

Évaluation de l'acceptabilité, de l'utilité et de l'utilisabilité du tableau de bord du jeu "*Programming Game*"

Maud Plumettaz-Sieber, Dominique Jaccard¹, Jarle Hulaas², Eric Sanchez

¹ Université de Fribourg, 20 Avenue de l'Europe, 1700 Fribourg, Suisse
maud.sieber@unifr.ch, eric.sanchez@unifr.ch

² HEIG-VD, Haute École Spécialisée de Suisse Occidentale (HES-SO),
1400 Yverdon-les-Bains, Suisse
jarle.hulaas@heig-vd.ch, dominique.jaccard@heig-vd.ch

Résumé. Dans le cadre d'un projet de recherche qui porte sur l'usage du jeu pour l'enseignement de la programmation, nous co-concevons un jeu en ligne "*Programming Game*" et un scénario pédagogique. Le jeu comprend un tableau de bord qui permet à l'enseignant de suivre le travail des élèves et de leur fournir une aide adaptée. Dans cet article, nous présentons les résultats qui portent sur l'évaluation de ce tableau de bord du point de vue de son acceptabilité, utilisabilité et utilité. Les résultats ont été obtenus lors d'expérimentations dans deux classes. Nous concluons par une discussion sur l'usage du tableau de bord par les enseignants.

Mots-clés. Enseignement de l'informatique, Pensée informatique, Serious game, Recherche orientée par la Conception (RoC), Tableau de bord.

Abstract. As part of a research project on the use of games for programming education, we are developing collaboratively an online "*Programming Game*" and a pedagogical scenario. The game includes a dashboard that allows the teacher to monitor the students' work and provide them with appropriate help. In this article, we present the results of the evaluation of this dashboard in terms of its acceptability, usability and utility. The results were obtained during experiments in two classes. We conclude with a discussion on the actual use of this dashboard by the teachers.

Keywords. Computer programming education, Computational thinking, Serious game, Design-based research, Dashboard

1 Introduction

Le projet "*Playing and Computational Thinking*" (PACT) intervient alors que l'enseignement de l'informatique deviendra obligatoire à la rentrée de septembre 2019 dans les gymnases (élèves entre 15-16 ans) du canton de Fribourg (Suisse). Ce projet, conduit en partenariat avec des enseignants d'informatique et de leur association professionnelle (AFPIT), vise la co-conception d'un jeu en ligne d'apprentissage de la

programmation en JavaScript appelé “*Programming Game*” [1] et d'un scénario pédagogique pour son utilisation en classe. Ce projet est en lien avec une recherche doctorale dont l'objectif est la modélisation de la phase dédiée à l'institutionnalisation des connaissances qui succède à une phase de jeu. L'hypothèse sur laquelle nous nous appuyons est que le tableau de bord du “*Programming Game*” fournit à l'enseignant des informations précieuses pour conduire cette phase d'institutionnalisation. Ainsi, dans cet article, nous nous intéressons à l'utilisation du tableau de bord par les enseignants, et en particulier à son acceptabilité, son utilisabilité et son utilité.

2 Cadre théorique, problématique et questions de recherche

L'institutionnalisation, parfois qualifiée de débriefing, joue un rôle important pour le transfert des apprentissages, en particulier dans le cadre d'un apprentissage par le jeu [2]. Selon Brousseau [3], l'institutionnalisation est “une situation qui se dénoue par le passage d'une connaissance de son rôle de moyen de résolution d'une situation d'action, de formulation et de preuve, à un nouveau rôle, celui de référence pour des utilisations futures, personnelles ou collectives” (p.4). Dans le cadre d'une situation adidactique, telle qu'une situation de jeu, l'apprenant est confronté à une situation qualifiée de situation d'action [3]. Il est amené à prendre des décisions et à développer des connaissances en fonction du résultat de ses décisions (situation adidactique). La phase d'institutionnalisation (situation didactique) correspond à une intervention de l'enseignant qui succède à la situation d'action. Cette phase peut être décomposée en cinq sous-phases de réflexion : 1) sur l'expérience vécue, 2) sur les apprentissages effectués, 3) sur le jeu lui-même, 4) sur une conclusion de l'expérience de jeu et 5) sur les stratégies utilisées, les erreurs réalisées, les contenus d'apprentissage et le lien entre les concepts mobilisés [4]. Cette dernière phase constitue l'institutionnalisation au sens strict. Les savoirs sont rendus visibles et validés, et les concepts sont nommés. L'objectif de ce travail sur les savoirs est de permettre la métacognition et de rendre possible le transfert. Dans le cas du projet PACT, les savoirs visés sont ceux relatifs à la pensée informatique que Wing [5] définit comme une manière de penser les problèmes et d'envisager des solutions à partir des méthodes et des modèles de l'informatique. Pour conduire la phase d'institutionnalisation, l'enseignant doit disposer d'informations sur les erreurs effectuées par ses élèves. Cela nous a conduit à développer un tableau de bord pour le “*Programming Game*”.

