



**HAL**  
open science

## Les Grands Challenges de la recherche en e-éducation, issus des ateliers thématiques des ORPHÉE-RDV'2017

Nathalie Guin, Gaëlle Molinari, Marie Lefevre, Christine Michel

### ► To cite this version:

Nathalie Guin, Gaëlle Molinari, Marie Lefevre, Christine Michel. Les Grands Challenges de la recherche en e-éducation, issus des ateliers thématiques des ORPHÉE-RDV'2017. [Rapport de recherche] ATIEF. 2019. hal-02046920

**HAL Id: hal-02046920**

**<https://hal.science/hal-02046920>**

Submitted on 22 Feb 2019

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

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

# Les Grands Challenges de la recherche en e-éducation, issus des ateliers thématiques des ORPHÉE-RDV'2017

Nathalie GUIN (LIRIS, Université Lyon 1),  
Christine MICHEL (LIRIS, INSA de Lyon)  
Marie LEFEVRE (LIRIS, Université Lyon 1)  
Gaëlle MOLINARI (TECFA, Université de Genève & UniDistance)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article présente les Grands Challenges identifiés lors des ateliers thématiques organisés dans le cadre des ORPHEE-RDV'2017. Lors de cette manifestation, six ateliers thématiques ont réuni des chercheurs, praticiens et entrepreneurs dans le domaine de la e-éducation. Huit Grands Challenges ont émergé de ce travail collaboratif et interdisciplinaire. Ces grands challenges posent des questions sur l'intégration de nouvelles méthodes et technologies dans les dispositifs d'enseignement, sur les moyens de favoriser le développement de nouvelles compétences par l'apprenant, et sur les systèmes à mettre en œuvre pour analyser l'activité des apprenants, permettre leur suivi et personnaliser les parcours d'apprentissage.

■ **MOTS-CLÉS** • Apprentissage tout au long de la vie, personnalisation et adaptation de l'apprentissage, évaluation formative, analytique de l'apprentissage, réalité virtuelle, apprentissage de la pensée informatique.

■ **ABSTRACT** • *This paper presents the Grand Challenges identified during the thematic workshops organized during the ORPHEE-RDV' 2017. During this event, six thematic workshops brought together researchers, practitioners and entrepreneurs in the field of e-education. Eight Grand Challenges emerged from this collaborative and interdisciplinary work. These Grand Challenges raise questions about the integration of new methods and technologies into teaching arrangements, about how to foster the development of new skills by learners, and about the systems to be implemented to analyze learners' activity, enable their monitoring and personalize learning paths.*

■ **KEYWORDS** • *Lifelong learning, personalization and adaptation of learning, formative evaluation, learning analytics, virtual reality, learning computational thinking.*

## 1. Introduction

Le réseau ORPHÉE<sup>1</sup> a organisé en janvier 2017 une manifestation scientifique de trois jours, les ORPHÉE-RDV<sup>2</sup>, dont l'objectif était de structurer le réseau d'acteurs investis dans la e-éducation autour de quelques grands challenges actuels de la recherche, aussi bien au niveau national qu'au niveau international. Par e-éducation, nous entendons des dispositifs intégrant des contenus ou méthodes utilisant des technologies pour de la formation à distance ou en présence, individuellement ou en groupe et en mode connecté ou non. Parce que les problèmes fondamentaux auxquels la société et le monde de l'Éducation doivent faire face sont sociotechniques, le réseau ORPHÉE a cherché à faire collaborer des chercheurs, praticiens, entrepreneurs et décideurs, dans une approche interdisciplinaire. Dans le cadre des ORPHÉE-RDV, les différents acteurs ont été invités à travailler de concert pour, d'une part, discuter autour de quelques problèmes actuels rencontrés en e-éducation et, d'autre part, développer des programmes d'action à moyen-terme (étapes de recherche et objectifs mesurables à chaque étape) dont la visée est d'améliorer les dispositifs d'enseignement-apprentissage et par conséquent d'apporter des bénéfices à long-terme pour la société.

Une centaine de personnes se sont ainsi rassemblées à Font-Romeu pendant 3 jours en janvier 2017 pour échanger dans le cadre de 6 ateliers thématiques proposés en amont par les participants du réseau ORPHÉE :

- L'apprenant, acteur principal de son parcours tout au long de sa vie ;
- Personnalisation et adaptation dans les environnements d'apprentissage ;
- L'évaluation formative pratiquée en classe ou en amphithéâtre ;
- Méthodologies et outils pour le recueil, l'analyse et la visualisation des traces d'interaction ;
- Réalités mixtes, virtuelles et augmentées pour l'apprentissage ;
- Apprentissage instrumenté de l'informatique.

Huit Grands Challenges ont émergé de ce travail collectif. Ils sont présentés dans la suite de cet article. Ils s'organisent autour de 3 grandes questions.

- Comment intégrer dans les dispositifs d'enseignement actuels de nouvelles méthodes et technologies pour l'apprentissage actif, comme l'évaluation formative par les pairs ou les applications de la réalité virtuelle/augmentée/mixte ?
- Comment favoriser le développement des compétences de demain comme l'autonomie et le pouvoir d'agir indispensables à l'apprentissage tout au long de la vie ou encore celles associées à la programmation informatique ?
- Comment développer des systèmes d'analyse et de suivi personnalisé des compétences et des comportements (individuels ou en groupe, pour des formations en présence, à distance ou hybrides), de manière à favoriser l'adaptation et la personnalisation ou améliorer la gestion des traces d'interaction ?

---

<sup>1</sup> <http://atief.fr/content/bienvenue-sur-le-r%C3%A9seau-orph%C3%A9e-de-la-e-education>

<sup>2</sup> <http://atief.fr/content/orph%C3%A9e-rendez-vous-2017-0>

Il a été demandé aux participants de présenter chaque Grand Challenge identifié au sein de leurs ateliers selon quatre aspects :

- une description générale du challenge ou des objectifs scientifiques liés,
- les problèmes éducatifs concernés ainsi que les bénéfices sociétaux,
- un plan d'action,
- des indicateurs permettant de mesurer que les objectifs auront été atteints.

Aucune autre contrainte n'a été imposée, ce qui explique que les challenges sont relativement hétérogènes : certains sont assez généraux, d'autres plus spécifiques. Cette diversité est représentative de la pluridisciplinarité de la communauté ayant participé aux ORPHÉE-RDV. Il est intéressant de noter que les participants n'avaient, pour beaucoup d'entre eux, jamais eu l'occasion de travailler ensemble. Certaines régularités sont cependant observables concernant les actions identifiées dans les challenges :

- Faire des diagnostics ou des cartographies pour garantir de disposer d'une vision systémique de l'existant.
- Développer des systèmes de capitalisation, échange, partage, adaptation des données utilisées ou produites dans les contextes d'utilisation pour servir les objectifs de formation, mais aussi des données de la recherche, en particulier concernant les traces d'observation (small et big data) et les analyses produites, pour améliorer l'efficacité des chercheurs autour de ces questions et rendre possible des analyses globales des contextes.
- Centrer les recherches sur les utilisateurs - apprenants, enseignants, collaborateurs dans les entreprises - et ainsi favoriser des résultats empiriquement construits et validés.
- Formuler des cadres théoriques unifiés sur des questions liées à l'éducation, en particulier concernant les processus sociaux et cognitifs (assistés ou non par les technologies) et les méthodes d'évaluation, les processus qualité et les indicateurs.

Les ORPHÉE-RDV ont ainsi rempli leur objectif de structuration du réseau des acteurs de la éducation de plusieurs manières : en faisant collaborer et discuter des acteurs issus de mondes différents, en identifiant des thématiques de recherche partagées et en formalisant des éléments de méthodes de travail transversaux aux disciplines et aux contextes d'application. La route est encore longue pour réaliser ces objectifs, mais quelques pierres ont été posées à Font-Romeu.

## **2. Comment créer des environnements d'apprentissage formels, non formels, informels au service des apprenants pour accroître leur pouvoir d'agir ?**

Ce grand challenge a été rédigé par Jean-Marie Gilliot, Marc Nagels, Marie-Hélène Abel, Laurie Acensio, Nathalie Alglave, Serge Garlatti, Nathalie Guin, Christine Michel et Fatiha Tali à l'issue de l'atelier "L'apprenant, acteur principal de son parcours tout au long de sa vie"<sup>3</sup>, organisé par Jean-Marie Gilliot et Marc Nagels.

### **2.1. Description et principaux objectifs**

La société contemporaine est caractérisée par une forte évolutivité qui permet, et contraint, les personnes à de nombreux changements en termes d'emplois, projets ou objectifs de vie à moyen ou long terme. L'Apprentissage Tout au Long de la Vie (ATLV) vise à proposer des moyens pour apprendre régulièrement, acquérir de nouvelles compétences pour s'adapter et se développer aux plans cognitifs, affectifs et sociaux. Il est réalisé dans des cadres formels, mais aussi dans des contextes informels. Pour en tirer parti, les personnes doivent développer une capacité d'action, c'est-à-dire un pouvoir d'agir sur leurs environnements au sens de (Rabardel, 2005). Le pouvoir d'agir est, pour une part, dépendant de la capacité individuelle d'agir et surtout, d'autre part, des opportunités qu'il est possible de saisir in situ. La capacité individuelle d'agir est fortement liée au sentiment d'efficacité personnelle, définie par (Bandura, 2003) comme "la croyance en la capacité d'un individu d'organiser et d'exécuter la ligne de conduite requise pour produire des résultats souhaités". Elle est aussi liée à la mise à disposition de ressources adéquates permettant aux personnes apprenantes de transformer leur environnement et, par voie de conséquence, de se transformer elles-mêmes. Le challenge dans ce contexte consiste donc à définir des moyens directs et indirects permettant de développer l'auto-efficacité des apprenants, sur un plan individuel et collectif (Nagels, 2011), et plus globalement ce pouvoir d'agir.

