



RIADI-ENSI, UNIVERSITÉ DE LA MANOUBA ;
CNP-MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ;
CASTOR-ENS CACHAN

Apprendre la pensée logique par l'informatique dans les écoles primaires Tunisiennes

DÉCEMBRE 2021

Coordinatrice du projet : Henda Ben Ghezala

Équipe du projet : Ines Bayoudh, Dorsaf Benna Chelly,
Manel Ben Sassi, Jalel Saâdi, Firas Saidi



AFD
AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT



**Projet financé par le
programme APPRENDRE
dans le cadre de l'appel
« Documenter et éclairer les
politiques éducatives »**

Les points de vue exprimés et les propos contenus dans ce document n'engagent que leurs auteurs.

Sommaire

1	PRESENTATION DU PROJET	4
1.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET	4
1.2	ÉTAT D'AVANCEMENT	5
1.3	SUIVI DES TRAVAUX ET RESPECT DU CAHIER DE CHARGE	7
2	PROGRESSION DE LA RECHERCHE ET REALISATIONS	14
2.1	OBSERVATION DU CONTEXTE TUNISIEN	14
2.1.1	<i>Enquêtes sur terrain</i>	14
2.1.1.1	Enquête « enseignant »	14
2.1.1.2	Enquête « élève »	16
2.1.2	<i>Concours Castor</i>	17
2.1.3	<i>Analyse des manuels scolaires</i>	17
2.1.3.1	Grilles d'analyse	17
2.1.3.2	Synthèse de l'analyse des manuels	18
2.1.3.2.1	Manuel de l'« éveil scientifique »	18
2.1.3.2.2	Manuel de l'« éducation technologique »	18
2.1.3.2.3	Manuel des « mathématiques »	19
2.2	MISE EN PLACE D'UN SYSTEME INFORMATIQUE INTELLIGENT	19
2.2.1	<i>Architecture du système proposé</i>	20
2.2.2	<i>Ontologie de domaine pour l'apprentissage de la pensée logique</i>	21
2.2.3	<i>Recommandations à base du raisonnement flou</i>	22
2.2.3.1	Principe du raisonnement flou	22
2.2.3.1.1	Degré de développement de la pensée logique à partir du concours Castor	23
2.2.3.1.2	Degré de satisfaction de la pensée logique dans les manuels scolaires	23
2.2.3.2	Principe de la recommandation	23
2.2.4	<i>Mise en œuvre du système intelligent</i>	24
2.2.4.1	Utilisation du système	24
2.2.4.2	Représentation des connaissances	24
2.2.4.3	Recommandation	24
3	CONCLUSION	26
3.1	QUELQUES PROPOSITIONS	27
3.2	PERSPECTIVES	27
4	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	29

Ce rapport final présente une synthèse des travaux de recherche menés dans le cadre du projet API sur la période du 01 août 2019 au 31 décembre 2020. Les travaux ont accusé un retard dû aux exigences de la pandémie Covid-19.

1 Présentation du projet

1.1 Rappel des objectifs du projet

De nos jours, l'apprentissage de la pensée logique n'est plus considéré uniquement comme une tendance croissante à l'échelle internationale, mais il devient une nécessité absolue à développer chez les jeunes, dès leur plus jeune âge. La pensée logique est même considérée comme une compétence fondamentale qui favorise l'autonomie et dont l'apprentissage exige une démarche de recherche et développement de compétences socialement et culturellement malléables. Pour développer des compétences de la pensée logique capables d'agir efficacement sur leurs environnements, les intérêts majeurs dans le système éducatif touchent à la fois les enseignants et les élèves. En effet, il y a lieu d'adapter les programmes scolaires, de faire évoluer les outils et de former les enseignants pour que les élèves apprennent et développent leurs compétences.

Le projet API s'intéresse au développement de la pensée logique chez les jeunes apprenants tunisiens. Il ambitionne de fournir des outils pour mesurer le degré de développement des compétences de la pensée logique dans les programmes scolaires à l'école primaire et apporter une aide aux décideurs sur la base de recommandations d'améliorations possibles. L'intérêt est porté à l'éducation dans les classes terminales des écoles primaires tunisiennes pour les disciplines « éveil scientifique », « mathématiques » et « éducation technologique ». Les données des concours et des challenges Castor relatives au contexte tunisien sont également considérées.

Au regard des besoins identifiés sur le terrain, du degré de développement des compétences acquises chez les élèves tunisiens et des tendances de recherche identifiées dans la littérature, les objectifs visés par le projet API sont :

- La mesure de l'adéquation entre les différentes méthodes d'apprentissage de la pensée logique et le contexte tunisien. Il s'agit d'étudier les approches pour le développement de la pensée logique, étudier et choisir la plus adéquate avec le contexte tunisien.
- La proposition d'un ensemble de recommandations opérationnelles d'utilisation d'outils informatiques dans le cadre des scénarios pédagogiques, sous la forme de ressources, des aides pédagogiques et des scénarios d'apprentissage pour l'initiation des élèves de l'école primaire à la pensée logique et le développement de leurs compétences en résolution de problèmes
- La proposition de recommandations stratégiques pour le développement et l'amélioration de matrices curriculaires qui fixent l'ensemble des éléments constitutifs de la discipline informatique pour la promotion du développement logique et qui envisagent le curriculum dans son intégralité, permettant d'identifier les continuités, les ruptures, les relations entre les différents enseignements de la pensée logique dans leur développement longitudinal.
- La proposition d'un système de recommandation intelligent pour l'apprentissage basé sur les compétences.

1.2 État d'avancement

Pour la réalisation des objectifs précédemment explicités dans le paragraphe précédent, la méthodologie de recherche, adoptée et révisée au cours de ce projet, consiste à l'organisation des activités de recherche en trois phases essentielles comme illustré sur la figure 1 présentant aussi l'enchaînement des activités principales :

- **1ère phase** pour la collecte de données et l'observation du contexte tunisien quant au développement de la pensée logique à travers des enquêtes menées sur terrain, l'analyse des manuels scolaires et l'évaluation du degré de développement de cette compétence chez l'élève tunisien.
- **2ème phase** pour la modélisation, le filtrage et le traitement des données collectées recueillies.
- **3ème phase** pour la conception, le développement et le test d'un système de recommandation intelligent pour l'apprentissage basé sur les compétences

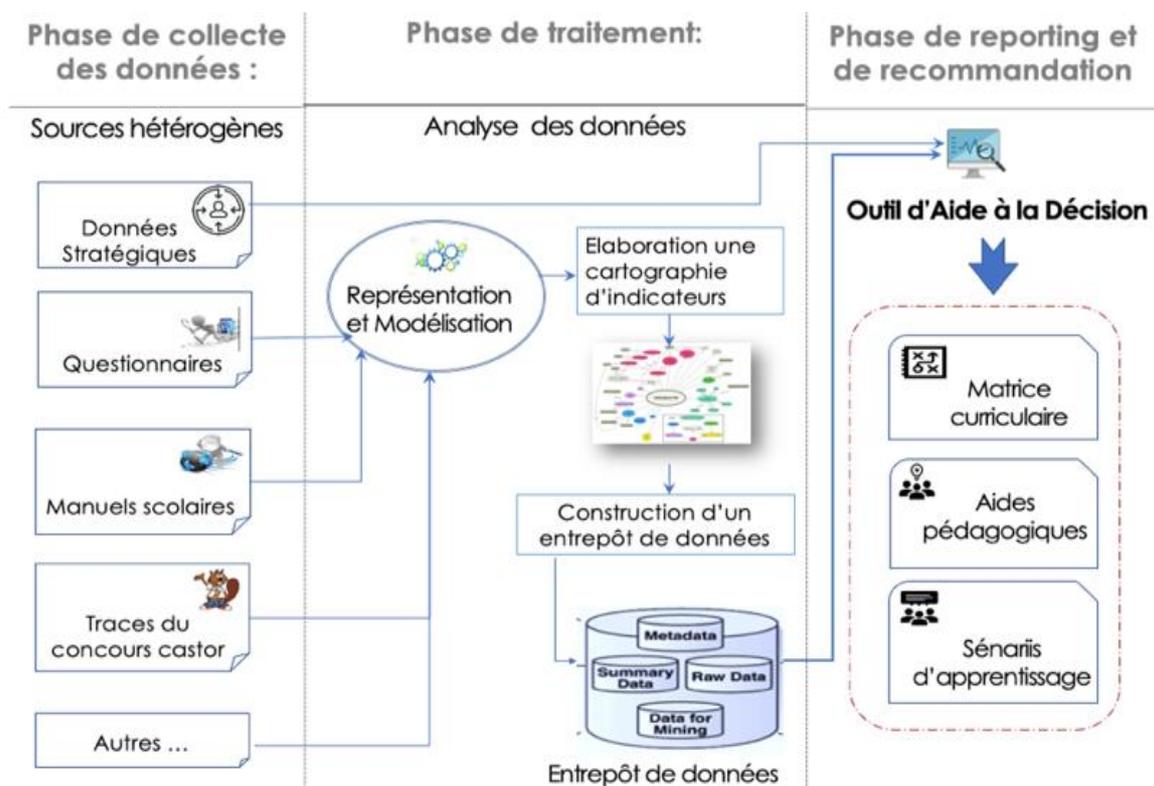


Figure 1. Architecture du projet API

La concrétisation de ces phases se traduit par la réalisation d'un ensemble d'activités organisées en cinq lots :

