

Connaissances du contenu et connaissances technologiques des enseignants en Informatique en milieu francophone

VASSILIS KOMIS¹, SYLVIANE BACHY², OLIVIER GOLETTI³, GABRIEL PARRIAUX⁴, MARYNA RAFALSKA⁵, KONSTANTINOS LAVIDAS¹

¹University of Patras
Greece

komis@upatras.gr
lavidas@upatras.gr

²Université Libre de Bruxelles
Belgium

sylviane.bachy@ulb.be

³Université Catholique de Louvain
Belgium

olivier.goletti@uclouvain.be

⁴Haute École Pédagogique de Vaud
Switzerland

gabriel.parriaux@hepl.ch

⁵Université de Côte d'Azur
France

Maryna.Rafalska@univ-cotedazur.fr

ABSTRACT

In this article we study the content and technological knowledge of teachers who teach or are preparing to teach computer science in a francophone environment. The research is based on the questionnaire elaborated with the reference to the TPACK model. The content knowledge is studied on the base of the five main domains of computer science (algorithms, languages and programming, machines and networks, data representation, and computer science and society) and the technological knowledge on the base of professional and educational programming languages currently used at school. The study presents a multiple correspondence

analysis of the 339 responses that were collected and estimated as valid ones. The findings show that the knowledge declared by the teachers vary. The content knowledge can be grouped in 4 categories (from quite poor and badly structured knowledge to more complete knowledge with stronger links). The technological knowledge falls in two categories depending on the knowledge of professional and educative languages declared by teachers.

KEYWORDS

Computer Science, teaching and learning, content knowledge, teacher training, TPACK

RÉSUMÉ

Cet article porte sur les connaissances disciplinaires (connaissances du contenu) et les connaissances technologiques des professeurs qui enseignent ou se préparent à enseigner l'Informatique en milieu francophone. La recherche repose sur un questionnaire qui a été conçu en se référant au modèle TPACK. En particulier, nous étudions les connaissances du contenu à partir des cinq domaines principaux de la science informatique (algorithmique, langages et programmation, machines et réseaux, représentation des données, informatique et société) et les connaissances technologiques à partir des langages de programmation courants et des langages de programmation éducationnels. L'étude présente les résultats de l'analyse des correspondances multiples des 339 réponses que nous avons récoltées et estimées comme valides. Plus précisément, nous avons pu constater que les connaissances déclarées par les enseignants sont assez variées. En ce qui concerne les connaissances du contenu des enseignants, elles peuvent être regroupées en quatre catégories (des connaissances épisodiques et mal structurées aux connaissances plus complètes avec des liens multiples). En ce qui concerne les connaissances technologiques, nous avons pu constater qu'elles s'organisent en deux groupes en fonction des connaissances des langages professionnels et des connaissances des langages éducationnels qui ont été déclarées par les enseignants.

MOTS-CLÉS

Informatique, enseignement, connaissances du contenu, connaissances technologiques, formation des enseignants, TPACK

INTRODUCTION

L'intérêt pour l'enseignement de l'Informatique s'amplifie ces dernières années dans la plupart des pays du monde. Son enseignement se généralise dans les systèmes éducatifs

(Webb et al., 2017). Des curricula d'Informatique sont développés et un enseignement de la science informatique est proposé à l'école primaire, au collège et au lycée (par exemple, Computer Science Teachers Association, 2017). De plus en plus, les systèmes scolaires intègrent dans leurs programmes des cours obligatoires pour cette discipline. En revanche, les enseignants qui sont appelés à l'enseigner n'ont pas toujours les connaissances et les compétences nécessaires pour assumer cette tâche. Force est de constater que les enseignants recrutés pour cet enseignement n'ont pas toujours une formation de base en science informatique. Ainsi, les besoins de formation (Hazzan et al., 2020) dépassent régulièrement les aspects pédagogiques et didactiques et nécessitent également un apprentissage des contenus à enseigner. Les projets de formation deviennent une nécessité bien que les différents systèmes éducatifs ne portent pas toujours la même attention à ce sujet. En effet, l'enseignement de l'informatique est très hétérogène d'un pays à l'autre, en particulier dans les pays francophones. Par exemple, les éléments d'algorithmique et de programmation ont été intégrés dans les programmes scolaires des cycles 2, 3 et 4 en 2016 (Gueudet et al., 2017). De plus, la spécialité Numérique et sciences informatiques a été incorporée dans le curricula du lycée français avec la réforme de 2019 (Vandeveldt & Fluckiger, 2020). En Belgique il n'y a pas encore réellement de base de l'enseignement de l'informatique. En Suisse romande, l'informatique existe au secondaire supérieur depuis quelques années et est en cours d'introduction au primaire et au secondaire inférieur. Chaque pays met en place des dispositifs de formation qui regroupent souvent les personnes qui viennent de différents horizons : des ingénieurs en conversion aux professeurs d'autres disciplines qui souhaitent enseigner la science informatique. Cela pose le problème d'avoir une formation qui pourrait répondre aux besoins de tous. De plus, le nombre limité d'heures amène très souvent au choix de se concentrer sur les aspects didactiques et pédagogiques de la discipline informatique (Yadav & Berges, 2019), ce que l'on appelle dans la littérature le domaine Connaissances Pédagogiques du Contenu (PCK) selon le concept développé par Shulman (1986). Il semble que les connaissances disciplinaires soient considérées comme celles qui sont déjà apprises ou peuvent être apprises par les enseignants en autonomie.

La majorité des recherches qui portent sur les connaissances et les compétences des enseignants d'Informatique mettent l'accent sur ces aspects et donnent moins d'importance aux connaissances disciplinaires ou connaissances du contenu (content knowledge). Elles sembleraient (à tort) déjà pensées comme acquises par les enseignants. Il en est de même avec la capacité d'intégrer des outils numériques avec en plus la confusion que dans le domaine de la discipline scolaire de l'Informatique, les outils numériques sont d'un côté objet disciplinaire et d'autre côté outil d'enseignement et d'apprentissage. Les connaissances technologiques possèderaient ici un double statut particulier (objet disciplinaire et outil pour enseigner et apprendre) pour ces enseignants.

Dans la littérature scientifique, le lien entre les connaissances pédagogiques, de contenu et les connaissances technologiques a été conceptualisé dans le modèle Technological and Pedagogical Content Knowledge dénommé plus régulièrement sous l'acronyme TPACK (Koehler & Mishra, 2015). Ce dernier est souvent utilisé pour décrire la capacité des enseignants ou des futurs enseignants d'intégrer les outils numériques dans leurs pratiques éducatives et au sein de plusieurs disciplines (p. ex. Lavidas et al., 2021). Il s'agit d'un modèle qui élargit l'approche PCK, qui est l'approche dominante dans la formation des enseignants en Informatique. En même temps, le modèle ne prend pas en compte le double statut que possèdent les connaissances technologiques dans l'enseignement de l'informatique (objet disciplinaire et outil pour enseigner et apprendre). Ainsi, il est nécessaire de revoir le modèle TPACK pour l'enseignement et l'apprentissage de l'informatique afin qu'il comprenne ses spécificités comme discipline scolaire.

Dans le but de soutenir le développement professionnel des enseignants en informatique et en référence aux composantes du TPACK, le projet CAI (Communauté d'Apprentissage en Informatique - <https://cai.community/>) a été développé. Il rassemble plusieurs enseignants et chercheurs de différents pays francophones, afin de construire une communauté de pratique pour l'enseignement de la science informatique. Au travers de ce projet, nous développons une recherche qui vise à étudier les connaissances disciplinaires, technologiques et les compétences pédagogiques et didactiques des enseignants dans le but de leur fournir des ressources adéquates et des formations adaptées à leurs besoins. Ce projet international rejoint des enjeux des politiques éducatives des pays concernés qui visent d'une part à améliorer la qualité de l'enseignement (par de meilleures formations initiales des enseignants) et de développer l'usage des technologies dans l'enseignement et l'apprentissage. Plus précisément, ce travail porte son intérêt aux différents besoins de formation des enseignants d'Informatique en milieu francophone, principalement en France et en Belgique, où un enseignement d'Informatique au primaire et au secondaire se développe depuis quelques années.

Plus précisément, au sein du projet CAI, nous essayons de concevoir, développer et valider un outil conceptuel sous la forme d'un questionnaire qui vise à évaluer les connaissances et les compétences disciplinaires, pédagogiques, didactiques et technologiques des enseignants francophones en informatique. Ce questionnaire est inspiré des travaux en PCK et en TPACK en tenant compte des particularités du contexte local (p. ex. le contenu des curricula en France, en Belgique et en Suisse francophones et de la formation initiale des professeurs en informatique) ainsi que de la spécificité de la discipline informatique où la technologie joue à la fois le rôle d'un objet à enseigner et d'un outil d'enseignement.

L'article s'organise en quatre parties : la première partie présente les fondements

théoriques de notre recherche (le modèle TPACK qui étudie de manière organisée les différentes connaissances des enseignants), la deuxième partie décrit l'approche méthodologique utilisée pour étudier les connaissances du contenu et les connaissances technologiques, la troisième se consacre à la présentation des résultats et la dernière partie discute ces résultats, leurs limites et les différentes directions pour poursuivre nos travaux.