### **2.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfices**

Les limites et verrous actuels des propositions éducatives sont liés à l'aspect fragmenté (par âge, moyen de financement, établissement ou organisation ...) des moyens proposés alors qu'ils devraient pouvoir être rendus accessibles, de manière transversale ou personnalisée, directement aux personnes souhaitant se former ou évoluer. Quelques actions vont dans ce sens, par exemple structurer les offres de formation par compétences et développer l'usage des outils de gestion des emplois en compétences, mettre en place un compte personnel d'activité, développer les auto-formations en ligne (MOOC ou tutoriels) centrées sur l'activité professionnelle ou le développement personnel, agir sur le niveau d'ouverture des formations pour stimuler l'engagement (Jézégou, 2005), développer les stratégies numériques de type sociales ou ludiques pour la formation ou celles permettant la capitalisation personnelle des compétences, comme les portfolios. Ces actions restent

---

<sup>3</sup> <https://aapptlv.wordpress.com/>

limitées car peu harmonisées sur la base de référentiels communs, pas pérennisées sur la durée d'une vie et souvent exclusivement orientées vers la formation formelle (Carré, 2005). Une autre limite est le manque de formation visant à développer le pouvoir d'agir, la proactivité et la gestion autonome de ses formations et de son parcours de vie.

Les bénéfices possibles liés au développement de l'ATLV se situent à différents niveaux :

- au niveau macro (un pays ou une communauté de pays comme l'Europe) par une plus grande employabilité des personnes et des moyens pour agir et co-construire la société post-moderne ;
- au niveau méso (entreprise, organisme de formation) par une plus grande adaptabilité et capacité d'innovation en particulier dans le renouvellement des moyens d'apprendre et des offres de formations ;
- au niveau micro (les personnes), par le développement de capacités réelles de choix et de changement dans leurs parcours de vie.

### **2.3. Description des activités à mettre en œuvre**

Les actions que nous recommandons de mener concernent :

- A0 : Une première évaluation diagnostique. Une première évaluation diagnostique viserait à répondre aux questions suivantes en fonction de trois niveaux : sociétaux, organisationnels et individuels (i.e. macro, méso et micro). Au niveau macro : quels dispositifs institutionnels existent déjà et pourraient participer de cette démarche ? Au niveau méso : quelles ressources sont privilégiées par les différents acteurs (école, entreprise, personne) et peuvent venir enrichir la démarche ? Au niveau micro : sur quelles compétences et dispositifs peut-on s'appuyer pour développer le sentiment d'auto-efficacité et l'autorégulation ? Quels types de profils de personnes nécessitent un accompagnement plus proximal ?
- A1 : La conception d'outils et de dispositifs de support à l'apprentissage autorégulé. Cette action se matérialise par exemple par la conception d'outils d'exploration, de partage et de recommandation de parcours de vie, d'offres de formation, de réseaux de personnes ou de communautés de pratiques. Ils intègrent aussi tous les outils et démarches d'évaluation des compétences.
- A2 : La conception de nouvelles ressources ou formes pédagogiques de formation et d'auto-formation, visant à développer des capacités de pouvoir d'agir et d'autorégulation, mais aussi toute autre forme de compétences cognitives, émotionnelles ou sociales tant au plan professionnel que personnel (Nagels, 2011). Les ressources à développer peuvent être de nature variée ; proposées de manière unitaire, dans le cadre d'une formation ou d'un dispositif adapté à un secteur d'activité, pour une tranche d'âge ou une catégorie de population ; applicables pour de l'apprentissage formel, non formel ou informel, réalisées en présence ou à distance, individuellement ou collectivement. L'objectif est ici de faire émerger une pluralité de moyens.

- A3 : L'adaptation et le déploiement de ces outils dans les écoles, les entreprises, les bibliothèques, les musées ou directement pour le grand public selon des démarches de conception participative.
- A4 : L'étude des pratiques émergentes et l'évaluation de leur efficacité.

Les déploiements (A3 - A4) doivent être menés dans des contextes d'application variés et réels, et sur des profils de personnes apprenantes différents, de manière à comprendre la validité des propositions faites dans les actions A1 et A2, et à mesurer la capacité d'acceptation et d'appropriation par les différents publics et organisations. L'étude des déploiements doit permettre d'opérer d'éventuelles reconceptions sur les dispositifs et les outils, et d'analyser l'impact des nouvelles pratiques ou innovations pédagogiques émergentes au niveau micro, méso et macro.

## 2.4. Indicateurs de succès

Niveau micro : le nombre de personnes engagées dans l'autorégulation de leurs apprentissages, la hausse du niveau d'auto-efficacité. La perspective générale est celle de l'émancipation des personnes.

Niveau méso : le nombre de nouvelles formations créées, de ressources (numériques ou non) effectivement utilisées (utilité, utilisabilité, acceptabilité), la forme de ces nouveaux usages et leur impact sur ces dynamiques de développement, par exemple en termes de reconversions professionnelles.

Niveau macro : le niveau de développement d'une "société apprenante" : (n1) développements et adaptations individuelles ; (n2) constitutions de collectifs ou dispositifs distribués (numériques ou non) de types sociaux et informationnels pour la capitalisation des savoirs, connaissances et compétences ; (n3) émergence de nouvelles règles d'adaptation et d'auto-adaptation de la société basées sur les compétences et l'innovation (nouveaux métiers, nouveaux loisirs, nouvelles formes de valorisations économiques liées au capital immatériel dans les domaines de la culture, ou des sciences et techniques).

## 3. Aide à la gestion de l'hétérogénéité dans un groupe d'apprenants accompagné par un enseignant tuteur

Ce grand challenge a été rédigé par Chihabeddine Bouchenaki, Yolaine Bourda, Ronan Champagnat, Nathalie Colombier, Cyrille Desmoulins, Sébastien Jolivet, Marie Lefevre, Jean-Charles Marty, Baptiste Monterrat et Laurent Polèse à l'issue de l'atelier "Personnalisation et adaptation dans les environnements d'apprentissage : un regard interdisciplinaire sur les perspectives de recherche"<sup>4</sup>, organisé par Marie Lefevre et Gaëlle Molinari.

### 3.1. Description et principaux objectifs

La personnalisation de l'apprentissage est cruciale afin de favoriser un apprentissage effectif, actif, efficace et satisfaisant (Kravcik, Santos, Boticario, Bielikova, & Horvath, 2015). Mettre

---

<sup>4</sup> <https://orpheerdyverso.wordpress.com/>

en place une personnalisation est une tâche complexe, et lorsqu'elle est mise en place par les équipes enseignantes, cette tâche est chronophage. Par ailleurs, l'apprentissage ne se fait plus uniquement dans un contexte scolaire classique. Celui-ci est complété par un apprentissage autonome, qui peut prendre la forme, pour les élèves de l'enseignement primaire et secondaire, de soutien scolaire.

Dans ce contexte, le Grand Challenge que nous avons identifié concerne la problématique de l'assistance à l'enseignant pour la gestion de l'hétérogénéité de ses apprenants lors de leur apprentissage, aussi bien au sein de la classe que lors de leur prolongement hors la classe.

La condition *sine qua non* à une personnalisation de l'apprentissage est une modélisation pertinente de l'apprenant. En utilisant l'analyse des traces d'interaction des apprenants (projet HUBBLE<sup>5</sup>), des informations précises sur les apprenants concernant ses connaissances, ses compétences, ses savoir-faire sont regroupés dans un *modèle de l'apprenant* (Self, 1990). Ces informations peuvent ensuite être exploitées pour proposer des ressources et des parcours d'apprentissage personnalisés. Cette recommandation de ressources pédagogiques (exercices, cours, vidéos, logiciel...) nécessite de pouvoir les choisir en fonction de leurs caractéristiques, et notamment de pouvoir les relier à des objectifs pédagogiques et d'identifier les variables didactiques mises en jeu permettant de les adapter à l'activité qui sera construite avec ces ressources.

De nombreux travaux ont été proposés pour modéliser les apprenants, pour capturer les informations qui les concernent (projet HUBBLE), pour définir des référentiels de compétences et des ressources pédagogiques associées (Chaachoua & Desmoulin, 2014) et enfin définir des stratégies pédagogiques (Lefevre et al., 2012) et des systèmes de recommandation (Chan, Roussanaly, & Boyer, 2009) permettant de mettre en place cette personnalisation.