- Le 1^{er} lot « **Gestion du projet** » pour le pilotage de l'avancement des différentes activités du projet à travers la mise en place d'un intranet privée « [Trello-API](#) », la rédaction des comptes rendus des réunions (voir *Annexe Livrables* : [Comptes rendus des réunions](#)) et des rapports d'avancement (voir *Annexe Livrables* : [Rapports d'avancement](#)).
- Le 2^{ème} lot « **Ancrage théorique** » concrétisé par les activités de l'« état de l'art » et l'« analyse des manuels scolaires »

- Le 3^{ème} lot « **Observation et analyse des pratiques pédagogiques et du contexte d'apprentissage tunisien** » : L'élaboration, la passation et le dépouillement des questionnaires (élève et enseignant) et la planification du concours CASTOR
- Le 4^{ème} lot « **Analytique de l'apprentissage par l'informatique décisionnelle** » dont l'objectif principal consiste à la construction d'une base de connaissance pour le développement de la pensée logique et la mise en place d'un entrepôt de données recueillies des différentes sources.
- Le 5^{ème} lot « **Proposition de recommandations de l'utilisation d'outils informatiques dans le cadre de scénarios pédagogiques** » dont l'objectif est de proposer des recommandations stratégiques et opérationnelles en utilisant les outils TICE pour promouvoir le développement de la pensée logique à travers les disciplines étudiées dans le cadre de ce projet.

L'exécution du projet a suivi le planning illustré par le diagramme de Gantt de la Figure 2 mettant en évidence les activités, leur répartition sur la période de réalisation du projet ainsi que leur état d'avancement à ce jour.

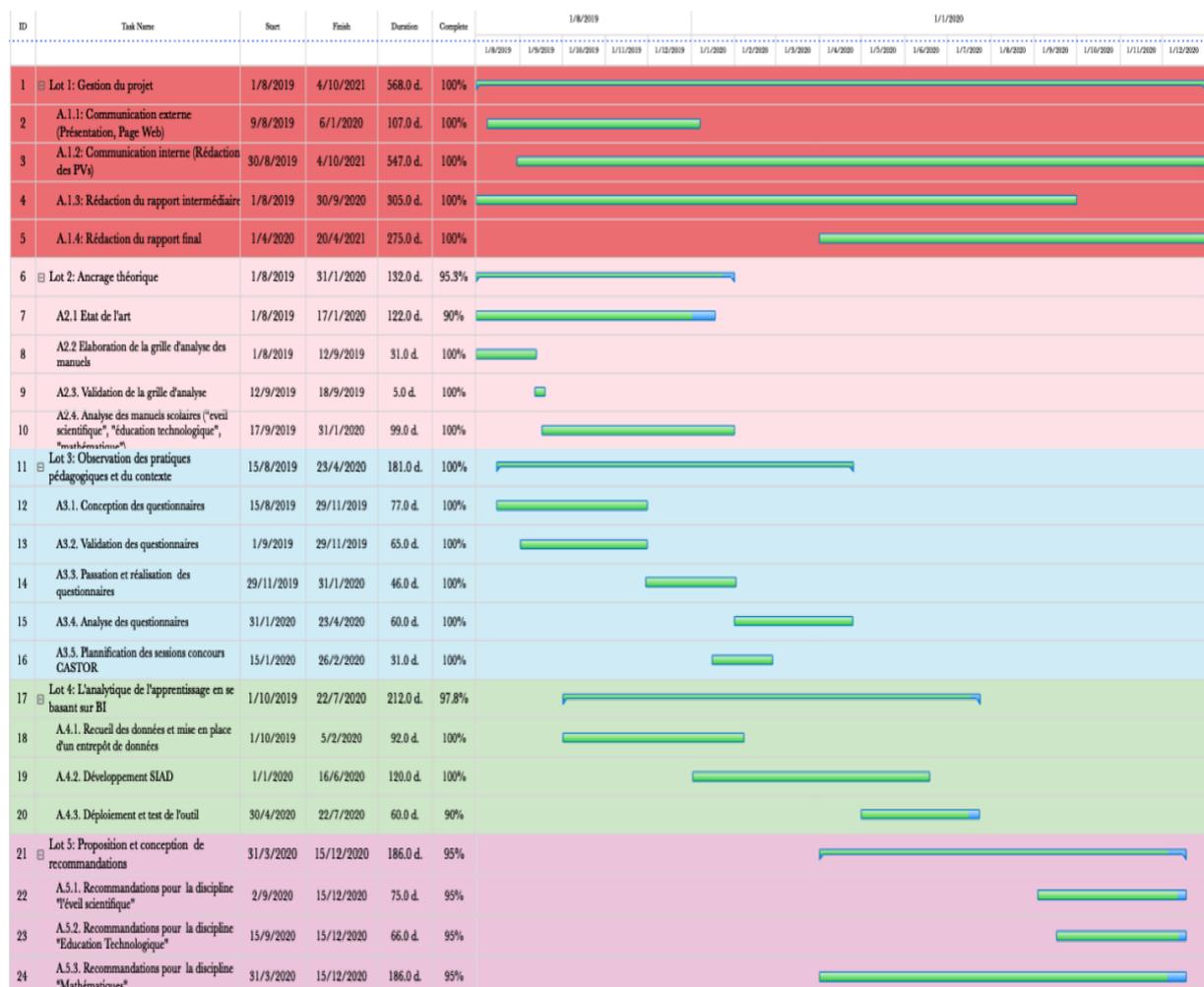


Figure 2. État de réalisation des activités

1.3 Suivi des travaux et respect du cahier de charge

Plusieurs réunions ont été organisées avec les membres de l'équipe pour discuter l'avancement des travaux planifiés, la planification des différentes activités, l'actualisation du planning et des activités ainsi que la validation des livrables.

La recherche-action, la collecte et l'analyse des données ont mobilisé les différentes parties prenantes du projet :

- Les membres de l'équipe
- Le Centre National Pédagogique
- L'ENS-Cachan par la planification du concours CASTOR.

Pour le suivi des activités, nous avons établi les indicateurs de mesure (KPI) synthétisés dans le tableau 1 qui donne une matrice de cadre logique du projet. L'estimation de l'avancement des différentes activités est faite en se basant sur cette matrice de cadre logique.

Les différents livrables et les comptes rendus des réunions sont donnés en annexe accessible via l'intranet privé du projet API « [Trello-API](#) ». Pour certains, ils ne sont pas remis en totalité puisqu'il est envisagé de les publier.

Tableau 1. Les indicateurs de performance pour chaque activité planifiée dans le projet API

Lots	Responsable	Membres de l'équipe	Description des activités	Sous activités	Indicateur de mesure	Livrables finalisés	Etat d'avancement
Lot 1 : Gestion de Projet	Henda Hajjami Ben Ghezala	-Henda Hajjami Ben Ghezala	Activité 1.1: Conduite, Suivi de l'avancement de projet	- Planification des activités	-Planning actualisé	- Planning actualisé mi- parcours	Finalisé
		-Henda Hajjami Ben Ghezala -Manel Ben Sassi	Activité 1.2: Rédaction des PV de réunion, présentations, site web, et des rapports scientifiques	-Rédaction Pv	-Nombre de PVs rédigés	- PVs rédigés des réunions planifiées	Finalisé
				-Préparation de la présentation	-Présentation réalisée	- Présentation publié	Finalisé
				-Développement du site web privée (intranet)	-Conception et mise à jour	- Intranet mise en place	Finalisé
				-Rédaction du rapport intermédiaires	-Plan de rapport -Un rapport cohérent existant	- Rapport intermédiaire proposé	Finalisé
				-Rédaction du rapport final	-Un rapport cohérent existant	- Rapport final proposé	Finalisé
Lot 2 : Ancrage théorique	Ines Bayouadh	-Ines Bayouadh -Manel Ben Sassi	Activité 2.1: Etat de l'art sur les approches pédagogiques pour l'apprentissage de la pensée logique et l'élaboration d'un	-Recensement des articles scientifiques	-Nombre des articles lus pour la construction de la bibliographie par thématique	- Bibliographie d'articles de référence se rapportant au domaine de la recherche	Finalisé
				-Rédaction une synthèse des articles	-Plan de rapport comprenant les deux volets	- Une première ébauche du plan et du contenu du rapport	Finalisé

			état des lieux sur l'instrumentation des outils pédagogiques pour enseigner la pensée logique au primaire.	Lus	-Un rapport cohérent existant	a été proposée	
		-Ines Bayouhd -Dorsaf Benna Chelly -Jalel Saadi	Activité 2.2: Analyse des manuels et des programmes dans les écoles primaires tunisiennes (élaboration des grilles, analyse des manuels)	-Élaboration d'une grille d'analyse pour les disciplines « Éveil scientifique » et « Éducation Technologique »	-Existence d'une grille d'analyse pour les deux disciplines -Grille validée -Grille appliquée	- Grille d'analyse de la pensée logique valide et pour les disciplines en question	Finalisé
				-Élaboration d'une grille d'analyse « Mathématique »	-Existence d'une grille d'analyse pour la discipline Mathématiques -Grille validée -Grille appliquée	- Grille d'analyse de la pensée logique valide et testée pour la discipline en question	Finalisé
				-Analyse du manuel de « l'éveil scientifique »	-Existence d'un rapport d'analyse générée	- Un rapport d'analyse du manuel scolaire pour la discipline « éveil scientifique »	Finalisé
				-Analyse du manuel « éducation technologique »	-Existence d'un rapport d'analyse générée	- Un rapport d'analyse du manuel scolaire pour la discipline « éducation technologique »	Finalisé
				-Analyse du manuel « Mathématiques »	-Existence d'un rapport d'analyse générée	- Un rapport d'analyse du manuel scolaire pour la discipline « Mathématiques »	Finalisé