Dans la littérature, nous identifions différents types de tableaux de bord selon les objectifs d'utilisation en contexte scolaire. Le premier type concerne l'utilisateur. Une catégorie des tableaux de bord est utilisée par les enseignants, en tant qu'outil d'aide à la décision, et le second par les élèves, en tant qu'outil d'auto-évaluation et d'auto-monitoring [6]. Parmi les tableaux de bord à destination des enseignants, nous identifions trois sous-catégories en fonction du contexte d'utilisation : 1) ceux utilisés dans le cadre d'un cours théorique en présentiel, 2) ceux utilisés dans le cadre d'un cours en présentiel pour des séquences d'exercices ou de travaux de groupe et 3) ceux utilisés pour la formation à distance [7]. Les tableaux de bord utilisés dans le cadre d'exercices et de travaux de groupe peuvent fournir à l'enseignant des données lui

permettant de suivre les interactions sociales, le temps passé sur les différentes activités ou les résultats des exercices réalisés [7, 8, 9].

Dans le cas du jeu "*Programming Game*", nous avons développé un tableau de bord à destination de l'enseignant, supportant des séances d'exercices et fournissant des données relatives aux exercices réalisés. Ce tableau de bord, en fournissant une synthèse des données de l'avancement des étudiants, permet à l'enseignant de réaliser les quatre étapes du modèle de Verbert [10] : prise de conscience, réflexion, production de sens, impact. Le tableau de bord du *Programming Game* supporte la première étape en fournissant à l'enseignant une synthèse des travaux réalisés par les élèves de sa classe, avec mise en évidence des avancées, réussites et échecs individuels. La seconde étape, de réflexion, doit permettre à l'enseignant d'interpréter les données et de se poser les bonnes questions. Cette étape n'est pas automatisée, toutefois le tableau de bord peut assister l'enseignant. Dans notre cas, l'affichage de la progression de chaque élève au cours des derniers niveaux, avec mise en évidence par des couleurs (vert, rouge) des réussites ou échecs, pourrait conduire l'enseignant à se poser des questions relativement aux difficultés rencontrées. Par exemple "Pourquoi l'élève X fait-il de plus en plus d'erreurs entraînant des exceptions dans son code ?". La troisième étape est relative à la production de sens. Il s'agit de répondre aux questions posées dans la deuxième étape. Dans notre cas, ceci pourrait correspondre à l'examen des codes produits, à analyser les erreurs et à les interpréter. Par exemple : "Il semble que l'élève X n'ait pas compris comment déclarer une variable". Il est alors possible de passer à la quatrième étape, l'impact ou, dans notre cas l'institutionnalisation, au cours de laquelle l'enseignant peut, via le tableau de bord ou oralement, fournir une explication sur comment déclarer les variables.

Nous évaluons le tableau de bord du "*Programming Game*" selon trois dimensions : son acceptabilité, son utilisabilité et son utilité. L'acceptabilité renvoie à la décision de l'enseignant d'utiliser le tableau de bord. Parmi les critères d'acceptabilité du tableau de bord, nous retrouvons la capacité de l'EIAH à répondre aux besoins de l'environnement dans lequel il est utilisé (temps d'apprentissage, efficacité, etc.) [11]. L'utilisabilité renvoie à la prise en main de l'environnement (ergonomie) et à la facilité de l'utilisation [11, 12] : les fonctionnalités doivent être facilement identifiables, les informations sur l'interface doivent être lisibles et compréhensibles, la navigation doit être aisée, le dispositif doit répondre aux attentes de l'enseignant et être en cohérence avec l'objectif et le scénario didactique. Finalement, l'utilité renvoie à l'efficacité pédagogique [12]. Le tableau de bord doit permettre aux enseignants d'identifier les difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves pour adapter leur enseignement et, dans notre cas particulier, conduire la phase d'institutionnalisation.