Néanmoins, de nombreuses questions restent en suspens : Comment intégrer au mieux les équipes enseignantes afin de leur proposer des solutions qui les assistent lors de la mise en place de la personnalisation ? Comment rendre les ressources pédagogiques existantes plus accessibles aux enseignants, et donc, comment mettre en place une interopérabilité et une indexation des ressources pertinentes de leur point de vue mais également du point de vue des programmes d'enseignement officiel (qui varient dans le temps) ? Comment combiner les traces issues de diverses ressources et l'observation des apprenants par les enseignants afin d'avoir une vue plus pertinente et complète d'un apprenant ? Comment considérer l'apprenant dans son ensemble, en prenant en compte ses connaissances, ses compétences mais également ses besoins, son comportement, ses états affectifs ? Comment proposer des tableaux de bord permettant aux enseignants de prendre en compte cette diversité ? Comment prendre en compte les situations changeantes dans lequel l'apprenant se trouve lors de son apprentissage (apprentissage en autonomie, ubiquitaire et informel) ?

---

<sup>5</sup> <http://hubblelearn.imag.fr/>



### **3.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfiques**

Fournir des réponses à ces différentes questions permettrait de proposer des outils de personnalisation qui prendraient en compte les apprenants dans toute leur diversité et dans toutes leurs inclusions, et améliorer ainsi les situations d'apprentissage. De plus, si les enseignants s'approprient ces outils qui gèrent à leur place la diversité des apprenants, cela leur permettrait de libérer du temps pour se concentrer sur leur mission principale qui est l'accompagnement des apprenants et permettrait de mettre en place une continuité pédagogique et éducative entre les séances d'apprentissage qui se déroulent en classe et celles qui ont lieu en dehors du cadre scolaire.

### **3.3. Description des activités à mettre en œuvre**

Activité 1 - Qualification des ressources pédagogiques : indexation des ressources existantes selon leur contenu didactique, leurs objectifs pédagogiques, leur qualité, etc. ; création de nouvelles ressources indexées via l'utilisation de générateurs d'exercices pertinents.

Activité 2 - Modélisation de l'apprenant dans toutes ses dimensions : prise en compte des traces d'interaction des apprenants avec les ressources numériques mais également des observations des enseignants pour définir des profils d'apprenant pertinents ; identification de l'engagement et de l'état émotionnel des apprenants grâce à l'ensemble de ces informations ; proposition de personnalisations relatives aux connaissances, compétences et savoir-faire des apprenants mais également à ses dimensions affectives.

Activité 3 - Modélisation de la situation pédagogique : prise en compte des besoins des enseignants sur leurs objectifs pédagogiques et la didactique de la discipline concernée ; prise en compte du contexte : séance de travail en classe ou chez soi, encadrée ou en autonomie... ; prise en compte du temps : comment personnaliser à la fois l'apprentissage des élèves sans besoin spécifique et celui des élèves avec beaucoup de besoins ? et donc priorisation des notions d'apprentissage selon leurs prérequis, selon l'objectif ponctuel de l'enseignant...

Activité 4 - Modélisation de la personnalisation : proposition d'outils pour permettre aux enseignants de scénariser les séances de travail a priori et/ou d'orchestrer les séances lors de leur exécution ; proposition d'algorithmes de personnalisation pertinents répondant au besoin de chaque enseignant.

Activité 5 - Explication des choix du système : savoir expliquer les choix de personnalisation à l'enseignant et lui permettre d'agir sur ces choix, et d'avoir un feedback immédiat sur ses actions ; savoir expliquer les choix de personnalisation à l'apprenant pour lui permettre d'avoir une activité réflexive sur son apprentissage et ainsi devenir acteur de celui-ci.

### **3.4. Indicateurs de succès**

Les objectifs fixés seront atteints lorsque nous aurons (1) défini une norme ou un format d'échange concernant les traces d'observation de l'apprenant et concernant les ressources pédagogiques ; (2) proposé des recommandations sur la manière de modéliser l'apprenant dans toutes ses dimensions et de prendre en compte ces dimensions dans le processus de personnalisation ; et enfin (3) fourni une première plateforme, instanciant l'ensemble de l'approche, qui sera utilisée effectivement par quelques équipes pédagogiques "pilotes". Ainsi, nos résultats seront validés si nous pouvons observer une co-évolution du couple enseignant-système montrant une acceptation et une appropriation des outils.

Un premier risque pour ce grand challenge concerne les prérequis à sa mise en œuvre. Nous devons avoir un référentiel de compétences commun et accepté par tous les acteurs (enseignants, éducation nationale, entreprises) pour indexer les ressources pédagogiques. Il faudrait également, en plus de la formation des enseignants aux outils numériques, mettre en place un dispositif d'accompagnement permanent des enseignants. Le second risque concerne la disponibilité des dispositifs numériques (ordinateurs, tablettes...) et la qualité des services numériques (wifi...) nécessaires à la proposition d'une personnalisation riche et réactive.

## **4. Outils pour le suivi de groupes dans une formation à distance**

Ce grand challenge a été rédigé par Gaëlle Molinari, Carolina Garcia-Moreno, Isabelle Girault et Azim Roussanaly à l'issue de l'atelier "Personnalisation et adaptation dans les environnements d'apprentissage : un regard interdisciplinaire sur les perspectives de recherche"<sup>6</sup>, organisé par Marie Lefevre et Gaëlle Molinari.

### **4.1. Description et principaux objectifs**

Le travail de groupe, de par les bénéfices qu'il apporte sur l'apprentissage, est une méthode pédagogique de plus en plus encouragée dans différents contextes d'éducation (en classe comme dans les formations à distance). Fréquemment, le travail de groupe est mis en œuvre dans les situations d'apprentissage par projet (Johnson & Johnson, 2002), situations dans lesquelles les enseignants sont amenés à suivre les projets de groupe sur une longue période. Actuellement, les outils technologiques disponibles ne répondent pas aux besoins des enseignants en termes de suivi de groupe (Zumbach, Reimann, & Koch, 2006). Ces besoins sont d'être capables de caractériser non seulement la dynamique du groupe mais également la façon de travailler de chaque membre au sein du groupe (l'unité d'analyse pour le diagnostic et le suivi étant alors soit le groupe, soit l'individu). Il s'agit notamment d'identifier les difficultés rencontrées tant sur le plan cognitif que sur le plan relationnel (Molinari, Avry, & Chanel, 2017) pour proposer des recommandations adaptées.

---

<sup>6</sup> <https://orpheerdiverso.wordpress.com/>

#### **4.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfiques**

Le soutien au suivi de groupe va permettre de maintenir l'engagement mutuel des apprenants à mener à bien leur projet commun. L'objectif est également de favoriser la réussite individuelle des apprenants impliqués dans le travail de groupe. Un bon suivi de groupe peut avoir des impacts positifs aussi bien sur les développements des connaissances disciplinaires que sur l'acquisition de compétences transversales comme les compétences interpersonnelles et socio-émotionnelles (Reiser, 2002).

#### **4.3. Description des activités à mettre en œuvre**

La visée est de développer trois types d'outils favorisant le suivi de groupe : un tableau de bord pour les enseignants, de la prescription automatique (plus ou moins sous contrôle de l'enseignant) aux apprenants en situation de groupe, et un baromètre permettant aux apprenants de se positionner dans le groupe (Sclater N., Peasgood A., 2016).

Activité 1 - Dans le tableau de bord de l'enseignant, on peut avoir différents niveaux d'indicateurs : un indicateur d'alerte (issu d'un diagnostic global basé sur les traces, par exemple, le degré d'asymétrie (Barnier, 2001) en termes d'activité de chaque individu dans le groupe) qui va permettre aux enseignants d'identifier rapidement un groupe en difficulté (d'ordre relationnel ou cognitif (Roux, 2004)), et des indicateurs qui vont aider l'enseignant à faire une analyse plus approfondie de la situation problématique dans laquelle se trouve le groupe.

Activité 2 - La prescription automatique peut être caractérisée comme un ensemble de ressources (terme pris au sens large) susceptibles d'aider le groupe d'apprenants ou l'apprenant dans le groupe à atteindre ses objectifs (Manouselis, Drachsler, Verbert, & Duval, 2013). En d'autres termes, la prescription concerne soit le groupe considéré comme une entité à part entière, soit les individus au sein du groupe. Les MOOCs et la formation massive peuvent être des lieux privilégiés pour la prescription automatique (Henri, 2014). La prescription automatique peut concerner des comportements au sein du groupe, ce qui sous-tend la construction d'un modèle de comportements qui va se nourrir des données issues de la littérature scientifique et des enseignants.

Activité 3 - Le baromètre permet à l'apprenant de se situer sur différents niveaux (difficultés cognitives, relations avec les autres apprenants, engagement, émotions, etc.) ; c'est une forme d'autodiagnostic. L'apprenant aura connaissance du diagnostic effectué grâce aux traces mais à ce stade, aucune prescription n'est proposée aux apprenants.

#### **4.4. Indicateurs de succès**

Pour démontrer que les objectifs fixés auront été atteints, il faudra faire une analyse d'usage des trois outils en situation réelle, sur la période du suivi du projet de groupe, et ainsi identifier :

- si ces outils répondent aux besoins des utilisateurs (enseignants et apprenants) ;
- si les utilisateurs perçoivent ces outils comme faciles à utiliser et utiles ;

- s'ils les ont intégrés dans leur pratique ;
- l'impact positif de ces outils sur la qualité des processus (cognitifs, relationnels) de la collaboration, sur la performance du groupe vis-à-vis de la qualité de la production (par exemple, note obtenue au rapport) ou encore sur les connaissances académiques et les compétences transversales (collaboratives, socio-émotionnelles) acquises par chaque membre du groupe à l'issue de la collaboration.