Lot 3 : Observation et analyse des pratiques pédagogiques et du contexte d'apprentissage tunisien	Ines Bayouhd	-Jalel Saadi -Ines Bayouhd -Dorsaf Benna	Activité 3.1: Conception des Questionnaires (pré et post tests) pour les inspecteurs TIC des écoles primaires, les instituteurs	-Conception du questionnaire pour les enseignants	-Existence du questionnaire pour les enseignants -Questionnaire validé	- Des questionnaires Fr/ Ar pour les enseignants	Finalisé
		-Conception du questionnaire pour les élèves		-Existence du questionnaire pour les élèves -Questionnaire validé	- Des questionnaires Fr/ Ar pour les élèves	Finalisé	
		-Conception du questionnaire pour les inspecteurs		-Existence du questionnaire pour les inspecteurs -Questionnaire validé	- Des questionnaires Fr/ Ar pour les inspecteurs	Finalisé	
		-Dorsaf Benna Chelly	-Planification d'une session pour le concours CASTOR	-Prise en contact avec le partenaire responsable pour la planification (nombre des emails envoyés) -- Environnement de passage prêt (salle, machine installée en adéquation avec le nombre des élèves, présence des moniteurs)	- Date fixe pour le concours	Finalisé	
	-Jalel Saadi -Dorsaf Benna Chelly	Activité 3.2 : Passation du Questionnaire (Déplacement des membres de l'équipe pour l'élicitation des objectifs)	-Passation du questionnaire des enseignants	-Questionnaire publié	- Questionnaire pour les enseignants pour la collecte de leur retour d'expérience	Finalisé	
			-Passation du questionnaire des élèves	-Questionnaire publié ou imprimé	- Questionnaire pour les élèves pour évaluer le degré de développement de la pensée logique	Finalisé	

				-Passation du questionnaire des inspecteurs	-- Questionnaire publié	- Questionnaire pour les inspecteurs pour la collecte de leur retour d'expérience	Finalisé
				-Réalisation de la session pour le concours CASTOR	-Nombre de déplacement pour le suivi -Nombre des élèves bénéficiaires	- Concours finalisé et données brutes récupérées	Finalisé
		-Jalel Saadi -Ines Bayoudh	Activité 3.3: Analyse du questionnaire pré-tests et extrapolation des indicateurs pour l'induction des modèles d'apprentissage	-Dépouillement du questionnaire des enseignants	-- Existence d'un rapport de dépouillement du questionnaire	- Rapport de dépouillement	Finalisé
				-Dépouillement du questionnaire des élèves	-Existence d'un rapport de dépouillement du questionnaire	- Rapport de dépouillement	Finalisé
				-Dépouillement du questionnaire des inspecteurs	-- Existence d'un rapport de dépouillement du questionnaire	- Rapport de dépouillement	Finalisé
				-Élaboration d'une cartographie d'indicateur	-- Existence d'un rapport pour la cartographie d'indicateur d'analyse des questionnaires	- Rapport comportant les différents indicateurs d'analyse	Finalisé
Lot 4: L'analytique de l'apprentissage en se basant sur l'informatique décisionnelle (BI)	Manel BenSassi	-Manel BenSassi -Firas Saidi -Henda Ben Ghezala	Activité 4.1: Recueil des données et Mise en place d'un entrepôt de données pour l'aide à la décision	-Conception de la base de la connaissance pour la pensée logique	- Un manuel l'exploitation de l'ontologie	- Une ontologie pour la pensée logique	Finalisé
				-Proposition d'un cadre méthodologique pour l'intégration des données	- Existence d'une Approche détaillée sous la forme d'un rapport	- Document scientifique explicitant l'approche conceptuelle pour la mise en	Finalisé

						place du DWS ² avec les différentes étapes /	
		-Manel BenSassi -Firas Saïdi -Henda Ben Ghezala	Activité 4.2 Développement d'un environnement pour l'analytique de l'apprentissage basé sur la fouille de données	-Conception de l'outil pour l'analytique	- Existence d'un rapport détaillant conception	- Un rapport scientifique détaillant la conception de l'outil proposé	Finalisé
				-Développement de l'outil	-Existence d'un code	- Prototype développé	Finalisé
				-Déploiement et Test de l'outil	-Génération d'un rapport de test	- Prototype validé et testé	90%
Lot 5 : Recommandations	Dorsaf Benna Chelly	-Jalel Saâdi -Ines Bayouhd	Activité 5.1: Proposition et conception des recommandations dans le cadre de(s) scénarios pédagogiques pour l'éveil scientifique	-Proposition de recommandations dans le cadre de scénarios pour la discipline « éveil scientifique »	-Existence d'un document détaillant les recommandations et es scénarios types pour la discipline en question	Un document détaillant les recommandations et les scénarios type	95%
		-Jalel Saâdi -Ines Bayouhd	Activité 5.2: Proposition et conception des recommandations dans le cadre de(s) scénarios pédagogiques pour l'éducation technologique	-Proposition de recommandations dans le cadre de scénarios pour la discipline « éducation technologique »	-Existence d'un document détaillant les recommandations et es scénarios types pour la discipline en question	Un document détaillant les recommandations et les scénarios type	95%

² Data Warehouse Sémantique

		-Dorsaf Benna Chelly	Activité 5.3: Proposition et conception des recommandations dans le cadre de(s) scénarios pédagogiques pour les mathématiques	-Proposition de recommandations dans le cadre de scénarios pour la discipline « Mathématique »	- Existence d'un document détaillant les recommandations et es scénarios types pour la discipline en question	Un document détaillant les recommandations et les scénarios type	95%
--	--	-------------------------	--	--	---	--	-----

2 Progression de la recherche et réalisations

La méthodologie adoptée dans le cadre de ce projet, s'inspire de la *Recherche Design en Éducation* [1] et a impliqué, en plus de la théorie, des outils (ou interventions), des techniques et des utilisateurs réels. Elle s'est basée sur un prérequis de données de départ pour constituer sa matière de référence et élaborer sa revue de littérature. L'étude menée a commencé par dresser un périmètre d'investigation dans lequel des données factuelles et statistiques concernant l'utilisation des outils informatiques et le degré de concrétisation du développement de la pensée logique dans les activités pédagogiques ont été collectées. L'étude consistante de la littérature relative aux approches pédagogiques pour enseigner la pensée logique par l'informatique a permis, d'une part, de recenser les différentes approches, méthodes et outils pour promouvoir le développement de la pensée logique et, d'autre part, de se positionner, d'élaborer les critiques et de souligner les besoins.

Ainsi, l'approche adoptée s'est basée sur :

- L'observation du contexte tunisien et la collecte de données à partir desquelles sont déduites des recommandations d'amélioration des programmes d'enseignement dans les disciplines « éveil scientifique », « mathématiques » et « éducation technologique » en 5^{ème} année de l'enseignement primaire.
- La mise en place d'un système informatique intelligent dont l'objectif principal consiste à la construction d'une base de connaissance pour le développement de la pensée logique et la mise en place d'un entrepôt de données recueillies des différentes sources ainsi que de proposer des recommandations stratégiques et opérationnelles en utilisant les outils TICE pour promouvoir le développement de la pensée logique à travers les disciplines étudiées dans le cadre de ce projet.

2.1 Observation du contexte tunisien

L'étude du contexte tunisien a été menée à travers de deux enquêtes sur terrain, l'organisation d'une session de concours CASTOR et l'analyses des manuels scolaires.

2.1.1 Enquêtes sur terrain

Afin de disposer d'une description la plus significative possible de la réalité du contexte Tunisien, deux enquêtes sur terrain « élèves » et « enseignants » sont conduites respectivement auprès des élèves et des instituteurs de l'enseignement primaire. Pour chacune des enquêtes, un questionnaire a été élaboré selon des objectifs en relation avec leur rôle respectif dans le développement de la pensée logique chez l'élève tunisien.

Les réponses obtenues ont été plutôt un moyen de préfigurer des attitudes et d'identifier des tendances parmi les répondants.

L'équipe du projet aurait souhaité compléter les enquêtes par des visites en classe pour vérifier les affirmations, voir concrètement les pratiques adoptées et faire des rapprochements des points de vue des enseignants et des élèves. Malheureusement, ceci n'a pas été possible pour des raisons sanitaires dues au covid-19.

2.1.1.1 Enquête « enseignant »

L'enquête a concerné les enseignants de la 5^{ème} et la 6^{ème} année de base en Tunisie (68 réponses) dans le domaine scientifique.

Le questionnaire des enseignants, dont l'objectif est de recueillir leurs retours d'usage, leurs points de vue quant aux méthodes et approches les plus adéquates au contexte éducatif pour le

développement de la pensée logique chez l'élève tunisien, a été validé, arabisé et publié en ligne (à travers Google Forms).