Pour cette contribution, nous nous intéressons à l'acceptabilité, l'utilisabilité et l'utilité du tableau de bord, du point de vue de l'enseignant. Nos questions de recherche sont : Q1) Le tableau de bord est-il compatible avec les pratiques de l'enseignant ? Q2) Le tableau de bord est-il techniquement adapté à l'usage de l'enseignant ? Q3) L'enseignant peut-il identifier les difficultés d'apprentissage et les stratégies des élèves pour adapter ses interventions (institutionnalisation) ?

3 Méthodologie

Dans cette recherche, nous adoptons une méthodologie de type Recherche orientée par la Conception (RoC) [13]. Une équipe interdisciplinaire d'enseignants d'informatique, d'informaticiens, de chercheurs, de graphistes et de game designers, se sont réunis pour co-concevoir le jeu "Programming Game" et le scénario pédagogique pour son utilisation en classe. Lors de la phase de conception du jeu, les informaticiens ont présenté une première version du tableau de bord qui permet aux enseignants d'accéder, sur ordinateur, tablette ou portable, à la progression de l'élève (niveau actuel auquel l'élève est en train de travailler, niveau maximal atteint) et à l'évolution des erreurs et réussites de l'élève au cours des trois derniers niveaux réalisés (les codes sont classés en trois catégories : contenant des exceptions, incomplets ou réussis). Ils accèdent aussi à l'historique des codes produits par chaque élève, à chaque niveau, qui permet d'analyser les erreurs et stratégies d'apprentissage de la programmation.

		Monitoring				Impacts			Actions
Refresh		Niveau actuel	Max atteint	Niveau autorisé	Évol. niveaux: n-2, n-1, n	Historique			
	Details	2.0	99.9	99.9	Exceptions: 0 0 0 Incomplets: 3 9 0 Réussis: 1 1 1				
	Details	99.9	99.9	99.9	Exceptions: 0 0 0 Incomplets: 0 2 0 Réussis: 1 0 1				
	Details	99.9	99.9	99.9	Exceptions: 0 0 0 Incomplets: 1 3 1 Réussis: 1 1 1				
	Details	3.3	3.3	99.9	Exceptions: 0 0 0 Incomplets: 1 3 0 Réussis: 1 2 1				
	Details	3.3	3.3	99.9	Exceptions: 0 0 0 Incomplets: 6 1 2 Réussis: 1 1 0				

Fig. 1. Tableau de bord avec (de gauche à droite) les indicateurs (Monitoring) sur le niveau actuel, le niveau maximum atteint, le niveau autorisé, l'évaluation des niveaux (n-2, n-1 et 2) et l'historiques, ainsi que, et les possibilités d'intervention par l'enseignant sur le jeu des élèves (Impacts et Actions)

Suite à cette présentation, les cinq enseignants, qui ont également participé à la conception du jeu, et la chercheuse se sont mis d'accord sur les phases d'introduction du jeu, de jeu et de sorties du jeu (l'institutionnalisation). Par contre, malgré les apports scientifiques, les étapes de décontextualisation des savoirs à suivre dans l'institutionnalisation n'ont pas fait l'unanimité des enseignants. Ces étapes devaient donc être déterminées par chaque enseignant ultérieurement. Il en est de même pour les modalités d'utilisation du tableau de bord.

Trois expérimentations ont été menées dans les classes de deux enseignants (E1 et E2). Selon les disponibilités des enseignants, les modalités d'enseignement variaient entre 1 période de cours de 45 minutes et 2 fois 2 périodes de cours. Après une phase d'analyse, de nouvelles versions du jeu et du scénario seront testées dans les classes à la prochaine rentrée scolaire 2019-2020.