Un risque est la non disponibilité des données (interopérabilité, confidentialité). Par ailleurs, le développement des outils proposés repose sur la capacité à établir des parcours différenciés et sur l'accès à une diversité suffisante d'activités de groupe. La difficulté réside enfin dans la capacité du système à faire un diagnostic de l'évolution de la dynamique du groupe ainsi que des fluctuations en termes d'engagement de chaque individu pendant toute la durée du travail de groupe.

## **5. Portfolio dans la formation tout au long de la vie**

Ce grand challenge a été rédigé par Mohammed Baidada, Simon Carolan, Nour El Mawas, Franck Poirier et Mourad Rabah à l'issue de l'atelier "Personnalisation et adaptation dans les environnements d'apprentissage : un regard interdisciplinaire sur les perspectives de recherche"<sup>7</sup>, organisé par Marie Lefevre et Gaëlle Molinari.

### **5.1. Description et principaux objectifs**

Chaque personne devrait avoir la possibilité d'apprendre tout au long de sa vie afin d'acquérir les connaissances et les compétences nécessaires pour réaliser ses aspirations et contribuer à la société (Forum mondial sur l'éducation). Dans son rapport sur la stratégie de l'éducation 2014-2021 (Stratégie de l'UNESCO pour l'éducation 2014-2021<sup>8</sup>), l'UNESCO stipule que l'un des objectifs stratégiques de la fin de la décennie est le développement de systèmes éducatifs favorisant un tel apprentissage, à la fois inclusif et de qualité. Dans ce contexte, se pose la question cruciale du suivi et de l'agrégation des compétences de chaque apprenant, accompagnant son développement personnel tout au long de sa vie : comment permettre à un apprenant d'avoir et de présenter l'ensemble de ses compétences et comment permettre aux diverses institutions concernées (centres de formation, employeurs...) d'y accéder totalement ou partiellement pour les consulter ou pour les mettre à jour ?

Ainsi, on peut formuler l'objectif général de ce grand challenge comme étant la facilitation d'accès aux compétences d'un apprenant, d'une manière unifiée et pendant toute sa vie. Pour y parvenir, nous nous penchons sur la notion de portfolio électronique ou ePortfolio, dont le but est de regrouper sous forme numérique l'ensemble des preuves des compétences acquises par un apprenant. Le ePortfolio, déjà préconisé par de nombreuses études comme prometteur pour le développement et la valorisation de l'apprenant

---

<sup>7</sup> <https://orpheerdivperso.wordpress.com/>

<sup>8</sup> <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002312/231288f.pdf>

(Cambridge, 2010), peut-être vu comme une collection d'éléments divers reflétant les efforts, les progrès et les réalisations d'une personne. Il représente une fenêtre publique pour mettre en valeur les réalisations personnelles. Il existe de nombreux avantages à avoir un ePortfolio, par exemple une communication facilitée et une source d'évaluation des compétences pour les formateurs et d'éventuels employeurs.

Parmi les outils existants, on peut notamment citer Lorfolio<sup>9</sup> qui propose à chaque résident du territoire Grand-Est de valoriser son parcours vis à vis des futurs employeurs. Toutefois, cette initiative est sous-exploitée et au cours de 6 ans d'existence, moins de 1000 profils ont été remplis pour un bassin d'environ 5,5 millions d'habitants. Plusieurs raisons expliquent le manque d'appétence pour ces outils (Kimball, 2005). Premièrement, il est nécessaire d'accompagner les usagers dans l'élicitation de leurs compétences. Deuxièmement, les outils sont axés sur la valorisation et non sur le développement personnel. Troisièmement, les outils ne permettent pas aux usagers de valider les compétences acquises hors les cadres formels de l'éducation et de l'emploi. Enfin, les différents outils ne sont pas interopérables avec les systèmes existants et ne mettent pas forcément le contrôle des données entre les mains des usagers.

Pour répondre à ces problématiques, nous souhaitons étendre la notion de ePortfolio à toutes les compétences acquises tout au long de la vie et permettre de le connecter aux diverses entités nécessitant d'y accéder à travers des formats d'échanges ouverts.

## **5.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfices**

Dans un souci de formation tout au long de la vie, le développement d'un ePortfolio "intelligent", capable d'aider les apprenants à prendre connaissance des compétences acquises au cours de leurs parcours éducatifs, professionnels et personnels, de faire des recommandations aux usagers en fonction de leur situation et de permettre aux usagers de faire valoir leurs compétences auprès des institutions et des employeurs, permettra les avancées sociétales suivantes : (1) prendre en compte la personnalisation grandissante des parcours éducatifs et la multiplicité de canaux de formation formels (école, université, institution) et informels (lieu de travail, MOOC, associations, musées...); (2) avoir un dossier unifié contenant les éléments représentatifs de l'accomplissement de compétences obtenues et que l'on peut faire valoir auprès des différentes structures et personnaliser en fonction du résultat escompté ; (3) passer de la simple reconnaissance du diplôme à la reconnaissance du diplôme et des compétences acquises pour faciliter ainsi les évaluations, les accréditations et les certifications additionnelles ; (4) donner une vision plus complète à l'apprenant de ses propres compétences et lui permettre de prendre des décisions quant au développement et à la valorisation de ses savoirs ; et (5) faire des recommandations à l'apprenant en fonction des données du portfolio pour qu'il puisse accéder à d'autres formations et ainsi compléter ses compétences en fonction de son projet personnel.

---

<sup>9</sup> <http://www.lorfolio.fr>

### 5.3. Description des activités à mettre en œuvre

Le développement de ce projet nécessite six grandes étapes. Il sera nécessaire de maintenir une vigilance particulière sur le fait d'intégrer les parties prenantes à chaque étape dans un souci de co-construction.

Activité 1 - Sensibiliser et promouvoir. Comme l'e-portfolio est relativement sous-développé et sous-exploité, il sera nécessaire de sensibiliser les parties prenantes comme les usagers pour qu'ils comprennent l'intérêt du portfolio pour le développement personnel et l'importance de personnaliser l'affichage du portfolio en fonction de la situation.

Activité 2 - Développer une architecture technique et fonctionnelle. Ce projet comprend plusieurs difficultés au niveau de la gestion des données. Les données sur les compétences des usagers proviennent de sources multiples et variées dont des appareils connectés (Notari, Sobko, & Churchill, 2016) qu'il sera nécessaire de centraliser, normaliser et structurer afin de permettre une vue aussi complète que possible de la situation de l'apprenant et une personnalisation de la présentation des compétences de cet usager.

Activité 3 - Expérimenter à petite échelle. Avant de procéder à la mise en production, il sera nécessaire de tester la solution et de recueillir les retours d'un groupe témoin d'usagers afin d'améliorer la solution proposée dans un souci de co-construction et pour favoriser la durabilité de la solution.

Activité 4 - Mise en production. Elle comprendra trois grandes phases de développement : (1) collecte et mise en forme automatique des données pour faciliter la prise en main du système ; (2) développement d'un système qui fonctionne en ligne et en local qui donnera à l'utilisateur un plus grand contrôle de ses données ; (3) création d'une interface qui permettra à l'utilisateur de facilement personnaliser l'affichage des données qu'il souhaite diffuser.

Activité 5 - Promotion *a posteriori*. Pour garantir une utilisation large de l'outil, il sera nécessaire d'accompagner le déploiement de la solution auprès des acteurs (usagers, enseignants, chercheurs, industriels et partenaires sociaux) et de communiquer sur les potentialités de l'outil pour accompagner le développement humain (valorisation des compétences existantes, mise en place d'un projet de formation, préparation à un examen...).

Activité 6 - Valorisation du portfolio et des services inhérents. Le système de recommandation permettra aux utilisateurs de savoir comment ils peuvent compléter leurs compétences par des actions de formation pour réaliser leur projet personnel. Un système de prédiction analysera l'aptitude de l'apprenant à atteindre une telle compétence. Il sera nécessaire de valoriser ces fonctionnalités et de percevoir et de promouvoir un système suffisamment ouvert pour permettre à la communauté d'enrichir l'outil.

## 5.4. Indicateurs de succès

Le projet comprend un nombre d'indicateurs quantitatifs comme : (1) l'importance des lettres d'intention, des subventions, de la communauté impliquée, des publications réalisées ; (2) la vitesse de déploiement (en termes d'institutions, d'usagers, de pays) et autres statistiques d'utilisation ; (3) le nombre de projets et services construits autour du portfolio. Il comprend également des indicateurs qualitatifs comme les résultats des questionnaires de satisfaction ou la pertinence de la solution.