La passation du questionnaire des enseignants a été menée par le biais du courrier électronique et des réseaux sociaux. (voir *Annexe Livrables* : [Enquête des Enseignants](#)).

Le dépouillement des données liées à cette enquête a permis de souligner que :

- La majorité des enseignants interrogés n'utilisent pas, toujours, le manuel scolaire dans les préparations des cours. Ils ont souvent recours, soit à des parascolaires, soit à des ressources numériques trouvées sur internet. Certains affirment utiliser diverses méthodes pédagogiques dans la réalisation des activités menées en classe, qu'ils appliquent la méthode de travail en groupe au niveau de leurs classes et impliquent leurs élèves dans des activités intégrant les TICE. Cependant, la pédagogie par projet n'est appliquée que par le tiers des enseignants interrogés.
- Les enseignants interrogés pensent que les équipements informatiques et l'usage du numérique varie d'une école à l'autre, rurale ou urbaine. Étant donné l'évolution rapide des TICE, l'infrastructure matérielle et logicielle au niveau des institutions ne suit pas et forme un obstacle à l'élaboration des activités intégrant les TICE dans la majorité des institutions. L'état global de ces équipements pourrait être amélioré dans la majorité des écoles. Pour ces enseignants, il serait souhaitable d'avoir un référent pour gérer les problèmes techniques.
- La moitié des enseignants questionnés reconnaît l'impact des formations sur leurs pratiques de classe et la plus-value de l'usage des TICE sur les élèves. Ils demandent davantage de formations techniques et pédagogiques pour mieux maîtriser les technologies éducatives numériques.

A noter que la majorité des enseignants questionnés utilisent l'environnement numérique de travail « Madrassati³ » développé par le Ministère de l'éducation pour différents objectifs. Cependant, les observations ont souligné que, plus on s'éloigne des villes, cette utilisation diminue.

- L'utilisation des nouvelles applications informatiques telles que Scratch, Tickle, etc., les données analysées démontrent que les enseignants les plus jeunes commencent à les utiliser et à les intégrer dans leurs institutions alors que les moins jeunes sont plutôt réticents. Ceci demande un effort de motivation, d'implication et de formation de la part des inspecteurs et d'assistants pédagogiques. Il faudrait créer le besoin chez ce public en mettant l'accent sur la plus-value que peut apporter le TICE au niveau de leurs pratiques enseignantes et comment ces outils pourraient améliorer les conditions d'apprentissage des élèves.
- Les enseignants sont conscients de l'utilité des TICE dans l'apprentissage de la pensée logique et affirment que les activités utilisées pour développer le savoir-faire et le savoir-être doivent se diversifier. Certains pratiquent en classe les principes à suivre pour développer la pensée logique chez les élèves. Ces pratiques sont : l'entraînement des apprenants à la confrontation et l'adaptation, à l'expression de leurs points de vue en toute liberté, à l'emprunt du chemin la recherche malgré les difficultés qui l'entravent pour le développement de leur autonomie, l'analyse et la remise en cause de leurs propres conceptions.

³ <https://madrassati.education.tn/eleve/>

La principale question qui reste posée est celle relative à la réticence de la part des enseignants de la 5^{ème} et la 6^{ème} année de base en Tunisie à se référer aux manuels officiels de l'éveil scientifique, de l'éducation technologique et des mathématiques. « *Où se trouve la faille ? au niveau des contenus ? au niveau des activités et leur efficacité ? Est-ce que les élèves adhèrent aux mêmes idées ?* ».

2.1.1.2 Enquête « élève »

Cette enquête vise à évaluer le degré de développement de la pensée logique chez un échantillon aléatoire composé de 575 élèves des classes de 5^{ème} et 6^{ème} années de l'enseignement primaire appartenant à des zones rurales et urbaines (Gouvernorats de Bizerte, Ben Arous, Nabeul, Sidi Bouzid et Mednine).

La conception du questionnaire des élèves a nécessité l'étude, d'une manière approfondie, des différents tests de la pensée logique proposés dans la littérature. Cette étude a permis de justifier le choix des items dans le questionnaire des élèves qui a été validée par les professionnels de l'éducation et arabisée.

La passation a été effectuée en majorité de manière classique (papier/crayon) en présence des enseignants. La passation informatisée a été dédiée à certaines écoles privées (*voir Annexe Livrables : [Enquête des Elèves](#)*).

La passation classique du questionnaire en présence d'un tuteur peut impliquer des réponses moins fidèles et plus socialement acceptables. Aussi, dans les documents reçus, il est constaté l'oubli de réponse à certaines questions. Il serait peut-être plus judicieux de faire passer le questionnaire en ligne en permettant à l'élève de répondre avec le soutien de ses parents.

Le dépouillement des données collectées liées à l'enquête des « élèves » a permis de révéler que :

- La majorité des élèves interrogés reconnaissent la plus-value des connaissances acquises au niveau de l'école et sont conscients de l'importance de l'utilisation des TICs et du numérique qu'ils trouvent attrayants et amusants. Cependant, la majorité a déclaré à des taux élevés qu'il y a un manque d'utilisation des ressources numériques élaborées par le ministère et de la robotique dans l'apprentissage des mathématiques, de l'éveil scientifique et de l'éducation technologique.
- Les activités proposées dans les enseignements sont moyennement claires mais une majorité des élèves questionnés les trouve parfois ambiguës. Ces activités sont jugées faciles par environ le tiers des élèves et de difficulté extrême par presque la moitié.
- La moitié des élèves questionnés ne sont pas capables de résoudre les activités proposées de façon individuelle. Ils ont souvent besoin de soutien de leurs parents, pairs, enseignants ou aussi de l'aide fournie au niveau des cours particuliers.
- La majorité des élèves questionnés ne sont pas inscrits dans des clubs scientifiques qui présentent une occasion pour familiariser davantage avec la pensée logique et les connaissances scientifiques et compenser toute carence des cours donnés à l'école.
- Les équipements informatiques à disposition et l'usage du numérique varient d'une école à l'autre. Les équipements de l'école sont utilisés par les élèves aussi bien pour les cours que pour les activités des clubs.

Un effort considérable de la part du ministère de l'éducation devrait être poursuivi pour développer l'apprentissage de la pensée logique et former les enseignants à la manière d'intégrer cet usage dans les enseignements.

2.1.2 Concours Castor

Afin d'évaluer le degré de développement de la pensée logique chez les élèves, il y a eu le recours à un challenge de la pensée computationnelle dont les traces permettent d'étudier et d'analyser le comportement logique des élèves.

Le choix s'est porté sur le concours Castor de l'ENS-Cachan (notre partenaire) qui consiste en un challenge proposant des problèmes couvrant différents champs en informatique inscrits essentiellement dans une vision de résolution de problème.

C'est ainsi qu'une session de ce concours a été planifiée et organisée en Tunisie en Novembre et Décembre 2019 dans les régions Bizerte, Sidi Bouzid, Ben Arous et Ben Guerdane.

Ces données, en plus celles des sessions précédentes de 2016, 2017 et 2018, ont été recueillies et utilisées comme données de test dans le système de recommandation intelligent développé dans le cadre de ce projet, et présenté dans le paragraphe (2.2).

2.1.3 Analyse des manuels scolaires

L'analyse des manuels scolaires constitue un volet important qui permet d'amener les intervenants à adopter un regard critique sur les activités et les outils pédagogiques proposées pour promouvoir le développement de la pensée logique.

L'intérêt est porté, particulièrement, à l'éducation dans les classes terminales des écoles primaires tunisiennes pour les disciplines « éveil scientifique », « mathématiques » et « éducation technologique ».

Pour ce faire, un processus en deux étapes a été adopté :

- Développer des grilles d'analyse, scolaires pour apprécier l'ampleur du développement de la pensée logique dans les manuels des 3 disciplines scientifiques étudiées.
- Utiliser les grilles pour mener une analyse en profondeur par activité, puis une analyse globale par unité d'enseignement du manuel.

2.1.3.1 Grilles d'analyse

Afin d'élaborer les grilles de la pensée logique pour les disciplines scientifiques de l'enseignement primaire, une étude approfondie des grilles existantes, telles que la Grille d'analyse des manuels de mathématiques Cycle 2 et [2], le guide d'analyse d'un manuel de Mathématiques, Cycle 3 [3], etc., a été menée. L'aboutissement aux grilles a été suite à un important travail itératif basculant entre conception et test de la grille. Les réflexions et les essais ont permis de constater qu'une même grille peut servir pour l'« éveil scientifique » et l'« éducation technologique ».

Ainsi, dans le cadre de ce projet, deux grilles ont été conçues et appliquées pour l'analyse des manuels. Il s'agit :

- D'une grille pour analyser les manuels des sciences expérimentales (voir *Annexe Livrables* : [Grille d'analyse Sciences expérimentales](#) et [Rapport d'analyse des manuels scolaires](#)).

D'une grille pour analyser le manuel des mathématiques (voir *Annexe* : Livrable [Grille d'analyse Mathématique](#) et [Rapport d'analyse du manuel](#) pour les Mathématiques).

Chaque grille comprend un ensemble d'indicateurs d'aptitudes à la pensée logique qui doivent être satisfaits/vérifiés par toutes les activités proposées dans le manuel scolaire et, globalement, par chaque leçon du manuel.