CONTEXTE THÉORIQUE ET PROBLÉMATIQUE

Cadre général

Le cadre TPACK s'appuie sur la construction par Shulman (1986) de la connaissance pédagogique du contenu (PCK) pour inclure les connaissances et compétences technologiques rendant mieux compte de la complexité du système pédagogique sur lequel se construisent les enseignements (Koehler & Mishra, 2015). TPACK, qui se base sur les travaux de Mishra et Koehler (2006), est un cadre théorique qui introduit les relations et les complexités entre les trois composantes fondamentales des connaissances (technologie, pédagogie et contenu). TPACK est ancré et situé dans des contextes spécifiques. C'est ce qui le rend particulièrement attractif pour construire nos réflexions à propos de la didactique de l'informatique. D'après les concepteurs du modèle, les enseignants ont besoin d'une compréhension de tous les éléments de connaissance énumérés afin d'orchestrer et de coordonner la technologie, la pédagogie et le contenu dans l'enseignement (Koehler & Mishra, 2015). Dans une perspective descriptive, le cadre TPACK peut aider les chercheurs à identifier les composantes importantes des connaissances des enseignants qui sont pertinentes à l'intégration réfléchie de la technologie dans l'éducation (Fisser et al., 2015). Pour rappel, les composantes de TPACK se définissent comme tel :

- *Connaissances technologiques (TK)* : les connaissances technologiques concernent les diverses technologies de différents niveaux de complexité allant de l'usage d'internet, des vidéos à l'utilisation de logiciels et à la programmation informatique.
- *Connaissances du contenu (CK)* : Les connaissances du contenu représentent ce qui doit être appris ou enseigné (Mishra & Koehler, 2006). Les enseignants doivent connaître le contenu qu'ils vont enseigner et comprendre en profondeur les idées et la nature de ces différents contenus qu'ils enseigneront aux élèves.
- *Connaissances pédagogiques (PK)* : Les connaissances pédagogiques se réfèrent à la méthode et aux processus d'enseignement et comprennent des connaissances de la gestion de la classe, l'évaluation, l'élaboration de plans de leçon et l'apprentissage des élèves. Il s'agit donc de comprendre une variété de *pratiques*, de stratégies et de méthodes d'enseignement pour soutenir l'apprentissage des élèves.

- *Connaissances pédagogiques du contenu (PCK)* : Celles-ci se réfèrent à la connaissance du contenu qui traite du processus d'enseignement tel que Shulman (1986) l'a pensé. Cette composante mélange à la fois le contenu et la pédagogie avec l'objectif de développer de meilleures pratiques d'enseignement dans les domaines du contenu. Il s'agit de la base de la didactique (Bachy, 2014). Dans la terminologie francophone, on parlerait de la didactique d'une discipline, en l'occurrence de la didactique de l'informatique (Baron, 1989; Baron & Bruillard, 2001).
- *Connaissances technologiques du contenu (TCK)* : Les connaissances technologiques du contenu concernent la manière dont la technologie peut créer de nouvelles représentations pour un contenu spécifique.
- *Connaissances technopédagogiques (TPK)* : ces connaissances expliquent comment l'utilisation de la technologie peut changer la façon dont les enseignants enseignent.
- *Connaissances technopédagogiques du contenu (TPACK)* : ces connaissances sont requises par les enseignants pour intégrer la technologie dans leur enseignement dans n'importe quel domaine de contenu en vue de favoriser la mise en place de stratégies d'apprentissage. Les enseignants ont une compréhension de l'interaction complexe entre les trois composantes de base (CK, PK, TK). Ceci leur permet de développer des stratégies d'enseignement dans des contextes appropriés et spécifiques (Koehler & Mishra, 2015).

Dépendance, interdépendance ou indépendances des composantes TPACK

Récemment, un certain nombre d'études mettent l'accent sur l'importance de TPACK pour l'éducation et la formation des enseignants. Cependant, peu de recherches ont abordé ce modèle dans le contexte de la science informatique d'une manière générale (en essayant de conceptualiser le modèle pour la science informatique) ou de manière plus spécifique (en ce qui concerne la conception et l'évaluation des programmes de développement des enseignants).

Dans leurs travaux, Angeli et Ioannou ont adopté la vision transformatrice de TPACK (Angeli et al. 2016; Angeli & Valanides, 2009; Ioannou & Angeli, 2016). Les auteurs ont revendiqué l'efficacité du cadre (en combinaison avec l'approche Technology Mapping (TM)) pour la conception d'activités de développement de la pensée computationnelle et algorithmique des élèves. L'utilisation du cadre TPACK a servi pour guider la conception des programmes de développement professionnel des enseignants d'informatique de l'enseignement secondaire. Dans les recherches appliquées en sciences de l'éducation, le cadre TPACK permet en effet aux chercheurs de comprendre l'impact de formation sur le perfectionnement professionnel des enseignants (Archambault & Crippen, 2009; Schmidt & al., 2009). D'un point de vue analytique, le modèle TPACK

permet d'appuyer des questions de recherche en décomposant un système complexe (Fisser et al., 2015) en composantes plus simples. Cependant, certains chercheurs (Archambault & Barnett, 2010; Graham, 2011) soutiennent qu'il peut être difficile de distinguer les frontières entre les différentes composantes de connaissances du cadre TPACK. C'est ce qui semblerait être le cas pour la science informatique, où il pourrait y avoir une certaine confusion entre les connaissances technologiques et les connaissances disciplinaires en raison de leur nature et de leurs liens étroits.

Selon la bibliographie concernant le modèle TPACK (qui est souvent étudié indépendamment de la discipline scolaire) les différentes dimensions du modèle sont liées entre elles suivant une structure logique : les dimensions de base [contenu (CK), technologie (TK) et pédagogie (PK)] influencent directement les dimensions synthétiques (TCK, PCK, TPK) et ces dernières influencent le TPACK (Celik et al., 2014; Koh et al., 2010; Mishra & Koehler, 2006). PK aurait le plus grand impact sur le TPACK (Chai et al., 2010). D'autres recherches comme celle de Kartal et Afacan (2017) suggèrent que, bien que corrélé avec le TPACK, les connaissances technologiques (TK) ne seraient pas un prédicteur significatif de TPACK. De nombreuses études démontrent encore des interdépendances élevées entre les composantes (Archambault & Crippen, 2009; Bachy, 2014; Lin et al., 2013) renforçant ainsi la théorie qu'il est parfois compliqué de séparer contenu (CK) et pédagogie (PK) défendu dans le modèle de Shulman (1986) ou le duo pédagogie (PK) et technologie (TK) décrit dans les travaux de Bachy (2014) et Lebrun (2005).

Cependant, Kaplon-Schilis et Lyublinskaya (2020) proposent une étude qui fournit des preuves que TPACK est une construction indépendante de TK, PK et CK dans le contexte de l'intégration de la technologie dans l'enseignement des mathématiques et des sciences à l'école primaire. En outre, leurs résultats suggèrent également que les domaines de base du TPACK ne sont pas des prédicteurs pour TPACK : *The results from the multiple regression also suggest that the basic domains of TPACK: TK, PK and CK are not predictors for TPACK and therefore can be developed and measured independently* (p. 40). C'est la raison pour laquelle Kaplon-Schilis et Lyublinskaya (2020) insistent pour la création d'instrument de mesure fiables et contextualisés, testés dans le monde réel.

L'analyse du contexte permettrait certainement de mieux rendre compte de ces variations entre les études. Par exemple, plus on monte dans les niveaux d'enseignement (maternelle, primaire, secondaire, universitaire), plus on s'attend à avoir chez les enseignants des connaissances disciplinaires élevées. Le niveau de l'enseignement universitaire étant le plus spécialisé. Dans les formations initiales des enseignants le rapport entre la pédagogie et la discipline est vécu différemment en fonction de ces niveaux. Ceci pourrait expliquer que les enseignants du primaire feraient moins de liens entre les composantes PK et CK que les enseignants observés dans d'autres études. Une autre hypothèse, dans laquelle s'inscrit notre recherche relève de la nature

même de la discipline. En effet, au moment où l'on a mobilisé le cadre TPACK pour comprendre comment et pourquoi les enseignants de la science informatique faisaient tel ou tel choix pour leurs activités d'enseignement, nous nous sommes interrogés sur les différences entre leurs connaissances technologiques et leurs connaissances du contenu. Les contours de ces deux composantes du modèle nous paraissaient particulièrement complexes dans le contexte de cette discipline. Notre recherche au sein du projet CAI visait à mieux comprendre l'enseignement de l'informatique sous l'angle de TPACK, mais au préalable, nous avons considéré que, avant d'examiner le TPACK dans son intégralité, nous devons mieux élucider les questions concernant ces deux composantes de base du modèle.

Connaissances du contenu (CK) et connaissances technologiques (TK) pour l'enseignement de l'informatique

Le modèle TPACK a été initialement, étudié de manière transversale aux disciplines scolaires. Ces dernières années de nouvelles études ont tendance à lier les composantes du TPACK en fonction de différentes disciplines scolaires plus spécifiques, en essayant de comprendre, entre autres, quelle influence exerce un contenu spécifique sur la manière d'enseigner et sur les outils technologiques pour l'enseigner (Lavidas et al., 2021). Le cadre TPACK a été très peu utilisé jusqu'à présent dans le domaine de l'enseignement de l'informatique ou pour soutenir la formation des enseignants de la science informatique (Angeli et al., 2016; Giannakos et al., 2014; Ioannou & Angeli, 2016). Pourtant le modèle TPACK nous paraît très adéquat pour aborder cette discipline spécifique notamment parce que son enseignement implique de manière intrinsèque l'usage des outils technologiques. Les activités pédagogiques se déroulent en grande partie avec (ou sur) des machines et avec des logiciels informatiques.