Par ailleurs, pour garantir des indicateurs de succès forts, il est nécessaire d'être vigilant sur un certain nombre de points. Il faut pouvoir : (1) contrôler l'accès aux données d'un point de vue technique, politique, éthique et confidentialité ; (2) sauvegarder les données de manière pérenne tout en permettant un droit à l'oubli ; (3) garantir l'authenticité et l'intégrité des données ; (4) incorporer les parties prenantes dans la conception dans un souci de co-construction ; (5) veiller à l'acceptation du dispositif par les utilisateurs et les institutions ; (6) garantir le co-financement du dispositif ; (7) s'assurer de la normalisation des données et des modèles très hétérogènes et (8) valoriser et promouvoir le dispositif à l'international.

## 6. L'informatique au service de la démocratisation des enseignements fondés sur l'évaluation formative

Ce grand challenge a été rédigé par Franck Silvestre, Michel Joseph, Philippe Dessus, Jean-François Parmentier, Lionel Poujet, Issam Rebai, John Tranier à l'issue de l'atelier "L'évaluation formative pratiquée en classe ou en amphithéâtre"<sup>10</sup>, organisé par Franck Silvestre, Franck Amadiou et Michel Joseph.

### 6.1. Description et principaux objectifs

L'OCDE<sup>11</sup> indique que la France doit faire face à différents défis afin d'améliorer son système éducatif, notamment le développement de pratiques pédagogiques prenant en compte les particularités de chaque apprenant.

De nombreuses recherches démontrent l'efficacité de l'évaluation formative pour relever ce défi (Black & William, 2009). « L'évaluation formative se réfère aux processus collaboratifs mis en œuvre par les éducateurs et les étudiants dans le but de comprendre l'apprentissage et l'organisation conceptuelle des élèves, l'identification des points forts, le diagnostic des faiblesses, les domaines d'amélioration, et comme une source d'information que les enseignants peuvent utiliser pour la planification pédagogique et que les étudiants peuvent utiliser pour approfondir leur compréhension et l'amélioration de leur performance. » ((Cizek, 2010), p.6). Cependant, sa mise en œuvre est complexe, chronophage et non applicable sans assistance technologique dans des contextes d'enseignement de masse. Ainsi, elle est souvent pratiquée de manière informelle et

---

<sup>10</sup> <https://evaluationformative.wordpress.com/>

<sup>11</sup> <http://www.oecd.org/fr/france/PISA-2015-Brochure-France.pdf>

approximative, si bien qu'il est difficile d'en mesurer l'efficacité (Andersson & Palm, 2017; Herman, Osmundson, Ayala, & Timms, 2006).

Dès lors, ce Grand Challenge vise à répondre à la question suivante : comment l'informatique peut-elle aider à concevoir, mettre en œuvre et démocratiser les enseignements fondés sur l'évaluation formative ? Les questions scientifiques sous-jacentes sont relatives au rôle, à la nature, à la conception ainsi qu'à l'évaluation des technologies informatiques comme soutien à l'évaluation formative.

## **6.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfiques**

La capacité des étudiants à auto-évaluer avec exactitude l'état de leurs connaissances actuelles et l'efficacité de leurs méthodes de travail est cruciale pour une régulation optimale de leurs apprentissages (Dunlosky & Rawson, 2012). Cependant, la recherche montre que cette estimation est souvent imprécise (Dunlosky & Nelson, 1994). Par conséquent, les étudiants ne peuvent pas s'autoréguler efficacement et ont besoin d'un feedback externe pour y arriver. Toutefois, face à l'augmentation des effectifs, il devient de plus en plus difficile pour les enseignants d'établir des diagnostics exhaustifs et individuels. En prenant en charge ce diagnostic, les outils informatiques peuvent faciliter la mise en œuvre de l'évaluation formative et apporter différents bénéfices au système éducatif :

- l'optimisation de la charge de travail des enseignants ;
- le développement des habiletés d'autorégulation des apprenants ;
- la promotion de l'utilisation des stratégies d'apprentissage en profondeur ;
- le renforcement et le maintien de la motivation des apprenants.

## **6.3. Description des activités à mettre en œuvre**

Les activités principales nécessaires à la résolution du Grand Challenge s'inscrivent dans trois axes :

- La conception, le développement et l'intégration des technologies permettant ou facilitant la conception, la mise en œuvre et la démocratisation des enseignements fondés sur l'évaluation formative. Ces activités pourront s'appuyer sur l'apport des technologies existantes telles que Tsaap-Notes (Silvestre, Vidal, & Broisin, 2015) s'inscrivant dans les objectifs du Grand Challenge. Afin d'augmenter les chances d'appropriation par le plus grand nombre des usagers, les activités de conception devront privilégier une approche centrée utilisateurs.
- Le déploiement des technologies comprenant la formation et l'accompagnement en vue d'un essaimage maximal au sein de la communauté des praticiens. La clarification épistémologique et la création d'une culture commune autour de l'évaluation formative apparaissent comme une condition requise à la démocratisation des pratiques.
- Les activités de mesure, de suivi et d'analyse. Ces activités transversales permettront les ajustements tout au long du projet afin de maximiser les résultats attendus. Ces activités devront mener à des publications scientifiques.



#### 6.4. Indicateurs de succès

Les indicateurs de succès se déclinent selon les trois axes d'activités :

- Le nombre et la qualité des outils informatiques résultant des activités de conception, développement et d'intégration.
- Le nombre d'établissements, d'institutions, de praticiens et d'élèves concernés par les activités de déploiement. Les indicateurs de progression sur les résultats d'apprentissage, de progression sur la connaissance des apprenants par les enseignants ainsi que de progression sur les capacités d'autorégulation des apprenants. Le recul des pratiques d'évaluation sur les notes au profit de l'évaluation formative favorisant un feedback utile à l'apprentissage.
- Le nombre et la qualité des publications scientifiques.

### 7. Traces numériques d'interaction, un nouveau paradigme méthodologique pour la recherche en e.Éducation et e.Formation ?

Ce grand challenge a été rédigé par Éric Sanchez et Vanda Luengo à l'issue de l'atelier "Méthodologies et outils pour le recueil, l'analyse et la visualisation de traces numériques d'interaction"<sup>12</sup> qui a réuni 17 chercheurs<sup>13</sup> autour d'un défi portant sur l'analyse d'un jeu de traces collectées dans le cadre de l'expérimentation de Tamagocours, un jeu en ligne multi-joueurs (Sanchez, Emin-Martinez, & Mandran, 2015). Le travail qui a été mené lors de cet atelier a permis d'identifier que les méthodologies de recherche fondées sur le recueil, l'analyse et la visualisation de traces numériques d'interaction constituent des opportunités mais également des défis à relever pour la communauté des chercheurs en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain.

L'émergence d'un paradigme méthodologique basé sur l'exploitation des traces d'interaction est donc un défi majeur pour cette communauté. Ce grand challenge vise à pointer les problèmes à résoudre et à esquisser un programme de travail susceptible de permettre cette émergence.

Rappelons que l'analyse et la visualisation de traces numériques d'interaction est un champ en émergence représenté par deux communautés : Educational Data Mining (EDM) et Learning Analytics (LAK). Tandis que la communauté EDM s'intéresse à l'analyse d'une grande quantité de données afin d'extraire de manière automatique des patterns signifiants, la communauté LAK vise à outiller l'analyste avec des données et des outils adaptés pour comprendre le processus d'apprentissage (Siemens & Baker, 2012).

---

<sup>12</sup> <https://analysedestracess.wordpress.com/>

<sup>13</sup> Alain Mille, Nadine Mandran, Rémi Casado, Béatrice Fuchs, Sébastien Iksal, Slouma Maher, Alexis Lebis, Laëtitia Pierrot, Philippe Daubias, Antoine Pigeau, Louis Galindo, Guillaume Bonvin, Aurélien Nguyen et Valérie Fontanieu.

## 7.1. Description et principaux objectifs

La formalisation d'un paradigme méthodologique autour de la collecte et de l'analyse des traces numériques d'interaction est un défi en raison de la nature même du processus d'apprentissage.

En particulier, en situation d'apprentissage, l'erreur possède un statut singulier qui est différent du statut qu'elle occupe pour d'autres activités humaines. C'est un point de passage obligé qui ne traduit pas un manque mais plutôt un trop plein de connaissances erronées qui font obstacle à l'apprentissage. De plus, par définition, l'apprentissage se traduit par une évolution de l'état cognitif du sujet. Les caractéristiques de ce sujet apprenant évoluent au cours du temps et cela complique le processus d'analyse. Par ailleurs, une autre difficulté est liée au fait que l'apprentissage résulte d'interactions entre un sujet et le système informatique qu'il utilise pour apprendre. Pour comprendre le processus il est donc nécessaire de tracer le sujet apprenant mais également le système avec lequel il apprend et dont l'état varie également au cours du temps.

L'atelier a permis de pointer trois catégories de problèmes dont la communauté EIAH devrait se saisir :

- La première catégorie concerne les données et les méthodes de collecte, d'analyse et de visualisation. Il est nécessaire d'inscrire ces méthodes dans un processus qualité, d'assurer les conditions de leur capitalisation et de leur réemploi.
- La seconde catégorie concerne la question des ancrages épistémologiques. Les problématiques et question de recherche travaillées doivent être explicites et renvoyer à des modèles théoriques qui guident la conception des dispositifs et l'analyse de leurs usages.
- Les usages des résultats des travaux de recherche ainsi que les questions éthiques constituent la troisième catégorie de problèmes à prendre en compte. Les questions éthiques devraient être prises en compte durant l'ensemble du processus de recherche et rendues visibles dans les publications.