2.1.3.2 Synthèse de l'analyse des manuels

En appliquant les grilles de la pensée logique, une analyse en profondeur par activité puis une analyse globale par unité d'enseignement ont été élaborées sur les manuels de la 5^{ème} année de l'enseignement primaire. Ceci a permis une collecte de données immense, par une observation fine des particularités des exercices et des situations-problèmes en lien avec les différentes notations proposées dans le programme.

2.1.3.2.1 Manuel de l'« éveil scientifique »

Les analyses générales du manuel « éveil scientifique » ont permis de révéler que le manuel offre en apparence tous les éléments nécessaires à la construction des savoirs bien qu'il soit difficile à un élève de distinguer les notions essentielles de celles auxiliaires. Cependant, il ressort de cette analyse approfondie que :

- Les problèmes proposés dans le manuel sont relativement variés quant aux contextes, mais sont presque tous à solution unique et à données complètes. De même, la grande majorité des exercices présente un potentiel pour faire réfléchir les élèves et les faire raisonner. Cependant, il serait intéressant de prévoir des questions guidant le raisonnement et permettant d'aller plus en profondeur dans la compréhension des situations proposées.
- La quantité d'information présentée dans le manuel est démesurée par rapport au temps alloué à l'enseignement de l'éveil scientifique en 5^{ème} année primaire. De plus, l'ensemble des leçons présente une information dense, sans guidage dans le raisonnement et la compréhension des phénomènes étudiés. Il n'indique pas des éléments de solution ni d'argumentation, réduisant ainsi l'autonomie de l'élève.
- La majorité des activités proposées dans le manuel se basent essentiellement sur l'observation d'images ou de schémas de qualité assez modeste pour interpréter un phénomène physique ou naturel. Ceci nécessite un effort d'imagination et un esprit logique et scientifique assez développé chez l'apprenant.

2.1.3.2.2 Manuel de l'« éducation technologique »

Le manuel de l'« éducation technologique » présente un contenu assez riche qui instrumente les techniques de la pédagogie active et qui se rapporte aux sciences de l'éducation (comme la résolution de problèmes, la pédagogie par le projet, les compétences...). Cependant, l'analyse approfondie du manuel a donné les constats suivants :

- La partie théorique du manuel nécessite un travail de transposition didactique pour améliorer la compréhension. Au niveau de la partie pratique, l'enseignement de l'utilisation des logiciels (système d'exploitation, logiciel de traitement de texte, logiciel de traitement d'images, logiciel de publication assistée par ordinateur (PAO)) n'est pas clairement concrétisée. Une mauvaise répartition entre le temps didactique et le temps d'apprentissage de ces différents logiciels a placé la majorité des activités proposées hors de la zone proximale de développement des élèves.
- Dans certains exercices, une grande importance est donnée à la rédaction du texte à traiter et à présenter en utilisant les TIC et à sa relation avec la vie quotidienne de l'élève aux dépens des recommandations et des scénarii didactiques à suivre pour favoriser la maîtrise de l'utilisation du matériel informatique (PC et périphériques), ainsi que des différents logiciels (système d'exploitation, l'éditeur de texte et le logiciel du traitement d'images).

La scénarisation et la réalisation de certaines tâches prévues dans la majorité des activités du manuel s'appuient sur l'instrumentation des équipements informatiques spécifiques (PC, scanner, imprimante, vidéoprojecteur, connexion à internet). Cependant, l'infrastructure logicielle et matérielle varient d'une école à l'autre, rurale ou urbaine. Étant donné l'évolution rapide des TICE, cette variation pourrait former un obstacle à l'élaboration des activités intégrant les TICE dans les écoles.

2.1.3.2.3 Manuel des « mathématiques »

Les analyses générales du manuel « mathématiques » ont permis de révéler que le manuel offre en apparence tous les éléments nécessaires à la construction des connaissances et que les compétences recherchées (Chercher, Modéliser, Représenter, Reasonner, Calculer, Communiquer) sont explicitement mentionnées. Cependant il ressort de l'analyse approfondie que :

- Le manuel se présente comme un outil de travail pour l'enseignant plutôt que pour l'élève et ne contient presque pas de règles-astuces (de calcul mental, par exemple). Il manque un guidage de l'élève pour la réalisation des activités.
- Dans le manuel, la place du numérique dans les activités est faible. On ne trouve presque pas de situations proposant l'utilisation d'outils numériques comme les logiciels de calculs et numération, d'initiation à la programmation, de géométrie dynamique, Logiciel de visualisation de cartes, de plans... Pour quelles raisons ?
- Le manuel manque d'ergonomie, ne présente pas clairement l'objectif d'apprentissage de la séance, et ne propose pas assez d'exercices et de problèmes d'entraînement. Il y a un manque de situations favorisant la confrontation, l'argumentation, la démonstration, la justification, l'explication, etc.

Le manque de recours aux outils informatiques dans les manuels pourrait être dû à l'usage et la disponibilité des équipements varient d'une école à l'autre, rurale ou urbaine. En effet, étant donné l'évolution rapide des TICE, l'infrastructure matérielle et logicielle au niveau des institutions ne suit pas toujours et peut former un obstacle à l'élaboration des activités intégrant les TICE dans la majorité des institutions.

2.2 Mise en place d'un système informatique intelligent

Afin d'assister les décideurs et acteurs de l'éducation tunisienne dans la prise de décision en ce qui concerne le développement de la pensée logique chez les élèves, le projet API propose un système informatique utilisant des techniques de l'intelligence artificielle pour analyser les données relatives à l'apprentissage basé sur les compétences en vue d'évaluer le degré de développement de la pensée logique chez les élèves et proposer des recommandations d'amélioration.

La mise en place du système est passée par deux phases

- Phase de conception et de modélisation, qui a permis :
 - o La conception de l'architecture du système,
 - o La modélisation des données et la représentation des connaissances
 - o Les principaux algorithmes comme celui du calcul des degrés de développement des compétences et la recommandation
- Phase de mise en œuvre, où un prototype du système a été développé et testé avec des données réelles (voir Annexe Livrables : [Rapport du système informatique](#)).

Dans la suite, sont présentés les principaux résultats obtenus.

2.2.1 Architecture du système proposé

L'architecture globale du système intelligent proposé est structurée en 3 couches :

- Collecte des données
- Calcul de degré de développement de la pensée logique
- Recommandation

La figure 3, ci-dessous, illustre cette architecture et montre les composants du système.

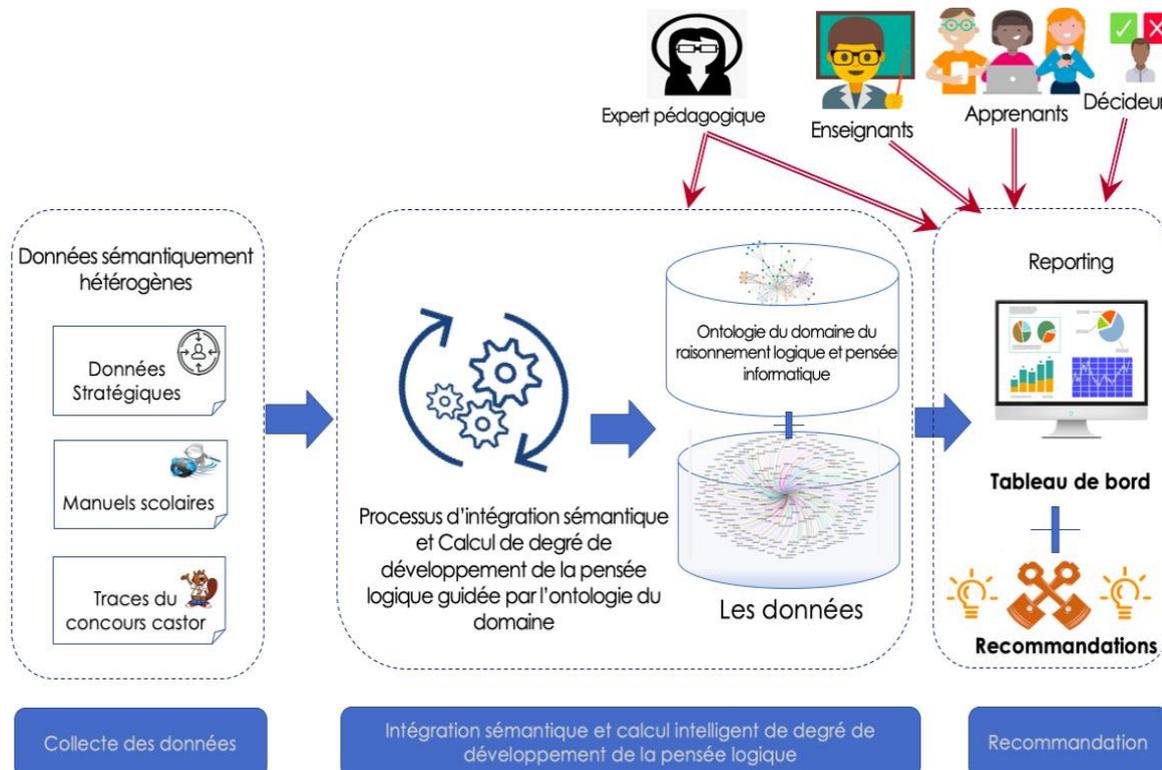


Figure 3. Architecture Globale du système de recommandations intelligent proposé

Comme montré sur la figure, ce système est offert aux différents acteurs de l'éducation :

- L'apprenant (et ses parents) pour améliorer son expérience d'apprentissage, adapter et personnaliser le suivi du développement de ses compétences selon son profil, les activités proposées et les curricula.
- L'enseignant pour appréhender le niveau de compétence de ses élèves et de sa classe.
- L'expert pédagogique pour gérer la base de connaissance relative aux compétences de la pensée logique.
- Le décideur qui prend les décisions adéquates à partir des recommandations proposées.