Le manque d'études pourrait se justifier d'une part par la récente introduction de cet enseignement dans nos pays francophones et d'autre part par la complexité du thème en question. En effet, l'informatique est en même temps un objet (contenu) et un outil (usage) d'apprentissage. C'est pourquoi dans cet article nous mettons l'accent sur deux composantes de TPACK : les *connaissances du contenu* (CK) et les *connaissances technologiques* (CT).

Il y a plusieurs raisons qui justifient le travail préalable sur ces deux composantes du modèle. La discipline informatique présente des spécificités intéressantes qui ne sont pas encore étudiées en profondeur sur le terrain. Par exemple, en informatique scolaire, un outil informatique peut être également un objet d'enseignement. Cette double nature apporte de la confusion dans la construction du curriculum en informatique. Une seconde raison porte sur l'hétérogénéité des pratiques éducatives. L'informatique scolaire est une nouvelle discipline dans la plupart des pays dans lesquels nous menons notre étude. Il existe une différence éducative en fonction des niveaux scolaires. Dans

certains pays comme en France, l'apprentissage de l'informatique se déroule pendant les 12 années de l'enseignement obligatoire tandis qu'en Belgique, il n'y a aucune obligation d'avoir ce type d'enseignement (ni en primaire, ni en secondaire). Par conséquent, nous n'avons pas de curricula stabilisés ni homogènes en fonction d'un pays ce qui rend son appréhension particulièrement compliquée pour un enseignant. La troisième raison concerne la formation initiale des enseignants et les titres requis pour pouvoir enseigner l'informatique. La formation des enseignants revêt des formes variées et les enseignants ne disposent pas toujours des connaissances solides en science informatique. Le corps des professeurs en science informatique est souvent constitué par des personnes reconverties d'autres disciplines. C'est assez paradoxal quand on sait que les contenus scolaires sont issus d'un long processus de transformation, qui se désigne par le terme de « transposition didactique » (Chevallard, 1985). En principe, dans la plupart des disciplines, les connaissances du contenu scolaire correspondent à une partie des connaissances scientifiques du domaine étudié par les futurs enseignants dans le cadre de leurs études universitaires initiales. Par exemple, un professeur de mathématiques ou un professeur d'histoire ont déjà suivi dans leurs cursus universitaire plusieurs cours couvrant le contenu scolaire à enseigner. En revanche, pour des raisons spécifiques concernant la constitution du corps professoral des enseignants en informatique dans plusieurs pays (en France ou en Belgique par exemple), ce fait n'est pas toujours vrai. Plusieurs enseignants en informatique ont effectué leur formation initiale dans d'autres disciplines et se sont reconvertis dans l'enseignement de l'informatique sans toujours disposer de connaissances solides du champ scientifique. C'est pourquoi les connaissances du contenu informatique par les enseignants ou les futurs enseignants constituent un terrain qui nécessite une étude plus approfondie. Il est intéressant d'analyser ce qu'ils savent, comment ils se représentent les contenus des programmes et comment ils utilisent les outils technologiques pour soutenir leur enseignement.

Étant donné ces multiples raisons que nous rappelons succinctement - (1) la discipline informatique est une nouvelle discipline dans les curricula, (2) son contenu n'est ni stabilisé, ni homogène dans tous les pays où cette discipline fait partie de l'enseignement scolaire et (3) les enseignants qui la dispensent n'ont pas forcément un bagage disciplinaire en informatique - notre travail a consisté à analyser des référentiels officiels des ministères de l'éducation (en France, Belgique et en Suisse) et à clarifier la nature même de la composante technologique comme objet (CK) ou outil (CT) pour enseigner. Autrement dit, nous souhaitons mieux identifier les *connaissances du contenu* (CK) et les *connaissances technologiques* (CT) comme composantes du modèle TPACK.

La raison principale pour laquelle nous mettons le focus sur les connaissances technologiques est fortement liée à la discipline de la science informatique où la composante technologique (TK) pourrait être considérée comme un outil ou moyen pour soutenir l'enseignement et l'apprentissage des connaissances spécifiques au domaine

et résoudre différents types de problèmes, mais aussi comme un objet ou contenu, qui fait référence à l'apprentissage de la technologie comme objectif d'enseignement et d'apprentissage (Angeli et al., 2016). Cette confusion didactique pourrait avoir une influence dans le système TPACK. Si le premier point de vue se rapproche de la vision traditionnelle de la technologie dans le modèle TPACK, le second est unique pour le domaine de la science informatique. Par conséquent, cette dualité « outil-objet » constitue notre problématique à partir de laquelle nous souhaitons développer et valider un outil de mesure en référence aux domaines d'enseignement précités. Avec cette meilleure compréhension, nous visons ensuite à fournir des ressources adéquates et des formations adaptées aux besoins des enseignants qui nous le rappelons n'ont pas tous le même bagage disciplinaire.

MÉTHODOLOGIE

Cette recherche s'inscrit dans un contexte de formation des enseignants en informatique et repose sur le modèle TPACK. Comme exposé précédemment, il nous est apparu rapidement que l'on ne pouvait pas se saisir du modèle sans comprendre et mieux cerner deux composantes en particulier pour aborder la science informatique.

Nous concentrons notre intérêt sur les connaissances du contenu (connaissances disciplinaires) et sur les connaissances technologiques. A partir de là, nous posons plusieurs questions :

- Quelles connaissances définissent la composante CK en informatique ?
- Quelles connaissances définissent la composante TK en informatique ?
- Existe-t-il des différences entre les niveaux de connaissances déclarées par les enseignants dans les deux domaines CK et TK ?
- Dans quelle mesure les niveaux des connaissances déclarées par les enseignants dépendraient de leur profil, notamment, le nombre d'années d'expérience et le niveau scolaire d'enseignement (primaire, secondaire, supérieur) ?

Délimitation des connaissances du contenu

Pour pouvoir interroger les enseignants sur leurs connaissances du contenu, une analyse des programmes internationaux a été menée. Étant donné que notre public cible était les enseignants et éducateurs francophones de l'informatique des pays participants (à savoir la Belgique, la France et la Suisse), nous avons utilisé comme références principales trois documents provenant de ces pays. Pour la France, le document officiel utilisé se trouve sur le lien suivant et s'inspire d'une classification proposée par Dowek (2011) : données, algorithmes, langages, machines <https://eduscol.education.fr/1670/programmes-et-ressources-en-sciences-numeriques-et-technologie-voie-gt>. En Belgique, la science informatique n'est pas obligatoire à l'école secondaire,

mais un programme sous forme d'objectifs d'apprentissage est proposé par la région de Wallonie (<https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/informatique-competences-ecole/>) comportant cinq domaines : Représentation des données, Algorithmique, Programmation, Matériel informatique (machines) et Réseaux et sécurité. En Suisse romande, la classification la plus utilisée concerne trois domaines de la science informatique : Information, Calcul et Communication (Schiper, 2016). L'Information équivaut aux Données, le Calcul correspond à la Programmation et aux Algorithmes et la Communication aux Machines et aux Réseaux. Un quatrième domaine est ajouté dans le curriculum, appelé Informatique et Société, compte tenu de l'importance et de l'impact de l'Informatique dans la société.

Notre analyse s'est donc basée sur une étude thématique de ces trois textes. Malgré certaines divergences nous avons relevé cinq domaines d'étude : quatre sont issus d'une transposition didactique (algorithmique, langages et programmation, machines et réseaux, représentation des données) et le dernier qui est plutôt issu d'une pratique sociotechnique de référence (informatique et société). Les quatre premiers domaines sont communs dans tous les programmes, tandis que le cinquième ne se retrouve qu'en Suisse.

À partir de cette analyse de contenu disciplinaire, nous avons constitué vingt et une questions à quatre réponses possibles de niveau de connaissance déclarée de manière à mieux circonscrire le prescrit. Cinq questions concernent l'algorithmique et quatre questions sont spécifiques à chacun des quatre autres domaines (voir Tableau 1). Pour chaque domaine lié au contenu une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée. L'objectif de l'analyse factorielle est d'identifier des sous-ensembles de répondants qui réagissent de manière similaire aux différentes questions pour un domaine.

Délimitation des connaissances technologiques

Pour pouvoir interroger les enseignants sur leurs connaissances technologiques nous avons ciblé les langages de programmation courants et des langages de programmation éducationnels. En principe, les professeurs des disciplines technologiques, comme c'est le cas de l'informatique, sont souvent plus familiers aux technologies traditionnelles. Pour cette raison, dans notre étude, les connaissances technologiques se déclinent au travers des connaissances des enseignants à programmer une machine avec un langage de programmation (Scratch, Python, PHP...). Il est à noter que certains de ces langages sont prescrits dans les curricula (comme Scratch et Blockly). Il s'agit, bien évidemment, des langages éducationnels. Nous faisons ainsi une distinction entre des connaissances purement technologiques concernant les langages de programmation professionnels, tels que Java, JavaScript, Php et C/C++ et les connaissances technologiques fortement liées au contenu scolaire, c'est-à-dire les langages de programmation éducationnels, tels que Scratch, ScratchJr et Blockly. À partir de là, huit questions de connaissance ont été élaborées.