Lors des expérimentations, nous avons recoltées des données issues des observations conduites dans les classes. Concernant l'observation directe en classe, les observateurs se sont servis d'une grille d'analyse qui comprend trois parties : observation 1) de la phase d'introduction du jeu, 2) la phase de jeu, et 3) la phase d'institutionnalisation.

Les parties 2 et 3 comprennent les indicateurs relatifs à l'acceptabilité, l'utilisabilité et l'utilité présentés dans le tableau 1. En complément aux observations en classe, nous avons disposé deux caméras pour enregistrer les interventions de l'enseignant et ses déplacements dans la classe. Avec ce dispositif, nous voulons compléter les observations effectuées par les deux observateurs dans la classe. Nous avons également demandé aux enseignants de produire un retour écrit ou audio sur l'utilisation du jeu en classe, et en particulier, sur leur utilisation du tableau de bord. Les questions posées pour ce rapport écrit étaient : pour l'acceptabilité "Comment avez-vous utilisé le tableau de bord (pendant/entre les cours)" ; pour l'utilisabilité, "Avez-vous rencontré des problèmes lors de l'utilisation du tableau de bord ?" ; pour l'utilité "Qu'est-ce que vous avez pu observer et comment ? Comment avez-vous exploité les informations du tableau de bord ? "Trouvez-vous que le tableau de bord est utile et pourquoi ?". Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons repris les données récoltées et les avons analysées à partir des indicateurs présentés dans le tableau 1.

Table 1. Critères d'analyse des questions et résultats

Q1. Acceptabilité	<ul style="list-style-type: none"> ● Utilisation du tableau de bord par l'enseignant (grille d'observation, vidéo et rapport écrit) : objectif de l'utilisation, moment d'utilisation, et type de support
Q2. Utilisabilité	<ul style="list-style-type: none"> ● Problèmes/difficultés rencontrés lors de l'utilisation du tableau de bord par l'enseignant (grille d'observation, vidéo et rapport écrit) : ergonomie adaptée, lisibilité des informations, facilité dans la navigation
Q3 Utilité	<ul style="list-style-type: none"> ● Efficacité pédagogique (grille d'observation, vidéo et rapport écrit) : retour de l'enseignant sur les erreurs et les stratégies observées dans les codes disponibles dans le tableau de bord ● Appréciation du tableau de bord (rapport écrit) : retour des enseignants sur l'utilité du tableau de bord en classe/hors classe

4 Résultats et discussion

Nous présentons ci-dessous notre analyse des premières données récoltées, classées selon les questions de recherche.

Concernant l'acceptabilité (Q1), alors que le premier enseignant (E1) n'a pas utilisé le tableau de bord, le second (E2) l'a utilisé à deux reprises pour identifier d'éventuels élèves en difficulté, sur une période très courte et en se déplaçant dans la classe avec une tablette. Les réponses révèlent que les enseignants n'ont pas le temps de consulter le tableau de bord en classe et qu'ils privilégient le contact direct avec leurs élèves et observent leurs écrans. Toutefois, le sommaire des réussites et erreurs ne peut être utilisé qu'en temps réel, car il donne un aperçu sur une fenêtre de temps limitée. A ce sujet, E2 écrit "*A posteriori, je pense que j'aurais peut-être pu/dû regarder un peu ce que faisaient les élèves moins verbeux mais la réalité est telle qu'avec 25 élèves, tout*

va très vite". Nous constatons qu'en-dehors du temps de classe, les enseignants consultent les codes produits par les élèves, disponibles dans le tableau de bord. L'acceptabilité du tableau de bord est donc meilleure pour un usage *a posteriori* que durant la séance. Pour E1, le tableau de bord n'a pas sa place dans son cours : *"Si le cours devait être donné en ligne (où les élèves et l'enseignant ne sont pas dans la même classe) [...] le tableau de bord deviendrait un outil essentiel"* (E1). Le second explique *"Je pense que c'est un bon outil, mais il faut encore que je réfléchisse comment l'utiliser"* (E2).

En ce qui concerne l'utilisabilité (Q2), aucune difficulté n'a été mentionnée par les enseignants lors de l'utilisation du tableau de bord. A la question *"Avez-vous rencontré des problèmes lors de l'utilisation du tableau de bord ?"*, les enseignants n'ont rien relevé sur l'ergonomie, la lisibilité des informations et la navigation. Lors des prochaines expérimentations, nous pensons utiliser le questionnaire SUS pour compléter notre analyse.