Le système est accessible via les différents types de terminaux et est caractérisé par une interface adaptée à ces différents profils d'utilisateurs. L'administrateur du système (expert pédagogique) pourrait, également, envisager de nouvelles sources de données provenant des réseaux sociaux ou encore d'autres enquêtes pour en tirer profit et améliorer/élargir les recommandations à proposer.

2.2.2 Ontologie de domaine pour l'apprentissage de la pensée logique

Afin de spécifier et d'exploiter, d'une manière non ambiguë, les connaissances relatives à la pensée logique, le système proposé s'appuie sur une modélisation sémantique, formelle, consensuelle et partageable des concepts relatifs à l'apprentissage basé sur les compétences. Suite à l'exploration des données recueillies et à l'étude des travaux recensés dans la littérature, la sémantique des données et des connaissances s'est basée sur l'adaptation de l'ontologie générique de compétence de Miranda et al. [4] au contexte de l'apprentissage de la pensée logique.

Ce choix est fondé sur le fait qu'il s'agit de l'ontologie la plus récente s'appuyant sur les travaux antérieurs de modélisation des compétences [5], [6], [7], [8], [9].

Un extrait de l'ontologie de domaine du raisonnement logique, proposée dans le cadre de ce projet, est donné sur la figure suivante (cf. Figure 4) qui résume les relations entre les compétences et les sous-compétence de la pensée logique.

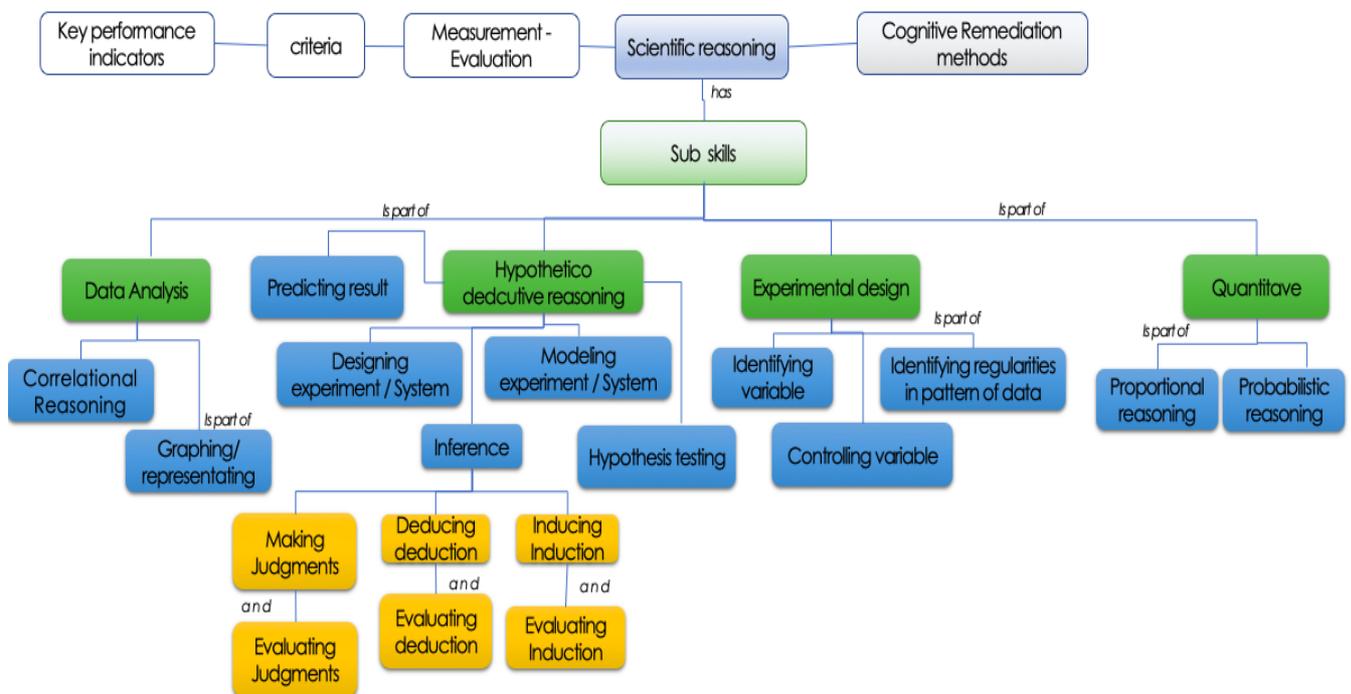


Figure 4. Extrait de l'ontologie de domaine de la pensée logique

Un extrait du modèle de classe de la pensée logique est donné sur la figure 5 (cf. Figure 5), faisant apparaître les compétences constituant la pensée logique, le profil de l'apprenant, le scénario et l'environnement d'apprentissage.

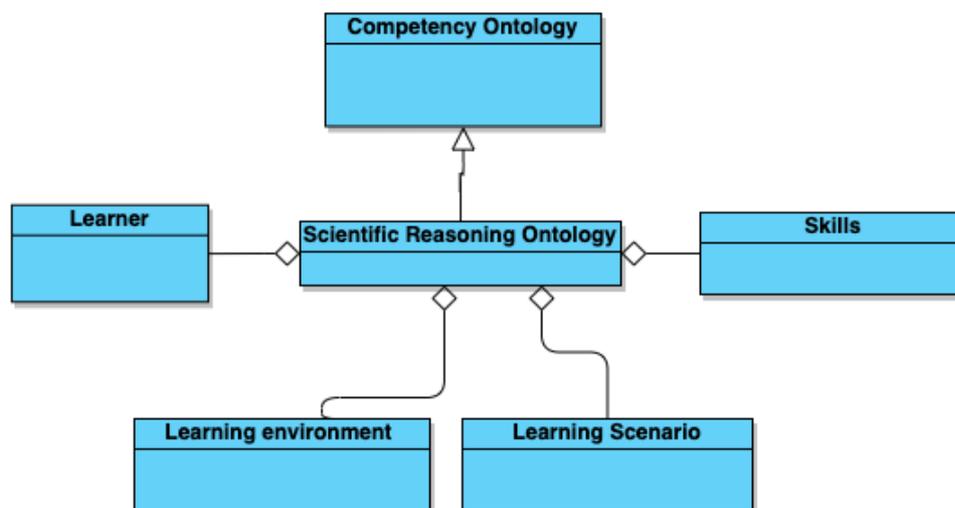


Figure 5. Extrait du modèle de classe de la pensée logique

2.2.3 Recommandations à base du raisonnement flou

Le principal objectif du système développé consiste à recommander, en fonction du profil de l'utilisateur et sur la base des données réelles, les solutions possibles pour répondre aux besoins de décision attendus. Ces recommandations peuvent répondre à des objectifs tels que :

- Pour l'élève (et ses parents) : « Quelles compétences devrais-je améliorer ? quels exercices devrais-je refaire pour améliorer mes compétences ? »
- Pour les enseignants : « Quelles compétences faut-il développer davantage dans la classe ? Quels scénarios utiliser pour ce faire ? »
- Pour le décideur :
 - Recommandation opérationnelle : « En vue de répondre aux besoins en compétences, quels scénarios pourraient être ajoutés/modifiés/supprimés du cursus actuel développé dans le manuel scolaire ? »
 - Recommandation stratégique : « Quelles seraient les améliorations à apporter au niveau du cursus global d'apprentissage de la pensée logique ? »

Pour répondre aux objectifs des utilisateurs, la recommandation se base sur le calcul du degré de satisfaction des compétences. Le degré de satisfaction d'une compétence est tributaire des degrés de satisfaction des sous-compétences qui la composent. Les sous-compétences n'ont pas forcément les mêmes priorités/codifications qui sont des connaissances maîtrisées et données par l'expert pédagogique. Il s'agit là d'un domaine de raisonnement flou.

Par suite, la recommandation dans le système API est développée en se basant sur la logique floue [5], une technique de l'intelligence artificielle, généralement utilisée dans différents domaines de raisonnement pour sa capacité de représenter des connaissances imprécises en offrant des possibilités de codification des connaissances des experts.

2.2.3.1 Principe du raisonnement flou

Cette technique a été appliquée pour le calcul (1) du degré de développement de la pensée logique chez les élèves ayant passé le concours Castor à partir des traces Castor et (2) du degré de satisfaction de la pensée logique à partir des activités des manuels scolaires.

2.2.3.1.1 Degré de développement de la pensée logique à partir du concours Castor

Les traces recueillies du concours Castor sont structurées en 12 questions qui permettent de valider les connaissances de l'élève par rapport à une ou plusieurs compétences. Les données extraites à partir des traces donnent les scores obtenus par les élèves pour chacune des questions.

Un travail d'extraction pour établir les correspondances entre les scores et les compétences, qui n'ont pas forcément les mêmes priorités. Ces priorités sont des connaissances introduites par l'expert du domaine.