Questionnaire et passation

Le questionnaire en ligne a été administré au sein du projet CAI dans les trois pays francophones. Plus précisément, nous avons utilisé plusieurs listes de diffusion pour informer les enseignants et les futurs enseignants d'informatique ainsi que les réseaux professionnels des chercheurs du projet CAI. Pour accroître la participation des enseignants à la recherche, nous avons suivi les directives suggérées par Lavidas et al. (2022). Enfin, tous les participants ont donné leur consentement avant la collecte des données.

RÉSULTATS

Nous avons collecté 339 réponses valides (35% femmes, 65% hommes). Parmi les répondants 57% enseignent une autre discipline au secondaire parallèlement à l'informatique, 41% enseignent uniquement l'informatique et 8% sont des enseignants généralistes au primaire. Parmi les répondants, 75% ont eu une formation en informatique.

Connaissances du contenu

Les connaissances disciplinaires, ou connaissances du contenu selon la terminologie TPACK, sont étudiées à partir des cinq domaines apparus après l'analyse thématique des curricula : *algorithmique, langages et programmation, machines et réseaux, représentation des données, informatique et société*. Chaque domaine a fait l'objet de questions spécifiques au contenu pour lesquelles les enseignants devaient estimer leur niveau de connaissance. Vingt et une questions sont posées aux participants de la recherche : cinq pour le domaine de l'algorithmique et quatre pour les autres domaines.

Nous avons analysé de manière séparée chaque domaine de contenu pour mieux comprendre les connaissances déclarées des enseignants en science informatique.

Connaissances du contenu Algorithmique

TABLEAU 1

Distribution des connaissances sur l'Algorithmique

Modalités et Codes Questions (Variables)	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur manquante
	AI_I_DK	AI_I_DKM	AI_I_KW	AI_I_KVW	
I. Décrire un algorithme en utilisant différents modes de représentation (langage courant, organigramme, pseudo-code, programme)	10,0% (34)	23,6% (80)	42,2% (143)	24,2% (82)	0,0% (0)

TABLEAU 1

Modalités et Codes	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur manquante
Questions (Variables)	AI_2_DK	AI_2_DKM	AI_2_KW	AI_2_KVW	
2. Identifier et décrire les principes de base d'un algorithme (la séquence, les variables, les conditions, les boucles et les sous-programmes)	8,8% (30)	20,1% (68)	36,3% (123)	34,8% (118)	0,0% (0)
	AI_3_DK	AI_3_DKM	AI_3_KW	AI_3_KVW	
3. Concevoir des algorithmes pour résoudre un problème donné	11,5% (39)	25,4% (86)	39,5% (134)	23,0% (78)	0,6% (2)
	AI_4_DK	AI_4_DKM	AI_4_KW	AI_4_KVW	
4. Expliquer et implémenter quelques algorithmes classiques	12,1% (41)	22,7% (77)	41,6% (141)	23,3% (79)	0,3% (1)
	AI_5_DK	AI_5_DKM	AI_5_KW	AI_5_KVW	
5. Analyser et comparer l'efficacité de deux algorithmes	20,1% (68)	37,5% (127)	31,0% (105)	11,2% (38)	0,3% (1)

La distribution des réponses (Tableau 1) montre que la totalité des répondants (il n'y a que peu de valeurs manquantes à cet ensemble de questions) s'exprime sur leurs connaissances en **Algorithmique**. Une majorité (entre 60% et 70%) déclare avoir des connaissances complètes (« je connais très bien ») ou quasi-complètes (« je connais bien ») en ce qui concerne les quatre premières questions, mais ces connaissances se dégradent quand les concepts deviennent plus complexes : *Identifier et décrire les principes de base d'un algorithme (la séquence, les variables, les conditions, les boucles et les sous-programmes)*, *Décrire un algorithme en utilisant différents modes de représentation (langage courant, organigramme, pseudo-code, programme)*, *Concevoir des algorithmes pour résoudre un problème donné* et *Expliquer et implémenter quelques algorithmes* constituent des concepts en Algorithmique bien maîtrisés par les répondants. En revanche, *Analyser et comparer l'efficacité de deux algorithmes* est un concept moins maîtrisé (42.2% de réponses complètes ou quasi-complètes).

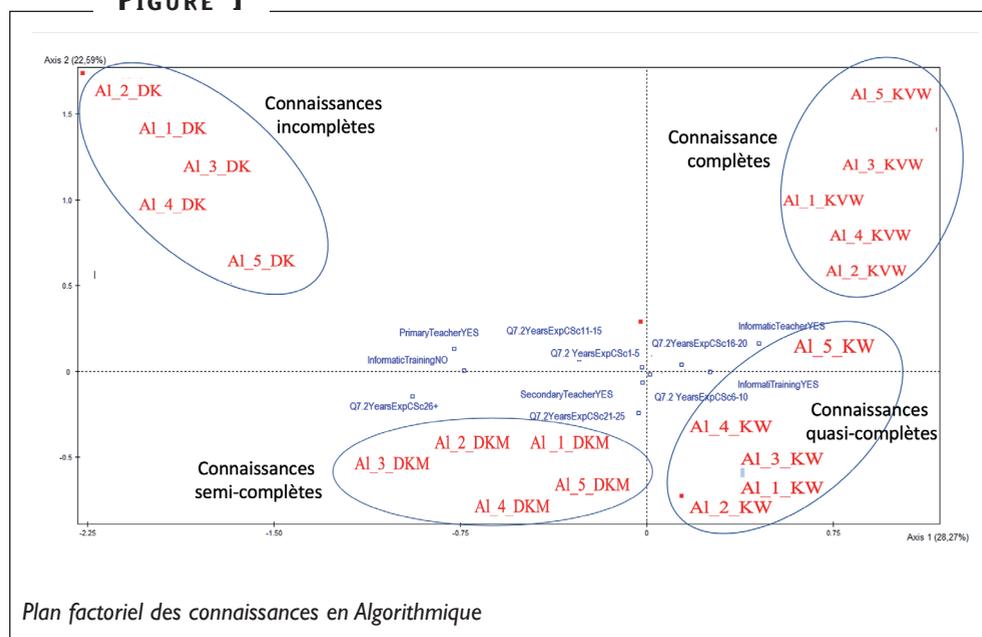
L'analyse des correspondances multiples effectuée sur les cinq questions concernant les connaissances en Algorithmique procure des informations intéressantes. Les deux

premiers axes (ou facteurs de l'analyse) représentent 50.86% de l'information totale de l'analyse. Il s'agit d'un pourcentage élevé pour ce type d'analyse.

Le premier facteur (28.27% de l'information totale) représente une opposition intéressante : du côté positif on trouve toutes les modalités représentant les connaissances complètes (« je connais très bien ») et du côté négatif toutes les modalités regroupant les connaissances incomplètes (« je ne connais pas ») sur l'Algorithmique. C'est l'axe qui se caractérise par la présence ou l'absence de connaissances.

Le deuxième facteur (22.27% de l'information totale) représente une autre opposition, celle entre les connaissances complètes (« je connais très bien ») et certaines connaissances quasi-complètes (pour les deux premières questions) et semi-complètes (pour les trois dernières questions). C'est l'axe qui se caractérise par le niveau de complétude des connaissances. Les connaissances incomplètes, ne sont que très peu contributives à la définition de ce facteur.

FIGURE 1



Ensuite, nous construisons le plan factoriel des deux premiers facteurs (Figure 1). Les points rouges désignent les modalités des variables principales de l'analyse et représentent la manière dont les enseignants ont répondu aux questions. Les ellipses regroupent les réponses des enseignants qui répondent aux questions de manière similaire. Les points bleus, désignent les modalités des variables supplémentaires et reprennent des informations sur les profils des répondants (expérience, âge, etc.).

Nous observons quatre groupes de répondants sur le graphique constitué par les deux premiers axes de l'analyse. Le premier groupe comporte des connaissances complètes (« je connais très bien ») sur toutes les questions, le deuxième des connaissances quasi-complètes (« je connais bien »), le troisième des connaissances semi-complètes (« je connais peu ») et le quatrième des connaissances incomplètes (« je ne connais pas »). Il s'agit donc des groupes bien constitués dont les connaissances sont cohérentes entre elles et évoluent selon certaines caractéristiques relatives au profil des participants à l'enquête. En projetant sur le même graphique (Figure 1) les modalités de questions de profil (année d'expérience, spécialité, degré d'enseignement, formation reçue), représentées en bleu sur le graphique, nous trouvons que les professeurs d'informatique qui interviennent dans des niveaux d'enseignement secondaire disposent, comme il est attendu, de meilleures connaissances que les enseignants du primaire ou des autres disciplines. En revanche, une longue expérience d'enseignement en informatique ne montre pas une meilleure maîtrise du domaine de l'algorithmique. Enfin, une formation en informatique semble également influencer ces connaissances de manière positive.