Finalement, concernant l'utilité (Q3), E1, qui a donné deux cours de deux heures avec ce jeu, s'est servi du tableau de bord pour analyser les codes *a posteriori*. Ces analyses se sont focalisées sur le nombre de tentatives pour réussir un niveau, l'adaptation du code produit pour passer un même niveau (chaque tentative), les erreurs récurrentes (chez un même élève et chez plusieurs élèves) et les concepts appris ou non : *"Je constate [...], étant donné le nombre de tentatives "échouées", que certains ont essayé différentes choses, un peu par hasard et que, finalement, ils ont obtenu le résultat souhaité. J'ai donc commencé à préparer une nouvelle partie [...] qui reprend ces concepts, pour les consolider"* (E1). Il ajoute *"L'utilisation du tableau de bord entre les cours permettrait de différencier l'enseignement, mais pour ça, il faut ajouter plus d'exercices sur la plateforme."* Lors du second cours, E1 a commencé la leçon par une institutionnalisation des savoirs en s'appuyant sur les concepts en jeu (variable, séquence d'instructions, condition et fonction) et les différentes erreurs identifiées dans les codes produits par les élèves en lien avec ces concepts. Par exemple, l'enseignant est revenu sur des erreurs syntaxiques (point-virgule oublié ou placé au mauvais endroit) et sémantiques (erreur dans l'initialisation d'une variable, oubli d'une instruction). E2, qui a réalisé l'institutionnalisation directement après la session de jeu, ne s'est pas servi du tableau de bord, mais s'est basé sur ses observations directes et sur une évaluation formative online des connaissances issues du jeu (avant institutionnalisation). Il a constaté que *"beaucoup [d'entre eux] étaient parvenus à passer d'un niveau à l'autre sans vraiment avoir compris le concept sous-jacent"* (E2). Lors de l'institutionnalisation, il a donc présenté les concepts en jeu, mais contrairement à E1, il n'est pas revenu sur les erreurs présentes dans les codes. Le nombre limité de données ne nous permet toutefois pas d'affirmer que le tableau de bord a favorisé ce retour sur les erreurs observées. Lors des prochaines expérimentations, nous intégrerons ce questionnement dans le feedback rendu par les enseignants. Finalement, l'enseignant E1 relève que le tableau de bord permet une analyse des stratégies d'apprentissage *"l'analyse des données récoltées par l'outil, pour déterminer les catégories d'erreurs et faire apparaître des tendances, apporte certainement des éléments précieux pour essayer de comprendre comment on s'y prend pour apprendre à programmer"*. Il devient donc possible de déterminer les modalités pédagogiques les plus efficaces pour l'apprentissage de la programmation. Toutefois, ceci est perçu

comme allant au-delà du travail traditionnel de l'enseignant et est attribué au travail des chercheurs.

5 Conclusion et perspectives

Ce papier a permis de discuter l'analyse des usages du tableau de bord du "Programming Game" du point de vue de son acceptabilité, utilisabilité et utilité.

Nous avons observé que, dans sa version actuelle, le tableau de bord se prête mal à une utilisation dans le cadre de la classe. Il a surtout été utilisé par les enseignants *a posteriori* pour réaliser une analyse des codes produits par les élèves. Le temps en classe est plutôt consacré à l'observation des écrans des élèves et aux échanges directs. Son acceptabilité en classe est donc limitée en raison des nombreuses tâches qui incombent à l'enseignant durant la séance, mais il se prête bien à une utilisation *a posteriori*.

Bien que nous n'ayons pas identifié de problèmes du point de vue de l'utilisabilité du tableau de bord, nous resterons attentifs à cet aspect lors des prochaines récoltes de données. En effet, les prochaines expérimentations, prévues très prochainement, viendront compléter les résultats de cette première analyse. Ces nouvelles données nous permettront d'améliorer le tableau de bord lors de chaque nouvelle itération. De plus, à l'avenir, nous pensons également proposer des pistes d'utilisation du tableau de bord dans le scénario pédagogique afin d'orienter les enseignants intéressés à utiliser le "Programming Game" dans leur classe.