En se basant sur la représentation en graphe de l'ontologie du domaine :

- Le degré de développement d'une compétence donnée est calculé, en fonction des scores de toutes les questions relatives aux sous compétences qui la composent (des filles de la compétence dans le graphe sur la figure 4).
- Le degré de développement d'une compétence composée de plusieurs sous compétences (ayant plusieurs filles dans le graphe) est calculé, de bas en haut, en appliquant une formule d'extension de la logique floue.

2.2.3.1.2 Degré de satisfaction de la pensée logique dans les manuels scolaires

On considère qu'un manuel scolaire est composé d'un ensemble de leçons regroupées dans des unités d'enseignement. Pour une leçon donnée, la pensée logique est mesurée sur la base d'indicateurs préétablis, en fonction des activités de la leçon en question, dont les priorités sont spécifiées par les experts du domaine. Le degré de satisfaction de la pensée logique est calculé :

- Pour une leçon : à partir des priorités des indicateurs (spécifiées par l'expert).
- Pour une unité d'enseignement : par la somme des degrés de satisfaction des leçons qui la composent.
- Global pour un manuel scolaire : à partir des degrés de satisfaction de ses différentes unités d'enseignement

2.2.3.2 Principe de la recommandation

Une fois le degré de satisfaction et de développement de la pensée logique calculé, une valeur d'appréciation est attribuée, à chaque compétence selon son degré, comme l'indique le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Appréciation du degré de développement d'une compétence en fonction du score dans une question

Intervalle du degré calculé		Valeur d'appréciation	
40-30	40-35	Excellent Fort	Excellent
	35-30	Excellent Faible	
30-20	30-25	Moyen Fort	Moyen
	25-20	Moyen Faible	
20-10	20-15	Faible Fort	Faible
	15-10	Faible Moyen	
10-0	10-0	Très Faible	Très Faible

En fonction de la valeur d'appréciation d'une compétence donnée obtenue par l'élève, un ensemble d'activités lui est recommandé. Ces activités, sont déduites à partir des exercices Castor associés à la compétence.

Pour l'enseignant et le décideur, les recommandations faites sont sous forme de scénarios d'apprentissage et de remédiation fournis par le lot 5 et retrouvés dans l'ontologie du domaine comme l'illustre la figure 5 (cf. Figure 5).

2.2.4 Mise en œuvre du système intelligent

Afin de valider nos choix de conception, un prototype du système est développé et testé sur des données réelles. Il s'agit d'une application web sécurisée développée avec le langage JavaScript, l'environnement AngularJS et le système de gestion de base de données orientées graphe Neo4j. Ont participé en développement deux étudiantes stagiaires Syrine Ben Taieb et Dhekra Gharbi pendant 3 mois.

Le système est structuré en trois couches : Client web, serveur d'application, et serveur de données.

2.2.4.1 Utilisation du système

Le système est accessible via les différents types de terminaux et est caractérisé par des interfaces adaptées aux différents profils d'utilisateurs présentés dans le paragraphe 2.2.1, à savoir : l'expert pédagogique, le décideur, l'enseignant et l'élève.

L'administrateur du système (l'expert pédagogique) désigne les sources de données à exploiter et introduit les poids (priorités) des compétences pour le raisonnement flou. Il a, également, la possibilité d'envisager de nouvelles sources de données provenant des réseaux sociaux ou encore d'autres enquêtes pour en tirer profit et améliorer/élargir les recommandations à proposer.

Les autres profils visualisent les informations qu'ils souhaitent ainsi que les recommandations proposées par le système pour une éventuelle prise de décision.

2.2.4.2 Représentation des connaissances

Les données sont extraites à partir des sources de données hétérogènes et transformées en connaissances en les reliant sémantiquement conformément à l'ontologie des compétences de la pensée logique proposée dans le paragraphe 2.2.2. Ainsi la représentation des données/connaissances adoptée est une représentation en graphe explicitant formellement les relations entre les entités.

Le système de gestion de base de données en graphe Neo4j⁴ a été utilisé pour l'implémentation de la base de données, qui offre une structure de base de données flexible et évolutive. Sa majeure caractéristique réside dans le fait qu'il permet de stocker les relations entre les nœuds du graphe. De cette manière, les données de la base sont connectées sémantiquement entre elles et permettent la découverte par inférence de nouveaux concepts et relations. Cette caractéristique rend le système ouvert sur d'autres sources de données provenant de réseaux sociaux (Big Data) et favorise l'utilisation des techniques avancées de l'apprentissage profond (deep learning).

2.2.4.3 Recommandation

Le système de recommandation repose sur un algorithme récursif qui se base sur les formules de la logique floue précédemment explicitées dans le paragraphe 2.2.3 pour calculer le degré de satisfaction et de développement d'une compétence d'un niveau donné dans l'ontologie de domaine (cf. Figure 4). Il a été testé suite à la consolidation et l'intégration des données recueillies du concours Castor et de l'analyse des manuels présentés dans le paragraphe 2.1.

La figure 6 illustre l'appréciation globale du degré de développement de la pensée logique chez un élève participant à la session 2016 du concours Castor. Cette appréciation est attribuée à la

⁴ <https://neo4j.com/>

compétence « pensée logique » composée, comme illustrée sur le graphe de l'ontologie de domaine (cf. Figure 4), des 4 sous-compétences « hypothetico-deductive reasoning », « data analysis », « experimental design » « quantitative ». Bien entendu, cette appréciation est déduite comme indiqué dans le paragraphe 2.2.3.

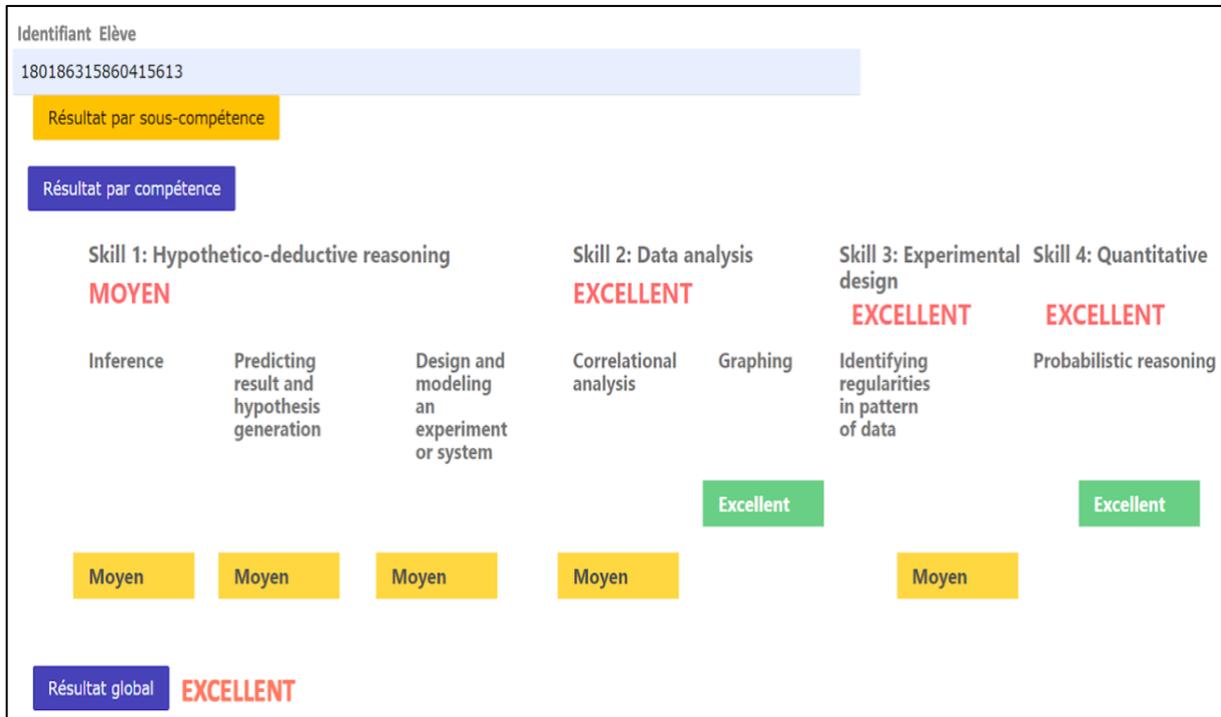


Figure 6. Appréciation de la « pensée logique » et des différentes compétences associées pour un élève donné

La figure 7 illustre les résultats obtenus pour le calcul du degré de satisfaction de développement de la pensée logique, tel que précisé dans le paragraphe 2.2.3.1.2, pour la 2^{ème}

unité d'enseignement « *le corps humain* » du manuel scolaire de l'« *éveil scientifique* » de la 5^{ème} année de l'enseignement primaire.

Elle montre que l'unité en question satisfait faiblement le degré de développement de la pensée logique avec une valeur 2% (cf. Figure 7).