Des échanges qui ont eu lieu lors de l'atelier, a émergé une question plus transversale qui est celle de la place de l'utilisateur (apprenant ou enseignant) pour répondre à ces problèmes. Un consensus fort s'est cristallisé autour de l'idée que l'utilisateur devait être placé au centre de ces questions : prise de pouvoir de l'utilisateur sur les données et les méthodes de traitement qui le concernent, implication de l'utilisateur dans les travaux de recherche et en-capacitation de cet utilisateur en ce qui concerne les questions éthiques (éthique par conception).

## 7.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfiques

Les enjeux sont considérables. Il s'agit de renforcer la crédibilité des travaux de recherche de la communauté EIAH auprès des praticiens, des décideurs et des autres communautés de recherche. Les bénéfices attendus sont en premier lieu une clarification du positionnement épistémologique de ces travaux. Quels types de questions peuvent être traités ? Quels sont

les critères de scientificité des résultats produits ? En second lieu, ce sont également des impacts sociétaux qui sont visés. Les choix effectués, par les décideurs, en termes de politiques publiques d'intégration du numérique dans l'éducation et la formation devraient pouvoir s'appuyer sur les résultats de la recherche en EIAH. Enfin, des bénéfices sont attendus du point de vue de la prise en considération des questions éthiques dans les travaux de recherche.

### **7.3. Description des activités à mettre en œuvre**

La place centrale de l'utilisateur transparait également dans le programme de travail que nous proposons :

- L'établissement de normes et de standards (RFC, AFNOR, ISO...) afin de rendre possible un processus qualité ainsi que la capitalisation et le partage des bonnes pratiques ;
- Le renforcement des possibilités de capitalisation et de partage des scénarios d'analyse. De ce point de vue, il pourrait être pertinent de mettre en place un observatoire des pratiques autour de l'exploitation des traces numériques d'interaction. ;
- Mise en place, lors des colloques, de campagnes d'évaluation basées sur des travaux mutualisés sur des corpus de traces sélectionnés.

### **7.4. Indicateurs de succès**

Les indicateurs de succès de ce programme concernent l'implémentation effective des mesures proposées : références des normes créées, mise en place effective de l'observatoire, des campagnes d'évaluation et nombre de personnes impliquées, niveau de prise en compte de ces éléments dans les publications (qualité des données et des méthodes, positionnement épistémologique...).

## **8. (Se) former entre réel et virtuel à l'heure de la démocratisation des technologies immersives**

Ce grand challenge a été rédigé par Jean-Marie Burkhardt et Domitile Lourdeaux à l'issue de l'atelier "Réalités mixtes, virtuelles et augmentées pour l'apprentissage : perspectives et challenges pour la conception, l'évaluation et le suivi"<sup>14</sup>.

### **8.1. Description et principaux objectifs**

Jugée comme une technologie très prometteuse pour la formation dès les années 80, la "Réalité Virtuelle" a fait l'objet de beaucoup de travaux. Toutefois, si des succès ont vu le jour, les espoirs n'ont pas été suivis. Le terme de "Réalité Augmentée" (RA) a été introduit plus récemment, au début des années 1990, afin de désigner une forme spécifique d'interaction humain-machine (IHM) fondée sur l'association sémantique et spatiale d'objets réels et d'objets générés par un ordinateur. Dans ce domaine aussi, les usages à objectif de

---

<sup>14</sup> <https://orpec-rv.hds.utc.fr/>

formation et d'apprentissage n'ont pas tenu les promesses de rupture annoncées. Les attentes sont fortement relancées aujourd'hui avec la mise sur le marché de nouveaux casques et dispositifs, la diffusion de nombreuses technologies à faible coût (e.g. kinect, QR code), le développement accru d'applications pour des situations de mobilité et/ou de collaboration en réseau et l'engouement du grand public pour ces technologies immersives. Ainsi l'émergence de technologies immersives (réalité virtuelle, augmentée) transparentes et centrées-humains est l'une des trois tendances clefs à 5-10 ans (Gartner, 2016).

Ce grand challenge porte sur comment (se) former entre réel et virtuel à l'heure de cette démocratisation des technologies immersives. Comment faire en sorte que la démocratisation de ces technologies immersives et l'attrait qu'elles suscitent auprès du public soit une opportunité réelle pour concevoir des outils pertinents et efficaces en soutien des activités de formation et d'apprentissage ? Comment favoriser l'émergence et l'adoption de ces solutions au bénéfice de l'apprentissage et du développement humain, tout en anticipant les risques inhérents à ces technologies ?

Les barrières sont nombreuses : absence d'un corpus cohérent de connaissances scientifiques commun aux différentes disciplines et aisément mobilisables, dispersion des travaux dans la littérature et entre plusieurs disciplines, manque ou fragilité des articulations et des collaborations interdisciplinaires, avec les terrains et la pluralité des utilisateurs concernés (formateurs/enseignants/tuteurs ; apprenants/formés ; autres), faiblesse des (trop) rares évaluations publiées en matière de méthodologie, de mesures, de pertinence pour l'apprentissage et la formation, etc. Du côté de l'utilisation, l'engouement enthousiaste qu'engendre l'effet "whaou" des technologies immersives, ou encore la surconfiance dans la technologie malgré l'absence de preuves sont des phénomènes qui résistent difficilement à l'épreuve du terrain et du temps. Le faible intérêt pour les questions de pédagogie et d'éthique dans la conception du contenu des simulations mêlant réel et virtuel, et leur utilisation dans les situations d'éducation et de formation, ou encore pour les questions de santé et de sécurité associées à l'utilisation de ces technologies peut affecter leur acceptation.

## **8.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfices**

Ce challenge vise à poser les bases scientifiques et méthodologiques pour que les attentes en termes de besoins d'apprentissage et de formation soient réellement satisfaites par les dispositifs fondés sur le mélange entre réel et le virtuel. Ceux-ci peuvent apporter de nombreux bénéfices (voir e.g.(Burkhardt, Lourdeaux, & Mellet-D'Huart, 2003)). Leur spécificité réside dans l'engagement du corps, du mouvement et du geste dans ce type d'environnements. L'usage combiné de différentes modalités sensorielles et motrices, ainsi que la possibilité de présenter et articuler l'information selon de multiples formats et points de vue, des plus symboliques au plus concrets, constituent deux approches prometteuses pour faciliter l'apprentissage. Réussir ce challenge devrait aboutir à :

- une montée en puissance d'outils centrés sur les besoins pédagogiques des apprenants et des enseignants/formateurs ;

- une conception simplifiée de contenus “situés” adaptables et flexibles, valorisant le capital numérique (maquettes) ;
- un continuum entre approches globales et analytiques de l’apprentissage en manipulant la complexité et le degré de réalisme de la situation ;
- la prise en compte des enjeux de santé, de sécurité et éthiques.

### **8.3. Description des activités à mettre en œuvre**

Activité 1 - Elaboration d’un cadre articulant les points de vue disciplinaires et les dimensions terminologiques, théoriques et pratiques pour l’analyse, la conception et l’évaluation des technologies immersives pour l’apprentissage et la formation.

Activité 2 - Analyse et synthèse de l’état de l’art au moyen de ce cadre ; création d’un outil et de bases de données pour faciliter la diffusion et la capitalisation des connaissances ainsi structurées.

Activité 3 - Développement de recherches sur les interactions entre les dimensions corpo-gestuelle, émotionnelle et symbolique dans l’apprentissage (a) sur le plan du contenu et (b) sur le plan des modalités.

Activité 4 - Production et validation de méthodes, outils et guidelines pour l’analyse, la conception et l’évaluation des technologies immersives pour l’apprentissage et la formation.

Activité 5 - Développement de bibliothèques génériques de composants pour gérer (a) l’adaptation aux utilisateurs (enseignants, apprenants ; niveau individuel ou collectif ; accessibilité) ; (b) l’orchestration, l’équilibre entre autonomie et contrôle du comportement des personnages autonomes, la gestion de la cohérence et de l’adaptabilité des entités virtuelles dans une simulation (plus ou moins) ouverte ; (d) favoriser la normalisation et la standardisation.

Activité 6 - Formation : former une nouvelle génération de concepteurs multidisciplinaires, gestionnaires de projets, formateurs, etc.

### **8.4. Indicateurs de succès**

- Mesure du déploiement et de l’utilisation effective des systèmes mixtes réel-virtuel dans les institutions et lieux d’apprentissage et de formation ;
- Nombre de publications pluridisciplinaires, de projets pluridisciplinaires financés ; étendue de la couverture pluridisciplinaire de ces projets ;
- Nombre de chercheurs, laboratoires, manifestations scientifiques etc. impliqués ; leur couverture disciplinaire ;
- Nombre d’études publiées comprenant une évaluation rigoureuse des résultats d’apprentissage (connaissances ou compétences) ; étendue de la couverture de ces évaluations en matière de diversité de la population, de types d’apprentissage ou de compétences, de situations pédagogiques, de configuration sociotechnique ; proportion d’études longitudinales, durée médiane des périodes couvertes par ces études ;

- Nombre de publications de guidelines, design patterns, bibliothèques de composants etc. fondés sur des résultats publiés.

