartésien de $\{1 ;2 ;3\}$ par $\{1 ;2\}$ est $\{(1 ;1), (1 ;2), (2 ;1), (2 ;2), (3 ;1), (3 ;2)\}$		Q023: Soit $A=\{1 ;2 ;3\}$ et $B= \{1;3;5;7;9\}$ Le cardinal de $A \times B$ est égal à :				Q024: Un élément du produit cartésien de $\{a;b;c;d;e;f\}$ par $\{1;2;3\}$ est (1;a)		Q025: Soit $A=\{1 ;2 ;3\}$ . Un élément de $A \times A \times A$ est (1 ;1 ;1)	
a	b	a	b	a	b	a	b	c	d	a	b	a	b
vrai	faux	vrai	faux	vrai	faux	8	3	5	15	vrai	faux	vrai	faux

ACTIVITES									
KC007 : <i>Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</i>									
Q026: Un $p$ -uplet d'un ensemble E est un élément du produit cartésien de E par lui-même $p$ fois.		Q027: Un $p$ -uplet d'un ensemble E est noté				Q028: Un 4-uplet de l'ensemble $A=\{a ;b ;c\}$ est			
a	b	a	b	c	d	a	b	c	a
vrai	faux	$p^E$	$E^p$	$E^E$	$p^p$	(a;b;a;d)	(a;b;c;d)	(a;a;a;d)	(c;a;a;c)

ACTIVITES									
KC007 : <i>Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</i>									
Q029: On appelle arrangement de $p$ éléments d'un ensemble E à $n$ éléments ( $p \leq n$ ) un $p$ -uplet d'éléments de E deux à deux non distincts.		Q030: Un $p$ -arrangement d'éléments de E est				Q031: Un 3- arrangement de l'ensemble $A=\{a ;b ;c\}$ est			
a	b	a	b	c	d	a	b	c	a
vrai	faux	$A_n^p$	$A_p^n$	$A_p^p$	$A_n^n$	(a;b;c)	(a;a;a)	(b;b;b)	(c;c;c)

ACTIVITES								
KC007 : <i>Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</i>								
Q032: On appelle permutations de E, tout arrangement de $n$ éléments de E.		Q033: Une permutation de l'ensemble E à $n$ éléments est notée :				Q034: Une permutation de $A=\{a ;b ;c ;d\}$ est		
a	b	a	b	c	d	a	b	c
vrai	faux	$n^p$	$C_n^p$	$n!$	$A_n^p$	(a;b;c,c)	(a;a;a,a)	(a;b;c,d)

ACTIVITES								
KC007 : <i>Connaitre la définition d'un p-uplet, d'un arrangement, d'une permutation, d'une combinaison</i>								
Q035: On appelle combinaison de $p$ éléments d'un ensemble $E$ à $n$ éléments ( $p \leq n$ ), toute partie constituée de $p$ éléments de $E$		Q036: Une combinaison de $p$ éléments de l'ensemble $E$ à $n$ éléments est notée :				Q037: Une combinaison de 3 éléments de $A=\{a ;b ;c ;d\}$ est		
a	b	a	b	c	d	a	b	c
vrai	faux	$n^p$	$C_n^p$	$n!$	$A_n^p$	(a;b;c)	(a;a;a)	(c;c;d)

ACTIVITES							
KC019 : <i>Calculer le cardinal d'un ensemble fini</i>							
Q038: Détermine le cardinal de l'ensemble des nombres entiers naturels impairs inférieurs à 20				Q039: Détermine le cardinal du complémentaire de $\{1 ;2 ;3\}$ dans $\{0 ;1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;7\}$ .			
a	b	c	d	a	b	c	d
9	10	11	20	3	7	6	4

ACTIVITES							
KC009 : <i>Connaitre le nombre de p-tuples d'un ensemble de n éléments</i>							
Q040 : Le nombre de tuples d'un ensemble à $n$ éléments est :				Q041 : Soit l'ensemble $E = \{1;2\}$ . Le nombre de triplets de l'ensemble $E$ est:			
a	b	c	d	a	b	c	d
$n \times p$	$n + p$	$n^p$	$p^n$	8	6	3	0

ACTIVITES							
KC010 : <i>Connaitre le nombre d'arrangements de p éléments d'un ensemble de n éléments (<math>n \geq p</math>)</i>							
Q042 : Le nombre de p-arrangements d'un ensemble à $n$ éléments est :				Q043 : Soit l'ensemble $E = \{a;b;c;d;e\}$ Le nombre d'arrangements de 2 éléments $E$ est :			
a	b	c	d	a	b	c	d
$A_n^n$	$A_n^p$	$n^p$	$A_p^p$	24	16	8	20