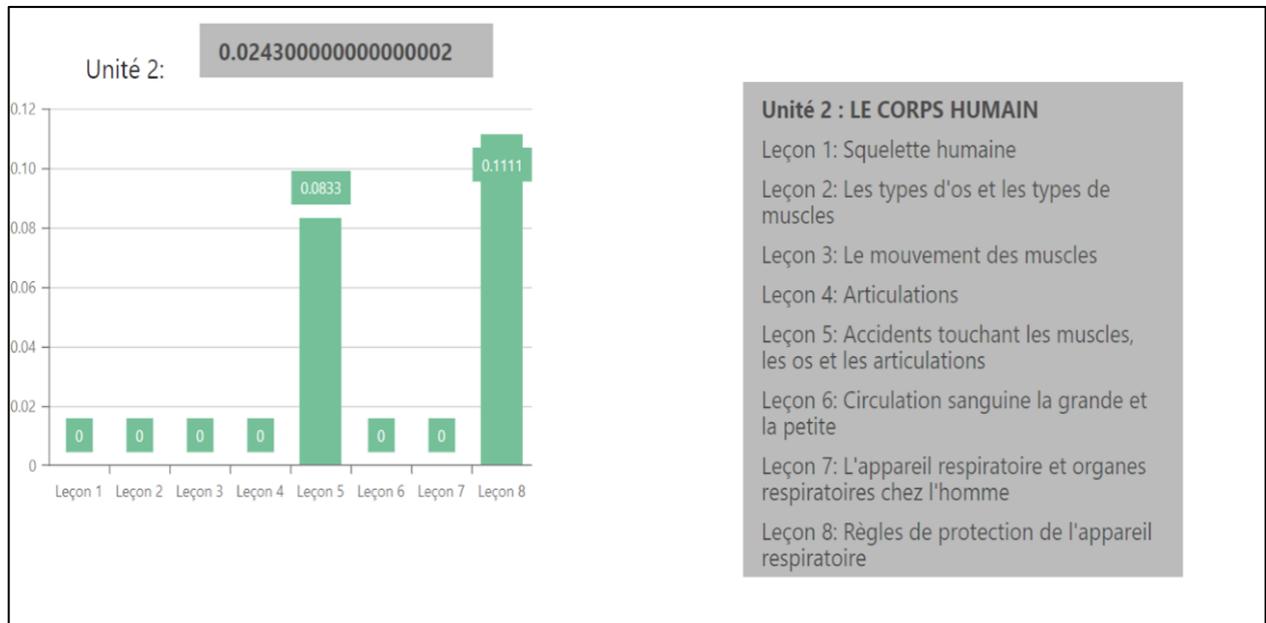


Figure 7. Évaluation des manuels scolaires par le système

3 Conclusion

Le projet API porte sur l'apprentissage par compétence de la pensée logique qui devient une nécessité absolue à acquérir, voire une compétence fondamentale qui favorise l'autonomie et la mise en place d'une démarche de recherche chez l'élève. Il s'intéresse, particulièrement, à fournir un système de recommandation pour promouvoir le développement de la pensée logique par l'informatique chez les élèves tunisiens dès leur jeune âge.

Ainsi, pour atteindre les objectifs fixés, et en plus d'une exploration approfondie de l'état de l'art sur les approches pédagogiques pour enseigner la pensée logique par l'informatique,

- Une étude du contexte tunisien a été élaborée à travers :
 - L'analyse des manuels scolaires des disciplines « éveil scientifique », « éducation technologique » et « mathématique » pour la 5^{ème} année de l'enseignement primaire.
 - L'élaboration des enquêtes sur terrain, conduites respectivement auprès des élèves et des enseignants de l'enseignement primaire.
 - L'organisation d'une session du concours Castor.
- Un système informatique intelligent de recommandation a été développé pour assister les différents acteurs de l'éducation dans la prise de décision quant aux approches et méthodes de l'apprentissage par compétence les plus adéquates au contexte tunisien.

De ce fait, les problématiques du projet se situent à la croisée des domaines scientifiques de l'informatique et de sciences de l'éducation.

Dans le paragraphe suivant, nous dressons un ensemble de propositions qui nous semblent importantes pour l'efficacité de l'apprentissage de la pensée logique en Tunisie.

3.1 Quelques propositions

Les propositions formulées ci-dessous touchent (1) le contexte tunisien, (2) le contexte tunisien par rapport à la littérature et (3) quelques prérequis pour l'amélioration du contexte tunisien.

1. A la lumière de la collecte et l'analyse des données qui ont permis de préfigurer des attitudes et d'identifier des tendances parmi les répondants, il est proposé ce qui suit :
 - La conception des manuels devrait être plus centrée sur le profil de l'élève tunisien et ses compétences.
 - Certes, l'enseignement des TIC devrait, non seulement, être un objet d'enseignement indépendamment des autres disciplines, mais également, il serait plus adéquat d'amorcer cet apprentissage dès les premières années de la scolarisation de l'enfant.
 - Les outils numériques, une fois maîtrisés, seront utilisés dans les autres disciplines lorsque le besoin sera ressenti.
 - L'adoption de la démarche d'investigation, nécessite un travail collaboratif avec des petits groupes pour favoriser la réussite d'un enseignement des sciences basé sur ces démarches innovantes.
2. L'étude théorique des différentes approches et méthodes de développement de la pensée logique et leur adéquation avec le contexte d'apprentissage tunisien a permis de souligner que le développement de la pensée logique pourrait être promu en :
 - Incitant à la recherche de l'information sur Internet, la communication avec les pairs et les enseignants et l'usage des réseaux sociaux ou des plateformes éducatives pour développer la compétence de travail en groupe.
 - Développant l'esprit logique par le biais de notions de programmation. Scratch est un exemple de logiciel gratuit de programmation graphique conçu pour initier les jeunes à partir de 7 ans. Il repose sur une approche ludique de l'algorithmique, pour les aider à créer des jeux, à raisonner et à développer leurs compétences de travail collaboratif.
 - Instrumentant les jeux sérieux et les jeux stratégiques qui pourraient être à la fois des moyens attrayants, motivants et ludiques pour développer, à la fois, la pensée logique et le raisonnement systémique.
3. A travers l'étude établie, le besoin d'un apprentissage personnalisé et adapté pour les apprenants tunisiens a été souligné. Ainsi, il est proposé de :
 - Mettre en place une stratégie de mise à niveau continue des équipements informatiques
 - Permettre aux éducateurs de mieux appréhender le progrès et le développement des compétences chez leurs apprenants, en multipliant leurs formations continues aux TICE les plus innovantes.
 - Assister les décideurs pour évaluer les programmes et les stratégies d'apprentissage afin de les adapter et prendre les décisions les plus adéquates. Le système conçu dans le cadre du projet API est un outil de base pouvant apporter certaines aides dans ce cadre.

3.2 Perspectives

En perspective à ce projet, plusieurs travaux et pistes peuvent être développés et explorés :

- Le développement d'une matrice curriculaire évolutive et dynamique qui permettra de comprendre l'orientation choisie pour instaurer l'enseignement du raisonnement logique. A ce titre, les grilles définies dans le cadre de ce projet pourraient être appliquées sur les manuels scolaires des autres niveaux.

- Une expérimentation des recommandations proposées dans le lot 5 devrait être menée sur plusieurs régions tunisiennes pour collecter un retour d'usage et proposer des améliorations possibles.
- Enrichir le système de recommandation développé par d'autres sources de données, ouvertes, connectée et massives telles que celles provenant de réseaux sociaux, d'autres enquêtes et d'analyses des manuels scolaires.
- Compléter les fonctionnalités du système développé par les recommandations stratégiques et l'améliorer par des composantes intelligentes basées sur les techniques avancées de l'apprentissage (Machine-Learning, Deep-Learning).
- Déployer et tester le prototype du système développé et envisager de le professionnaliser à travers une startup innovante en vue de le partager avec les structures éducatives francophones.

4 Références bibliographiques

- [1] Class, B., et Schneider, D. (2013). La Recherche Design en Éducation : vers une nouvelle approche?. *Frantice. net*, 7, 5-16
- [2] Grille d'analyse des manuels de mathématiques Cycle 2, pour nombres et calculs, élaborée par la mission mathématique du 68, Année 2015/2016
- [3] Guide d'analyse d'un manuel de Mathématiques, Cycle 3 – Programmes 2015, réalisé par le groupe départemental Mathématiques – 1er degré – Rhône – Mai 2018 : <http://www2.ac-lyon.fr/etab/ien/rhone/lyon5-1/spip.php?article1000>
- [4] S. Miranda, F. Orciuoli, and D. G. Sampson, “A SKOS-based framework for Subject Ontologies to improve learning experiences,” *Comput. Human Behav.*, vol. 61, pp. 609–621, 2016.
- [5] IEEE. Unapproved draft standard for learning technology- data model for reusable competency definitions. IEEE Unapproved Draft Std P1484.20.1/D5, Jan 2007, pages –, 2007.
- [6] Pierluigi Del Nostro, Francesco Orciuoli, Stefano Paolozzi, Pierluigi Ritrovato, and Daniele Toti. Aristotele: A semantic-driven platform for enterprise management. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2013 27th International Conference on*, pages 44–49. IEEE, 2013
- [7] Stijn Christiaens, Jan Bo, and Ruben Verlinden. Competency model in a semantic context: Meaningful competencies (position paper). In Robert Meersman, Zahir Tari, and Pilar Herrero, editors, *On the Move to Meaningful Internet Systems 2006: OTM 2006 Workshops*, volume 4278 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1100–1106. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [8] Gilbert Paquette. An ontology and a software framework for competency modeling and management. *Educational Technology & Society*, 10(3):1–21, 2007.
- [9] Bernadette Bouchon-Meunier, Christophe Marsala. *Logique floue : principes, aide à la décision*. Hermès-Lavoisier, 2003, *Traité IC2, série Informatique et Systèmes d'Information*.