Connaissances du contenu en Langages et Programmation

TABLEAU 2

Distribution des connaissances sur les Langages et Programmation

Modalités et Codes	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
Questions (Variables)	LP_1_DK	LP_1_DKM	LP_1_KW	LP_1_KVW	
1. Lire le code d'un programme et en décrire les effets	10% (34)	25% (86)	40% (135)	25% (84)	00% (0)
	LP_2_DK	LP_2_DKM	LP_2_KW	LP_2_KVW	
2. Traduire un algorithme dans un langage de programmation	14% (49)	24% (82)	37% (127)	24% (81)	00% (0)
	LP_3_DK	LP_3_DKM	LP_3_KW	LP_3_KVW	
3. Tester que l'exécution d'un programme produit les résultats attendus, identifier les erreurs et les corriger	13% (45)	23% (77)	41% (139)	23% (78)	00% (0)
	LP_4_DK	LP_4_DKM	LP_4_KW	LP_4_KVW	
4. Documenter un programme	20% (68)	26% (89)	36% (122)	18% (60)	00% (0)

La totalité des répondants s'expriment sur leurs connaissances en Langage et Programmation (Tableau 2). Une majorité (entre 54% et 65%) déclare avoir des connaissances suffisantes (« je connais bien ») ou très bonnes (« je connais très bien ») à propos de ce domaine de l'informatique, mais ces connaissances se dégradent quand les concepts relatifs deviennent plus complexes ou moins courants : *Lire le code d'un programme et en décrire les effets* et *Traduire un algorithme dans un langage de programmation* sont des concepts maîtrisés par plus de 61% des répondants. Les questions concernant *Tester que l'exécution d'un programme produit les résultats attendus*, *identifier les erreurs et les corriger* et *Documenter un programme* — qui sont peut-être des pratiques moins courantes — rassemblent un peu plus de 50% de répondants avec des connaissances suffisantes ou bonnes.

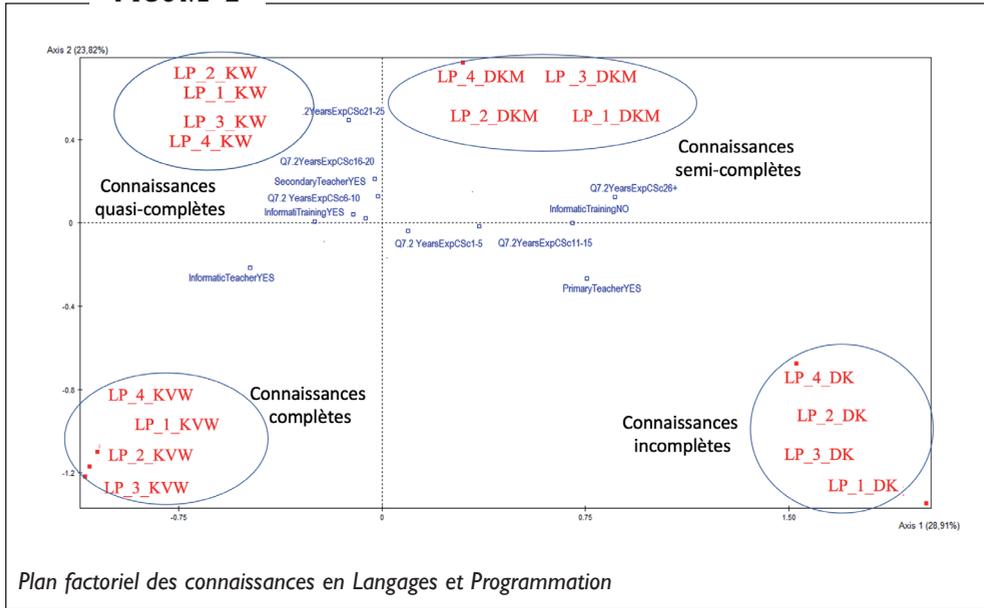
Nous avons effectué une analyse des correspondances multiples sur les quatre questions concernant les connaissances en Langages et Programmation. Les deux premiers facteurs de l'analyse comportent 52.73% de l'information totale.

Le premier facteur (28.91% de l'information totale) représente la même opposition que dans l'analyse précédente : du côté positif on trouve toutes les modalités représentant les connaissances complètes (« je connais très bien ») et du côté négatif toutes les modalités regroupant les connaissances incomplètes (« je ne connais pas »). C'est l'axe qui se caractérise par la présence ou l'absence de connaissances dans ce domaine du programme scolaire.

Le deuxième facteur (23.82% de l'information) représente une autre opposition, celle entre les connaissances complètes (« je connais très bien ») et les connaissances quasi-complètes (sauf pour la quatrième question). Il s'agit donc de l'axe qui se caractérise par les connaissances suffisantes à propos des Langages et Programmation.

Comme dans le cas précédent, nous constatons quatre groupes de répondants (Figure 2) sur le graphique factoriel des deux premiers axes de l'analyse : ces groupes évoluent entre des connaissances incomplètes et des connaissances complètes. Les groupes sont bien constitués, les connaissances sont cohérentes entre elles et évoluent suivant les différentes caractéristiques des participants à l'enquête. En projetant sur le graphique les valeurs de certaines questions (années d'expérience, spécialité, degré d'enseignement, formation) nous trouvons les mêmes informations que dans le cas de l'Algorithmique : les professeurs d'informatique en secondaire disposent de meilleures connaissances (c'est la seule modalité qui se place à côté du groupe représentant les connaissances complètes), l'expérience ne les influence pas et la formation joue un rôle positif à leur évolution.

FIGURE 2



Connaissances du contenu Machines et Réseaux

TABLEAU 3

Distribution des connaissances sur les Machines et Réseaux

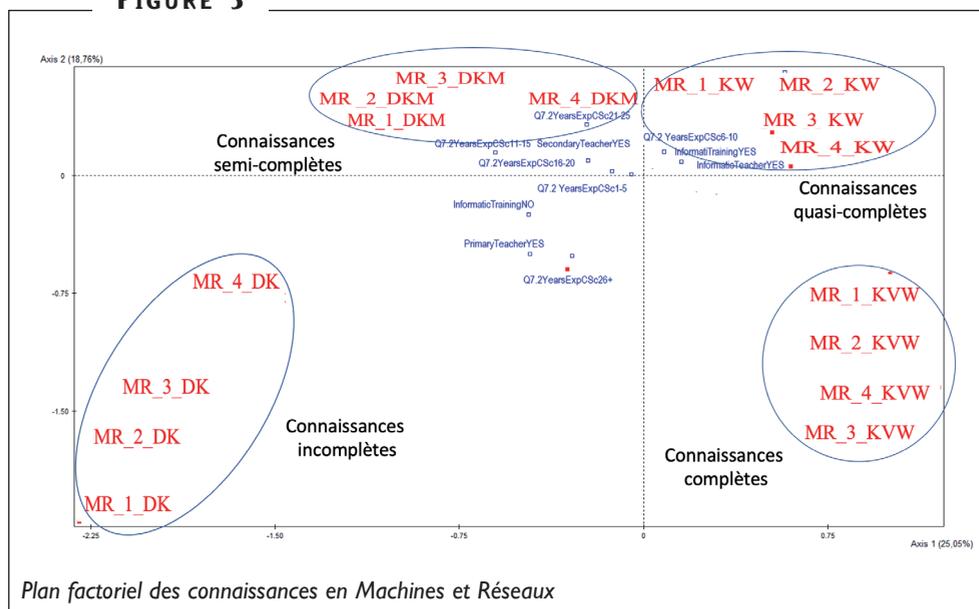
Modalités et Codes Questions (Variables)	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
	MR_I_DK	MR_I_DKM	MR_I_KW	MR_I_KVW	
1. Décrire les composants et le fonctionnement d'un ordinateur	05% (17)	25% (85)	44% (148)	26% (87)	01% (2)
	MR_2_DK	MR_2_DKM	MR_2_KW	MR_2_KVW	
2. Définir et décrire le rôle du système d'exploitation comme interface entre les composants physiques de l'ordinateur et les autres logiciels	09% (30)	31% (105)	40% (137)	19% (65)	01% (2)

TABLEAU 3

Modalités et Codes Questions (Variables)	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
	MR_3_DK	MR_3_DKM	MR_3_KW	MR_3_KVW	
3. Décrire l'organisation d'un réseau informatique et l'utilité des protocoles de communication	12% (40)	33% (113)	42% (142)	13% (43)	00% (1)
	MR_4_DK	MR_4_DKM	MR_4_KW	MR_4_KVW	
4. Expliquer les principes de la sécurité des données	16% (54)	43% (146)	28% (94)	13% (44)	00% (1)

La quasi-totalité des répondants (il n'y a que six valeurs manquantes) s'exprime sur les connaissances en Machines et Réseaux (Tableau 3). Comme dans les cas précédents, une majorité déclare avoir des connaissances bonnes ou très bonnes à propos de ce domaine de l'informatique, mis à part ce qui touche à la sécurité des données : *Expliquer les principes de la sécurité des données* rassemble plus de personnes ne disposant pas des connaissances suffisantes. Par conséquent, les connaissances estimées des répondants baissent quand les concepts du curriculum deviennent plus techniques ou spécifiques.

FIGURE 3



L'analyse des correspondances multiples effectuée sur les quatre questions concernant les connaissances en Machines et Réseaux fournit des informations complémentaires à l'analyse descriptive. Les deux premiers facteurs de l'analyse représentent 43.81% de l'information totale. Le premier facteur (25.05% de l'information totale) représente la même opposition que dans les analyses précédentes : du côté positif on trouve toutes les modalités représentant les connaissances complètes (« je connais très bien ») et du côté négatif toutes les modalités regroupant les connaissances incomplètes (« je ne connais pas ») sur les Machines et Réseaux. C'est toujours l'axe qui se caractérise par la présence ou l'absence des connaissances dans ce domaine du programme scolaire. Le deuxième facteur (18.76% de l'information) représente une autre opposition, celle entre des connaissances complètes (« je connais très bien ») et des connaissances quasi-complètes ou semi-complètes (sauf pour la quatrième question). Il s'agit donc de l'axe qui se caractérise par le niveau de complétude des connaissances à propos des Machines et Réseaux, comme dans le cas de l'Algorithmique.