Du point de vue de son utilité, les enseignants se sont servis du tableau de bord pour observer l'évolution des codes des élèves, identifier les erreurs récurrentes, ainsi que les concepts non acquis. Un enseignant a ensuite utilisé ces informations en extrayant des sections de code produits par les élèves pour les utiliser lors de l'institutionnalisation des savoirs. De plus, l'historique de l'évolution des codes a mis en évidence des stratégies d'apprentissage de la programmation qui peuvent être utiles aux enseignants et aux chercheurs en didactique de l'informatique.

A l'issue de ces premières expérimentations, nous envisageons maintenant des outils d'analyse automatique plus poussée, dont les enseignants tireraient profit ; ainsi, leur travail de correction pourrait être facilité par des outils indiquant clairement le type d'erreurs commises (p.ex. variable non initialisée) et dans quelle mesure les concepts pédagogiques visés ont été acquis, tel que "l'élève a-t-il réalisé une structure de boucle ou a-t-il dupliqué son code manuellement pour obtenir une répétition ?". Ce feedback exprimé en termes de concepts pédagogiques renforcerait le tableau de bord dans son rôle d'assistant pour l'institutionnalisation.

Remerciements. Nous remercions la Fondation Hasler qui a financé le projet, à Swan Keller (graphiste), à Sandro Dall'Aglio (*game designer*) et à Cyril Junod (informaticien) qui ont contribué à la création et l'amélioration du jeu, et en particulier aux enseignants des collègues, Laurent Bardy, Fabian Simillion, Brice Canvel, André Maurer, Laurence Fidanza, qui s'impliquent dans la création, l'expérimentation et l'évaluation du jeu et du scénario pédagogique.

Références

1. AlbaSim: Programming Game, <https://www.albasim.ch/fr/nos-serious-games/> (2019).
2. Egenfeldt-Nielsen, S.: Overview of research on the educational use of video games. *Digital Competanse*. 1, 184–213 (2006).
3. Brousseau, G.: Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques, http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2010/09/Glossaire_V5.pdf, (2010).
4. Sanchez, E., Plumettaz-Sieber, M.: Teaching and Learning with Escape Games from Debriefing to Institutionalization of Knowledge. In: Gentile, M., Allegra, M., and Söbke, H. (eds.) *Games and Learning Alliance*. pp. 242–253. Springer International Publishing (2019).
5. Wing, J.M.: Computational Thinking. *Communications of The ACM*. 49, 33–35 (2006).
6. H. Labarthe and V. Luengo, “L’analytique des apprentissages numériques,” LIP6 - Laboratoire d’Informatique de Paris 6, Research Report, Dec. 2016.
7. K. Verbert *et al.*, “Learning dashboards: an overview and future research opportunities,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 18, no. 6, pp. 1499–1514, 2014.
8. R. M. Maldonado, J. Kay, K. Yacef, and B. Schwendimann, “An interactive teacher’s dashboard for monitoring groups in a multi-tabletop learning environment,” in *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 2012, pp. 482–492.
9. I. Molenaar and C. Knoop-van Campen, “Teacher Dashboards in Practice: Usage and Impact,” in *Data Driven Approaches in Digital Education*, vol. 10474, É. Lavoué, H. Drachsler, K. Verbert, J. Broisin, and M. Pérez-Sanagustín, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 125–138.
10. K. Verbert, E. Duval, J. Klerkx, S. Govaerts, and J. L. Santos, “Learning Analytics Dashboard Applications,” *Am. Behav. Sci.*, vol. 57, no. 10, pp. 1500–1509, Oct. 2013.
11. Bétrancourt, M. : L’ergonomie des TICE : quelles recherches pour quels usages sur le terrain. In : Charlier, B. and Peraya, D. (eds.) *Regards croisés sur la recherche en technologie de l’éducation*. pp. 77–89. De Boeck, Bruxelles (2007).
12. Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., Morcillo, A. : Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l’évaluation des EIAH. In : *Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain*, Strasbourg 2003. pp. 391–402. Strasbourg (2003).
13. Sanchez, E., Monod-Ansaldi, R. : Recherche collaborative orientée par la conception. Un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d’enseignement-apprentissage. *Education et didactique*. 9, 73–94 (2015).