## **9. Vers une massification de l'apprentissage instrumenté de l'informatique, et une intégration des instruments et de leur évaluation**

Ce grand challenge a été rédigé par Fahima Djelil, Charles Boivert, Yvan Peter, Yann Secq, Julien Broisin et Colin De La Higuera à l'issue de l'atelier "Apprentissage instrumenté de l'informatique"<sup>15</sup>, organisé par Martin Quinson et Fahima Djelil.

### **9.1. Description et principaux objectifs**

L'apprentissage instrumenté de l'informatique est un enjeu de recherche depuis de nombreuses années (McCracken et al., 2001; Robins, Rountree, & Rountree, 2003; Winslow, 1996). En particulier l'apprentissage de la pensée informatique et de la programmation soulève de nombreuses questions : Quels objets physiques ou numériques ? Quelles plateformes pour porter les concepts, partager le code entre les élèves et avec l'enseignant ? Comment accompagner les enseignants ? Comment évaluer ces dispositifs ?

De nombreux outils existent : chercheurs et enseignants créent des outils pour la visualisation, la définition d'algorithmes et l'initiation à la programmation (Rongas, Kaarna, & Kalviainen, 2004). Quelques initiatives de référencement de ressources existent mais ne suffisent pas à accompagner l'enseignant jusque dans la classe (Class'Code<sup>16</sup>, Pixees<sup>17</sup>). A cela s'ajoute le manque de méthodologies et de résultats de leur évaluation (López, Valenzuela, Nussbaum, & Tsai, 2015; Twining, Heller, Nussbaum, & Tsai, 2017). Or, l'évaluation de ces outils est un véritable enjeu de leur développement : comment convaincre de leur bien fondé et de leur pertinence ? Quels sont leurs bénéfices éducatifs ? Quels sont les publics qu'ils visent ? Comment accompagner les enseignants dans ce travail d'instrumentation ? Il est indispensable d'indiquer que ces outils ont été dûment évalués pour assurer leur utilisabilité et convaincre de leur utilité.

L'intégration de ces dispositifs et de leurs moyens d'évaluation faciliterait le choix d'un outil, son appropriation par l'apprenant au niveau des concepts manipulés, l'accompagnement de l'enseignant dans son utilisation, et son déploiement en classe.

### **9.2. Problèmes éducatifs concernés et bénéfices**

La pensée informatique est reconnue comme un acquis fondamental, qui ne doit pas être limité qu'aux informaticiens (Wing, 2006). Elle désigne un ensemble d'habiletés utilisables dans différentes disciplines : décomposition, identification de motifs récurrents et abstraction amenant à la définition d'un algorithme de traitement d'un problème (Wing, 2006). Elle est incluse dans les savoirs fondamentaux que l'école doit transmettre aux

---

<sup>15</sup> <https://apprentissageinstrumentedelinformatique.wordpress.com/>

<sup>16</sup> <https://pixees.fr/classcode/accueil>

<sup>17</sup> <https://pixees.fr>

élèves, et s'ajoute à la lecture, l'écriture et l'arithmétique dès le très jeune âge. Il s'agit de former les nouvelles générations à l'informatique afin de les préparer aux métiers de demain, et de leur donner une chance équitable pour réussir. C'est dans cette perspective qu'en France, le plan numérique pour l'éducation, lancé en 2015, comprend un enseignement généralisé de l'informatique. A la rentrée 2016, ce plan touchait environ 12 millions d'élèves et 861 000 enseignants de premier et second degrés (Chiffres clés du système éducatif<sup>18</sup>). Aujourd'hui, ces enseignants sont confrontés au manque de ressources et d'accompagnement à l'utilisation de celles qui existent. De plus, les outils existants ne font pas toujours l'objet d'une évaluation, et quand elle existe elle reste dépendante du contexte de conception de ces outils. Ce qui, en pratique, rend le choix d'un outil par l'enseignant difficile.

L'intégration des outils, de méthodes et de résultats de leur évaluation offrirait un référentiel associé à des communautés de pratique, permettant le partage et le transfert des connaissances entre les enseignants, les apprenants, les chercheurs ou d'autres praticiens. Enfin, du point de vue de l'apprenant, cela permettrait d'explorer et d'évaluer des approches d'apprentissage collaboratives et ludiques, par l'utilisation de jeux, d'interfaces tangibles ou de tuteurs intelligents. Ce qui permet de favoriser le développement de connaissances et de compétences chez l'apprenant.

### **9.3. Description des activités à mettre en œuvre**

Activité 1 - Curation des outils existants : description, indexation et association d'outils avec les grains de formation qui permettront d'accompagner l'enseignant dans les concepts manipulés.

Activité 2 - Recherche de standards d'intégration des outils : définition et prototypage des standards permettant l'intégration d'outils complémentaires, pouvant servir, par exemple, à la collecte, la gestion et l'analyse de traces d'activités et d'interaction, à la déduction de profils d'apprenants, ou à l'adaptation des activités d'apprentissage.

Activité 3 - Réalisation d'une cartographie d'évaluation d'outils : cartographier les données relatives à l'évaluation d'outils, comprenant des méthodes, des méthodologies et des résultats. Cela doit servir aux chercheurs à des fins de réplication et de comparabilité d'outils afin de valider leur usage et leur qualité. Cela requiert une collaboration interdisciplinaire, mêlant des chercheurs en informatique et en sciences de l'éducation.

### **9.4. Indicateurs de succès**

Activité 1 - Curation des outils existants : nombre de ressources et outils indexés, et association effective de grains de formation associés.

---

<sup>18</sup> [http://www.education.gouv.fr/cid195/les-chiffres-cles-du-systeme-educatif.html#Les\\_personnels](http://www.education.gouv.fr/cid195/les-chiffres-cles-du-systeme-educatif.html#Les_personnels)

Activité 2 - Recherche de standards d'intégration des outils : cadres pour l'architecture de services et pour la collecte des traces prenant en compte les normes existantes (e.g. (xAPI<sup>19</sup>, Caliper<sup>20</sup>) et les projets en cours (e.g. ANR Hubble<sup>21</sup>)

Activité 3 - Réalisation d'une cartographie d'évaluation d'outils : une taxonomie pouvant amener à une ontologie des évaluations, facilement accessible, regroupant des méthodes réutilisables et des informations sur les méthodes et les résultats d'évaluation d'outils.

## 10. Remerciements

Le travail relaté dans cette rubrique n'aurait pu avoir lieu sans les organisateurs des ORPHEE-RDV : Julien Broisin, Rémi Venant et Franck Silvestre. Merci également aux porteurs d'ateliers pour leur travail d'animation et de synthèse scientifique : Franck Amadiou, Jean-Marie Burkhardt, Fahima Djelil, Jean-Marie Gilliot, Michel Joseph, Marie Lefevre, Domitile Lourdeaux, Vanda Luengo, Gaëlle Molinari, Marc Nagels, Martin Quinson, Eric Sanchez, Franck Silvestre, sans oublier l'ensemble des participants aux différents ateliers thématiques, qui ont contribué à l'émergence des grands challenges.

## REFERENCES

- (Andersson & Palm, 2017) Andersson, C., & Palm, T. (2017). The impact of formative assessment on student achievement: a study of the effects of changes to classroom practice after a comprehensive professional development programme. *Learning and Instruction. Elsevier*, 49, 92–102.
- (Bandura, 2003) Bandura, A. (2003). Auto-efficacité. Le sentiment d'efficacité personnelle. *Http://Osp.Revues.Org*. Retrieved from <https://osp.revues.org/741>
- (Barnier, 2001) Barnier, G. (2001). Le tutorat dans l'enseignement et la formation. *Interactions Sociales et Apprentissages : Contribution Aux Acquisitions Scolaires et Professionnelles, Carrefours de L'éducation*, 11, 121–147. Retrieved from [http://www.persee.fr/doc/refor\\_0988-1824\\_2001\\_num\\_38\\_1\\_1735\\_t1\\_0171\\_0000\\_2](http://www.persee.fr/doc/refor_0988-1824_2001_num_38_1_1735_t1_0171_0000_2)
- (Black & William, 2009) Black, P., & William, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5–31. <http://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>
- (Burkhardt, Lourdeaux & Mellet-D'Huart, 2003) Burkhardt, J.-M., Lourdeaux, D., & Mellet-D'Huart, D. (2003). La conception des environnements virtuels pour l'apprentissage. In F. P. & M. G. (Eds.), *Le traité de la réalité virtuelle*. Presse de l'école des Mines de Paris. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01434545>
- (Cambridge, 2010) Cambridge, D. (2010). *Eportfolios for Lifelong Learning and Assessment*. Jossey-Bass. Retrieved from <https://www.amazon.com/Eportfolios-Lifelong-Learning-Assessment-Cambridge-ebook/dp/B004720BQQ?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xml2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=B004720BQQ>
- (Carré, 2005) Carré, P. (2005). L'apprenance : vers un nouveau rapport au savoir. *Revue Française de Pédagogie*, 153(1), 151–152. Retrieved from [http://www.persee.fr/doc/rfp\\_0556-7807\\_2005\\_num\\_153\\_1\\_3402](http://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_2005_num_153_1_3402)
- (Chaachoua & Desmoulin, 2014) Chaachoua, H., & Desmoulin, C. (2014). Utilisation du modèle praxéologique de référence dans un EIAH. In *3e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*. Toulouse, France. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01088769>