On retrouve quatre groupes de répondants (Figure 3) sur le graphique factoriel (Figure 3). Ces groupes évoluent des connaissances incomplètes aux connaissances complètes. Les groupes sont bien constitués et les connaissances sont cohérentes entre elles. En projetant sur le graphique (Figure 3) les valeurs des questions de profil (année d'expérience, spécialité, degré d'enseignement, formation reçue) nous trouvons une différence essentielle par rapport aux analyses précédentes : les professeurs d'informatique en secondaire disposent de meilleures connaissances par rapport aux autres enseignants, mais cette variable est placée à côté des connaissances quasi-complètes. Ceci montre que ce domaine de contenu est moins maîtrisé que les domaines précédents même par les professeurs (qui ont une formation de base plus approfondie sur les contenus).

Connaissances du contenu Représentation des données

TABLEAU 4

Distribution des connaissances sur la Représentation des données

Modalités et Codes Questions (Variables)	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
	RD_I_DK	RD_I_DKM	RD_I_KW	RD_I_KVW	
I. Expliquer les différentes représentations numériques de l'information et mentionner leurs spécificités	12% (41)	31% (104)	36% (121)	21% (71)	01% (2)

TABLEAU 4

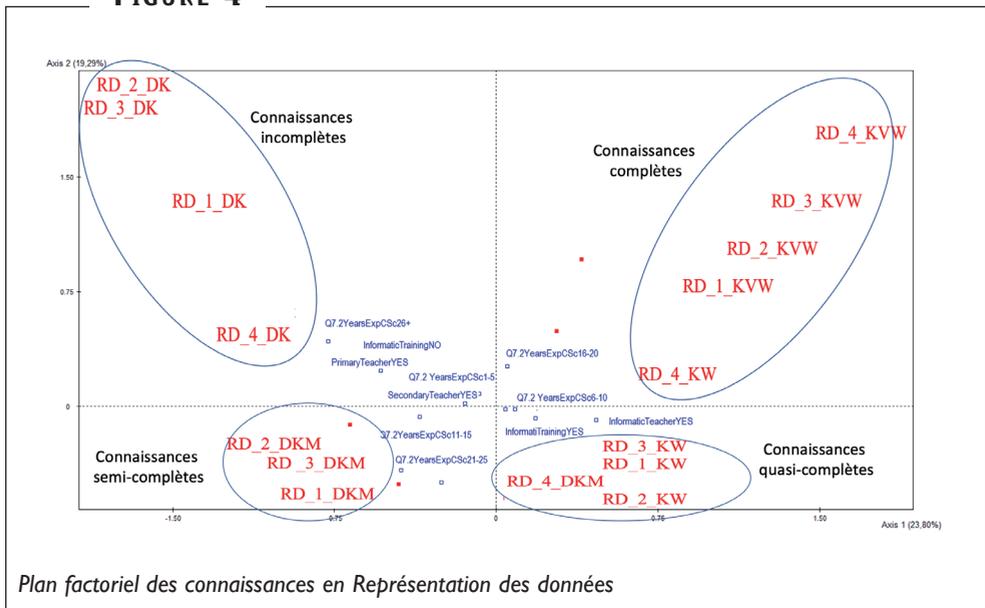
Modalités et Codes Questions (Variables)	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
	RD_2_DK	RD_2_DKM	RD_2_KW	RD_2_KVW	
2. Décrire et utiliser différents formats et systèmes de stockage pour enregistrer et organiser des données	06% (19)	32% (109)	42% (142)	20% (67)	01% (2)
	RD_3_DK	RD_3_DKM	RD_3_KW	RD_3_KVW	
3. Analyser des données et interpréter les résultats	07% (24)	37% (125)	40% (137)	14% (49)	01% (4)
	RD_4_DK	RD_4_DKM	RD_4_KW	RD_4_KVW	
4. Décrire et utiliser différentes méthodes de chiffrement de données	29% (98)	47% (161)	17% (59)	05% (18)	01% (3)

Pratiquement, tous les répondants s'expriment sur leurs connaissances en Représentations des données (Tableau 4). Une majorité (entre 54% et 61%) déclare avoir des connaissances suffisantes ou bonnes à propos de ce domaine de l'Informatique, sauf à la dernière question. Il est à noter que les connaissances se dégradent quand les concepts relatifs deviennent plus spécifiques : *Expliquer les différentes représentations numériques de l'information et mentionner leurs spécificités*, *Décrire et utiliser différents formats et systèmes de stockage pour enregistrer et organiser des données*, *Analyser des données et interpréter les résultats* sont des concepts maîtrisés par la majorité des répondants. En revanche, la question *Décrire et utiliser différentes méthodes de chiffrement de données* rassemble peu de répondants (22%) avec des connaissances suffisantes ou bonnes.

Comme dans les cas précédents, une analyse des correspondances multiples a été effectuée sur les quatre questions concernant les connaissances en Représentations des données. Cette analyse nous fournit des informations complémentaires à l'analyse descriptive. Les deux premiers facteurs de l'analyse représentent 43.09% de l'information totale fournie par l'analyse. Le premier facteur (23.80% de l'information) représente la même opposition que dans les analyses précédentes : du côté positif on trouve toutes les modalités représentant les connaissances complètes (« je connais très bien ») et du côté négatif toutes les modalités regroupant les connaissances

incomplètes (« je ne connais pas ») sur la Représentation des données. C'est toujours l'axe qui se caractérise par la présence ou l'absence des connaissances dans ce domaine du programme scolaire. Le deuxième facteur (19.29% de l'information) représente une autre opposition, celle entre d'une part de certaines connaissances complètes (pour les questions 2 et 3) ainsi que de certaines connaissances incomplètes (pour les questions 1, 2 et 3), et d'autre de certaines connaissances quasi-complètes ou semi-complètes. Il s'agit donc de l'axe qui se caractérise par le niveau de complétude des connaissances de la Représentation des données. Comme dans les cas précédents, quatre groupes de répondants (Figure 4) apparaissent : ces groupes évoluent, comme auparavant, des connaissances incomplètes aux connaissances complètes. En projetant sur le graphique 4 les valeurs des questions de profil (années d'expérience, spécialité, degré d'enseignement, formation reçue) nous trouvons la même information qu'à l'analyse précédente : les professeurs en informatique dans le secondaire disposent de meilleures connaissances que les autres enseignants mais sont placés à côté des connaissances quasi-complètes. Ceci montrerait que ce domaine de contenu est moins maîtrisé que les domaines de l'Algorithmique et des Langages et Programmation.

FIGURE 4



Connaissances du contenu Informatique et Société

Dans cette section nous étudions le dernier domaine des connaissances qui est relatif à l'Informatique est Société. La quasi-totalité des répondants s'exprime sur leurs connaissances en Informatique et Société (Tableau 5). Pour ce domaine, une

minorité (entre 41% et 46%) déclare avoir des connaissances suffisantes ou bonnes à propos de ce domaine de l'Informatique scolaire, tandis que la réponse dominante aux quatre questions est « je connais peu ». Il s'agit donc d'un domaine qui comporte des concepts ou des pratiques que les enseignants disent ne pas connaître en majorité. Cela s'explique peut-être par le fait que ce domaine n'est pas un « savoir savant » provenant de la science informatique mais plutôt un ensemble de « pratiques sociales et techniques de référence », dans le sens défini par Martinand (1986).

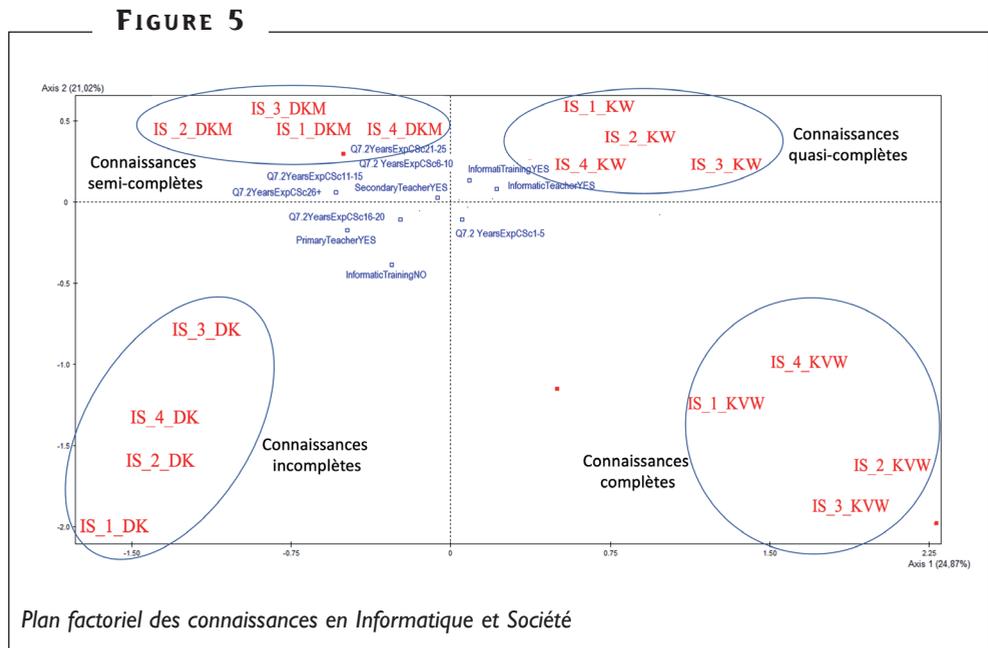
TABEAU 5

Distribution des connaissances sur l'Informatique et Société

Modalités et Codes	Je ne connais pas	Je connais peu	Je connais bien	Je connais très bien	Valeur Manquante
Questions (Variables)	IS_I_DK	IS_I_DKM	IS_I_KW	IS_I_KVW	
1. Distinguer les enjeux éthiques, légaux et sociétaux de l'informatique	07% (25)	46% (155)	33% (113)	13% (43)	01% (3)
	IS_2_DK	IS_2_DKM	IS_2_KW	IS_2_KVW	
2. Évaluer les apports et limites de l'informatique et de ses développements dans le cadre de problématiques sociétales	12% (40)	46% (155)	33% (111)	09% (30)	01% (3)
	IS_3_DK	IS_3_DKM	IS_3_KW	IS_3_KVW	
3. S'exprimer sur des problématiques sociétales en lien avec des enjeux techniques complexes	20% (69)	47% (159)	26% (89)	06% (19)	01% (3)
	IS_4_DK	IS_4_DKM	IS_4_KW	IS_4_KVW	
4. Situer et mettre en perspective les principaux repères historiques de l'informatique	11% (37)	45% (152)	34% (114)	10% (33)	01% (3)

Une analyse des correspondances multiples a été effectuée sur les quatre questions concernant le domaine Informatique et Société. Les deux premiers facteurs de l'analyse représentent 45.89% de l'information totale. Encore une fois, le premier facteur (24.87% de l'information totale) représente la même opposition que dans les analyses précédentes : du côté positif on trouve toutes les modalités représentant les connaissances complètes (« je connais très bien ») et du côté négatif toutes les modalités regroupant les connaissances incomplètes (« je ne connais pas ») sur l'Informatique et Société. C'est l'axe qui se caractérise par la présence ou l'absence des connaissances dans ce domaine du programme scolaire. Le deuxième facteur (21.02% de l'information) représente une autre opposition, celle entre les connaissances incomplètes (« je ne connais pas ») et de certaines connaissances quasi ou semi-complètes. Il s'agit donc de l'axe par le degré de complétude. Dans cette analyse, les connaissances complètes ne contribuent que peu pour la définition de cet axe.

La projection sur le plan factoriel des modalités des variables impliquées de cette analyse fait encore apparaître quatre groupes de répondants (Figure 5), comme dans les analyses précédentes : ces groupes évoluent des connaissances incomplètes aux connaissances complètes. En projetant sur le graphique 5 les valeurs des questions de profil nous trouvons la même information que dans les cas des analyses sur les machines et réseaux et sur la représentation des données : les professeurs en informatique en secondaire disposent de meilleures connaissances que les autres enseignants mais ils sont placés à côté des connaissances quasi-complètes.



Des connaissances technologiques aux connaissances technologiques du contenu

Selon la problématique développée dans la partie théorique, les connaissances technologiques sont étudiées à partir des langages de programmation courants et des langages de programmation éducationnels. Par une analyse à priori, nous sommes menés à caractériser toutes ces connaissances en tant que connaissances technologiques. Néanmoins, si on analyse avec un peu plus de détails ces connaissances technologiques, on trouve que certaines parmi elles sont prescrites dans le curricula en tant que contenu scolaire. Il s'agit, bien évidemment, des langages éducationnels. Nous faisons ainsi une distinction entre des connaissances purement technologiques concernant les langages de programmation professionnels, tels que Java, JavaScript, Php et C/C++ et les connaissances technologiques fortement liées au contenu scolaire, c'est-à-dire les langages de programmation éducationnels, tels que Scratch, ScratchJr et Blockly. Dans la Tableau 6, nous trouvons les effectifs de notre enquête et les pourcentages respectifs de connaissance au regard des différents langages de programmation.

TABLEAU 6

Connaissances technologiques et connaissances technologiques du contenu (question à choix multiples, N=339)

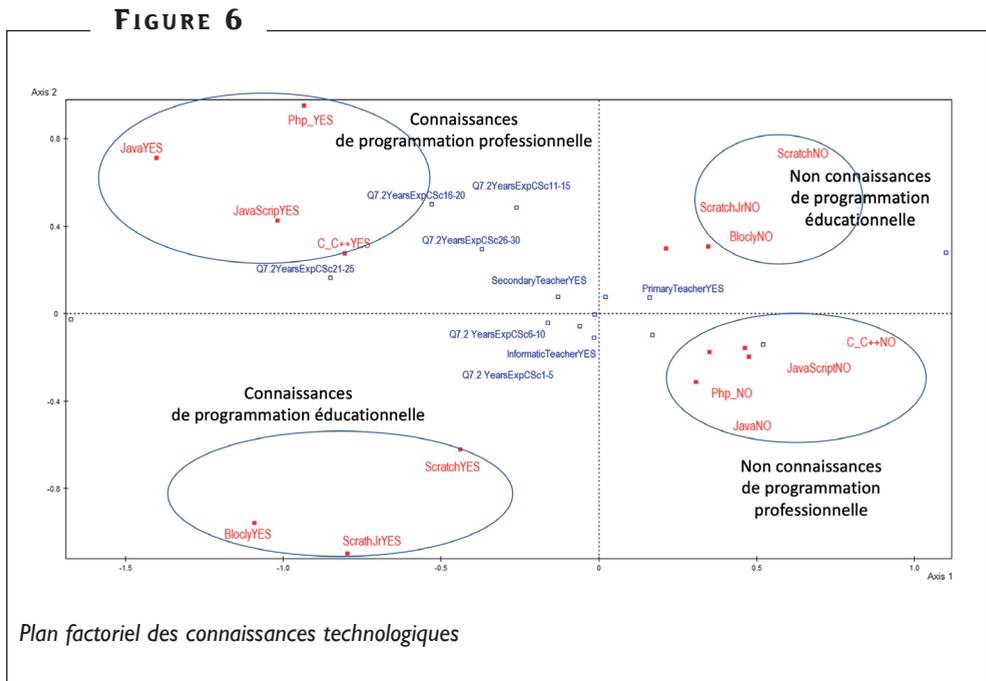
Python : connaissance technologique	234	69.0%
Scratch : connaissance technologique du contenu	178	52.5%
C ou C++ : connaissance technologique	124	36.6%
Javascript : connaissance technologique	108	31.9%
PHP : connaissance technologique	84	24.8%
Blockly : connaissance technologique du contenu	82	24.2%
ScratchJr : connaissance technologique du contenu	72	21.2%
Java : connaissance technologique	68	20.1%

Une analyse des correspondances multiples a été effectuée sur les huit questions concernant les connaissances en programmation informatique. Comme nous allons le voir par la suite, l'analyse effectuée sur l'ensemble des variables qui sont caractérisées à priori en tant que variables désignant les connaissances technologiques fait ressortir deux groupes de modalités représentant des connaissances distinctes : d'un côté les connaissances sur les langages professionnels et de l'autre, les connaissances sur les langages éducationnels. Plus précisément, les deux premiers facteurs de l'analyse représentent 57.16% de l'information totale.

Le premier facteur (34.33% de l'information totale) représente l'opposition entre les personnes qui savent programmer en utilisant différents langages et les personnes

qui ne savent pas programmer. C'est donc l'axe qui est caractérisé par la connaissance et la non-connaissance de la programmation.

Le deuxième facteur (22.83% de l'information) représente une autre opposition, beaucoup plus intéressante. D'un côté, ce sont les personnes qui disent savoir programmer avec des langages éducationnels, mais ne sachant pas programmer avec des langages professionnels. De l'autre, on trouve les personnes qui déclarent savoir programmer avec des langages professionnels, mais pas avec des langages éducationnels. Plus précisément, cette opposition est apparente sur le graphique factoriel (Figure 6) : il y a un groupe dont les connaissances sont organisées autour des langages purement professionnels (p. ex. Java ou C++) et un autre groupe dont les connaissances sont plus orientées par le contenu technologique disciplinaire, c'est -à-dire des langages éducationnels tels que Scratch, ScratchJr et Blockly. Les enseignants d'Informatique (tous les niveaux) et les personnes ayant une courte expérience professionnelle (moins de 10 ans) sont plus proches des langages éducationnels, tandis que les professeurs du secondaire et les personnes avec une longue expérience professionnelle (plus de 10 ans) sont plus proches des langages professionnels.



Au regard des analyses précédentes, le niveau d'enseignement (en primaire ou secondaire) influencerait les deux composantes CK et TK. Le niveau d'expérience des enseignants influencerait uniquement la composante TK. La partie relative aux langages

éducatifs (que nous avons classées en TK) serait davantage à considérer comme connaissances technologiques du contenu (TCK) du moment où elles sont utilisées en classe pour que les élèves apprennent la programmation, principalement car elles sont aptes à créer de nouvelles représentations pour ce contenu spécifique.

CONCLUSION ET DISCUSSION

L'article étudie les connaissances disciplinaires et technologiques des enseignants qui enseignent ou se préparent à enseigner l'informatique en milieu francophone. Les dimensions « Contenu » et « Technologie » du cadre TPACK nous a permis de construire un modèle pour analyser les données de l'enquête. Les connaissances disciplinaires sont étudiées à partir de cinq grands domaines de la science informatique, comme ils sont prescrits dans les programmes scolaires étudiés.