---

<sup>19</sup> <http://experienceapi.com/overview/>

<sup>20</sup> <https://www.imsglobal.org/activity/caliperram>

<sup>21</sup> <http://hubblelearn.imag.fr>



- (Chan, Roussanaly & Boyer, 2009) Chan, N. N., Roussanaly, A., & Boyer, A. (2009). Studying Relations Between E-learning Resources to Improve the Quality of Searching and Recommendation, 119–129.
- (Cizek, 2010) Cizek, G. J. (2010). An Introduction to Formative Assessment: History, Characteristics, and Challenges. In G. J. Andrade, H.L., Cizek (Ed.), *Handbook of Formative Assessment*. (Routledge). New York, USA.
- (Dunlosky & Nelson, 1994) Dunlosky, J., & Nelson, T. O. (1994). Does the Sensitivity of Judgments of Learning (JOLs) to the Effects of Various Study Activities Depend on When the JOLs Occur? *Journal of Memory and Language*, 33, 545–565.
- (Dunlosky & Rawson, 2012). Dunlosky, J., & Rawson, K. A. (2012). Overconfidence produces underachievement: Inaccurate self evaluations undermine students' learning and retention. *Learning and Instruction*, 22, 271–280.
- (Gartner, 2016) Gartner. (2016). *Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies*.
- (Henri, 2014) Henri, F. (2014). Les environnements personnels d'apprentissage, étude d'une thématique de recherche en émergence. *Sticef*, 21.
- (Herman, Osmundson, Ayala, & Timms, 2006) Herman, J. L., Osmundson, E., Ayala, C., & Timms, M. (2006). The nature and impact of teachers' formative assessment practice. *CSE Technical Report No. 703*, 1522(310).
- (Jézégou, 2005) Jézégou, A. (2005). *Formations ouvertes. Libertés de choix et autodirection de l'apprenant*. (L'Harmattan, Ed.) *Revue des sciences de l'éducation*.
- (Johnson & Johnson, 2002) Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2002). Cooperative Learning and Social Interdependence Theory. In R. S. Tindale, L. Heath, J. Edwards, E. J. Posavac, F. B. Bryant, Y. Suarez-Balcazar, ... J. Myers (Eds.), *Theory and Research on Small Groups* (pp. 9–35). Boston, MA: Springer US. [http://doi.org/10.1007/0-306-47144-2\\_2](http://doi.org/10.1007/0-306-47144-2_2)
- (Kimball, 2005) Kimball, M. (2005). Database e-portfolio systems: A critical appraisal. *Computers and Composition*, 22(4), 434–458. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compcom.2005.08.003>
- (Krvacic, Santos, Boticario, Bielikova, & Horvath, 2015) Krvacic, M., Santos, O. C., Boticario, J. G., Bielikova, M., & Horvath, T. (2015). Preface - Proceedings of the 5th International Workshop on Personalization Approaches in Learning Environments (PALE), held in conjunction with UMAP 2015. Dublin, Ireland: Vol. 1388, *CEUR Workshop Proceedings*, ISSN 1613-0073 (2015) 1-7.
- (Lefevre et al., 2012) Lefevre, M., Broisin, J., Butoianu, V., Daubias, P., Daubigney, L., Greffier, F., ... Terrat, H. (2012). Personnalisation de l'apprentissage : comparaison des besoins et approches à travers l'étude de quelques dispositifs. *Revue Des Sciences et Technologies de l'Information et de La Communication Pour l'Education et La Formation (STICEF)*.
- (López, Valenzuela, Nussbaum, & Tsai, 2015) López, X., Valenzuela, J., Nussbaum, M., & Tsai, C.-C. (2015). Some recommendations for the reporting of quantitative studies. *Computers & Education*, 91, 106–110. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.09.010>
- (Manouselis, Drachslar, Verbert, & Duval, 2013) Manouselis, N., Drachslar, H., Verbert, K., & Duval, E. (2013). TEL as a Recommendation Context. In *Recommender Systems for Learning* (pp. 21–36). New York, NY: Springer New York. [http://doi.org/10.1007/978-1-4614-4361-2\\_2](http://doi.org/10.1007/978-1-4614-4361-2_2)
- (McCracken et al., 2001) McCracken, M., Wilusz, T., Almstrum, V., Diaz, D., Guzdial, M., Hagan, D., ... Utting, I. (2001). A multi-national, multi-institutional study of assessment of programming skills of first-year CS students. In *Working group reports from ITICSE on Innovation and technology in computer science education - ITICSE-WGR 01*. ACM Press. <http://doi.org/10.1145/572133.572137>
- (Molinari, Avry, & Chanel, 2017) Molinari, G., Avry, S., & Chanel, G. (2017). Les émotions dans les situations de collaboration et d'apprentissage collaboratif médiatisées par ordinateur. In G. Poizat & M. Bétrancourt (Eds.), *Technologies numériques et formations des adultes : Enjeux et perspectives*. *Raisons Educatives*, 21, 123-136.
- (Nagels, 2011) Nagels, M. (2011). Améliorer l'auto-efficacité collective des équipes de cadres formateurs en IFSI par la didactique professionnelle. *Recherche En Soins Infirmiers*, 104(1), 30. <http://doi.org/10.3917/rsi.104.0030>

- (Notari, Sobko & Churchill, 2016) Notari, M., Sobko, T., & Churchill, D. (2016). Using wearable technology to improve the acquisition of new literacies: a new pedagogical approach of situated individual feedback coming from the Activity Trackers and reflected upon in the ePortfolio. In *International Mobile Learning Festival, IML 2016*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10722/235223>
- (Rabardel, 2005). Rabardel, P. (2005). Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir. In P. Rabardel & P. Pastré (Eds.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*. (pp. 11–29).
- (Reiser, 2002). Reiser, B. J. (2002). Why Scaffolding Should Sometimes Make Tasks More Difficult for Learners. In *Proceedings of the Conference on Computer Support for Collaborative Learning: Foundations for a CSCL Community* (pp. 255–264). International Society of the Learning Sciences. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1658616.1658652>
- (Robins, Rountree & Rountree, 2003). Robins, A., Rountree, J., & Rountree, N. (2003). Learning and Teaching Programming: A Review and Discussion. *Computer Science Education*, 13(2), 137–172. <http://doi.org/10.1076/csed.13.2.137.14200>
- (Rongas, Kaarna, & Kalviainen, 2004) Rongas, T., Kaarna, A., & Kalviainen, H. (2004). Classification of computerized learning tools for introductory programming courses: learning approach. In *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004. Proceedings*. IEEE. <http://doi.org/10.1109/icalt.2004.1357618>
- (Roux, 2004) Roux, J. . (2004). Le travail en groupe à l'école. N° 424, Dossier "Le Travail de Groupe", *Cahiers Pédagogiques*.
- (Sanchez, Emin-Martinez & Mandran, 2015) Sanchez, E., Emin-Martinez, V., & Mandran, N. (2015). Jeu-game, jeu-play, vers une modélisation du jeu. Une étude empirique à partir des traces numériques d'interaction du jeu Tamagocours. *Sciences et Technologies de l'Information et de La Communication Pour l'Éducation et La Formation*, 22. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01238747>
- (Sclater N., Peasgood A., 2016) Sclater N., Peasgood A., M. J. (2016). Learning analytics in higher education, A review of UK and international practice. Retrieved from <https://www.jisc.ac.uk/sites/default/files/learning-analytics-in-he-v3.pdf>
- (Self, 1990) Self, J. (1990). Bypassing the intractable problem of student modelling. *Intelligent Tutoring Systems: At the crossroads of artificial intelligence and education*, 107–123.
- (Siemens & Baker, 2012) Siemens, G., & Baker, R. S. J. d. (2012). Learning analytics and educational data mining. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge - LAK12*. ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2330601.2330661>
- (Silvestre, Vidal & Broisin, 2015) Silvestre, F., Vidal, P., & Broisin, J. (2015). Reflexive learning, socio-cognitive conflict and peer-assessment to improve the quality of feedbacks in online tests. In 10th European Conference on Technology Enhanced Learning (*EC-TEL 2015*) (pp. 339–351). Toledo, Spain. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01363369>
- (Twining, Heller, Nussbaum & Tsai, 2017) Twining, P., Heller, R. S., Nussbaum, M., & Tsai, C.-C. (2017). Some guidance on conducting and reporting qualitative studies. *Computers & Education*, 106, A1–A9. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.002>
- (Wing, 2006) Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33. <http://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- (Winslow, 1996) Winslow, L. E. (1996). Programming pedagogy—a psychological overview. *ACM SIGCSE Bulletin*, 28(3), 17–22. <http://doi.org/10.1145/234867.234872>
- (Zumbach, Reimann, & Koch, 2006) Zumbach, J., Reimann, P., & Koch, S. C. (2006). Monitoring Students' Collaboration in Computer-Mediated Collaborative Problem-Solving: Applied Feedback Approaches. *Journal of Educational Computing Research*, 35(4), 399–424. Retrieved from <https://www.learntechlib.org/p/69476>