Les analyses des correspondances multiples nous montrent que les connaissances des enseignants sont variées et suivent une hiérarchie dépendante du contexte disciplinaire et technologique. Plusieurs groupes d'enseignants apparaissent selon ces analyses. Il y a des groupes avec des connaissances solides en algorithmique et en langages et programmation et des groupes dont les connaissances sont moins structurées sur ces contenus disciplinaires. En ce qui concerne les machines et les réseaux et la représentation des données, des groupes similaires apparaissent avec des connaissances solides et des connaissances moins organisées. Le domaine de l'informatique et société rassemble certaines particularités. Il s'agit d'un domaine de contenu où les connaissances des enseignants sont les moins bien organisées. Le profil des différents groupes est très similaire : les enseignants qui interviennent au secondaire dont la spécialité principale est l'enseignement de l'informatique disposent de meilleures connaissances dans tous les domaines par rapport aux autres groupes d'enseignants. Les différentes analyses liées au contenu d'enseignement nous indiquent donc des variations dans les profils des enseignants ce qui sous-entend des besoins en formation différents selon la formation initiale de base, l'ancienneté et le niveau d'enseignement à qui s'adresse les leçons. Parmi les cinq domaines de contenu, nous relevons que les professeurs en informatique (qui enseignent uniquement ce contenu et qui ont une formation de base en informatique) n'estiment pas avoir des connaissances disciplinaires complètes pour trois domaines : Machines et réseaux, Représentation des données, Informatique et société. Ceci justifierait un besoin de formation disciplinaire pour tous les enseignants d'informatique. En revanche, l'ancienneté ne semble pas jouer un rôle dans la maîtrise de ces contenus.

En ce qui concerne les connaissances technologiques nous trouvons une opposition très intéressante : il y a un groupe dont les connaissances sont organisées autour des langages purement professionnels et un autre groupe dont les connaissances sont

plus orientées par les langages éducationnels. En d'autres termes, les connaissances technologiques sont structurées à partir des langages de programmation courants et les langages éducationnels, c'est-à-dire ceux qui sont prescrits dans les curricula ou sont utilisés dans les classes. Nos résultats nous guident à faire évoluer le modèle initial de notre analyse, qui était organisé autour de deux composantes de base (Connaissances du Contenu et Connaissances Technologiques), en y intégrant dès à présent des croisements pour aborder les connaissances technologiques du contenu (TCK) et les compétences pédagogiques du contenu (PCK).

La recherche ne se veut pas exhaustive et ses résultats ne sont pas généralisables et transposables dans tous les contextes de formation des enseignants en informatique. Nonobstant ces réserves, il nous semble que certains postulats, formulés à partir de nos résultats peuvent être posés en constituant des nouveaux axes de recherche. Une partie non négligeable de répondants montre des lacunes importantes par rapport aux connaissances du contenu informatique. Certains domaines disciplinaires des curricula nécessitent des contextes de formation spécifiques, comme le domaine de l'Informatique et Société. Ce domaine n'ayant pas une référence dans le corpus de la science informatique il devrait être abordé de manière plus détaillée dans les référentiels de formation des enseignants. Cela va de même pour les domaines plus technologiques du curriculum comme les machines et les réseaux. Dans ce contexte, les programmes de formation des enseignants de la discipline scolaire informatique et les référentiels de compétences de ces enseignants doivent intégrer des modules propres à la science informatique et tenir compte des pratiques sociotechniques de référence, qui dans le domaine du numérique sont en pleine évolution.

REMERCIEMENTS

Cet article a été produit dans le cadre du projet CAI (Communauté d'Apprentissage en Informatique (<https://cai.community/>)), financé par l'Union Européenne (ERASMUS + KA2, Project code : 2019-1-BE01-KA201-050429).

RÉFÉRENCES

- Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J., & Zagami, J. (2016). A K-6 computational thinking curriculum framework - Implications for teacher knowledge. *Educational Technology & Society*, 19(3), 47-57.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52, 154-168.
- Archambault, L., & Crippen, K. (2009). Examining TPACK among K-12 online distance educators in the United States. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 71-88.

- Archambault, L. M., & Barnett, J. H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers & Education*, 55(4), 1656-1662.
- Bachy, S. (2014). Un modèle-outil pour représenter le savoir technopédagogique disciplinaire des enseignants. *Revue Internationale de Pédagogie de l'Enseignement Supérieur*, 30(2), 1-23.
- Bachy, S. (2019). Comment se développe le savoir technopédagogique disciplinaire ? *Spirale-Revue de Recherches en Éducation*, 63, 125-137.
- Baron, G.-L. (1989). *L'informatique, discipline scolaire ? (le cas des lycées)*. Paris: PUF.
- Baron, G.-L., & Bruillard, É. (2001). Une didactique de l'informatique ? *Revue Française de Pédagogie*, 135, 163-172.
- Celik, I., Sahin, I., & Akturk, A. (2014). Analysis of the relations among the components of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK): A structural equation model. *Journal of Educational Computing Research*, 51, 1-22.
- Chevallard Y. (1985). *La Transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2010). Facilitating preservice teachers' development of technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK). *Journal of Educational Technology & Society*, 13(4), 63-73.
- Computer Science Teachers Association. (2017). *CSTA K-12 Computer Science Standards*. Retrieved from <http://www.csteachers.org/standards>.
- Dowek, G. (2011). Les quatre concepts de l'informatique Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques. In G.-L. Baron, E. Bruillard & V. Komis (Eds.), *Actes du quatrième colloque international DIDAPRO 4 - Dida&Stic* (pp. 21-29). Athens, Greece: New Technologies Publications - Université de Patras.
- Fisser, P., Voogt, J., van Braak, J., & Tondeur, J. (2015). Measuring and assessing TPACK (technological pedagogical content knowledge). In J. Spector (Ed.), *The SAGE encyclopedia of educational technology* (pp. 490-492). SAGE Publications, Inc.
- Giannakos, M. N., Doukakis, S., Pappas, I. O., Adamopoulos, N., & Giannopoulou, P. (2015). Investigating teachers' confidence on technological pedagogical and content knowledge: an initial validation of TPACK scales in K-12 computing education context. *Journal of Computers in Education*, 2, 43-59.
- Graham, C. R. (2011). Theoretical considerations for understanding technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, 57(3), 1953-1960.
- Gueudet, G., Bueno-Ravel, L., Modeste, S., & Trouche, L. (2017). Curriculum in France. A national frame in transition. In D. R. Thompson, M. A. Huntley & C. Suurtamm (Eds.), *International Perspectives on Mathematics Curriculum* (pp. 41-70). Research Issues in Mathematics Education series, IAP.
- Hazzan, O., Ragonis, N., & Lapidot, T. (2020). *Guide to teaching Computer Science: An activity-based approach*. Springer International Publishing.
- Ioannou, I., & Angeli, C. (2016). A framework and an instructional design model for the development of students' computational and algorithmic thinking. In *Tenth Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)* (pp. 1-7). Paphos, Cyprus.
- Kaplon-Schilis, A., & Lyublinskaya, I. (2020). Analysis of relationship between five domains of TPACK framework: TK, PK, CK math, CK science, and TPACK of pre-service special education teachers. *Technology, Knowledge and Learning*, 25(1), 25-43.
- Kartal, T., & Afacan, O. (2017). Examining Turkish pre-service science teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) based on demographic variables. *Journal of Turkish Science Education*, 14, 1-22.

- Koehler, M., & Mishra, P. (2015). TPACK (technological pedagogical content knowledge). In J. Spector (Ed.), *The SAGE encyclopedia of educational technology* (pp. 783-785). SAGE Publications, Inc.
- Koh, J. L., Chai, C. S., & Tsai, C. C. (2010). Examining the technological pedagogical content knowledge of Singapore preservice teachers with a large-scale survey. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(6), 563-573.
- Lavidas, K., Katsidima, A., Theodoratou, S., Komis, V., & Nikolopoulou, K. (2021). Preschool teachers' perceptions about TPACK in Greek educational context. *Journal of Computer in Education*, 8(3), 395-410.
- Lavidas, K., Petropoulou, A., Papadakis, S., Apostolou, Z., Komis, V., Jimoyiannis, A., & Gialamas, V. (2022). Factors affecting response rates of the Web survey with teachers. *Computers*, 11(9), 127.
- Lebrun, M. (2005). *Quand les technologies propulsent la pédagogie de l'apprentissage et la formation pédagogique des enseignants*. Paper presented at Colloque « Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur », 1-3 juin 2005, Lille.
- Lin, T. C., Tsai, C. C., Chai, C. S., & Lee, M. H. (2013). Identifying Science teachers' perceptions of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK). *Journal of Science Education and Technology*, 22, 325-336.
- Martinand J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière. Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne: Peter Lang.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Schiper, A. (2016). *Découvrir le numérique : Une introduction à l'Informatique et aux systèmes de communication*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J., & Shin, T. S. (2009). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) the development and validation of an assessment instrument for preservice teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123-149.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Vandevelde, I., & Fluckiger, C. (2020). L'informatique prescrite à l'école primaire. Analyse de programmes, ouvrages d'enseignement et discours institutionnels. In *Colloque Didapro-Didastic 8*, Feb 2020, Lille, France. Retrieved from <https://hal.univ-lille.fr/hal-02462385>.
- Webb, M. et al. (2017). Computer Science in the school curriculum: Issues and challenges. In A. Tatnall & M. Webb (Eds.), *Tomorrow's learning: Involving everyone. Learning with and about technologies and computing* (pp. 421-431). Springer.
- Yadav, A., & Berges, M. (2019). Computer science pedagogical content knowledge: Characterizing teacher performance. *ACM Transactions on Computing Education*, 19(3), 1-24.