De l'objet connecté à l'environnement intelligent : des enjeux pour la médiation ?

Aymeric Bouchereau* — Ioan Roxin**

Laboratoire ELLIADD
Université de Bourgogne Franche-Comté
Numérica, Cours Leprince-Ringuet, 25200 Montbéliard, France
** aymeric.bouchereau@edu.univ-fcomte.fr*
*** ioan.roxin@univ-fcomte.fr*

RÉSUMÉ. *Les objets connectés et l'intelligence artificielle transforment nos modes d'information de travail et d'interaction avec les objets. L'apprentissage est lié à ces changements, tant en ce qui concerne la création de systèmes intelligents que l'adaptation des individus aux technologies. Cet article décrit la relation entre les objets connectés et l'apprentissage, humain et automatique, afin d'identifier les enjeux pour la médiation des savoirs. Les objets connectés facilitent l'observation et l'exploration du monde par l'humain, et leur couplage avec l'apprentissage automatique conduit à l'émergence d'un environnement intelligent. L'environnement intelligent étend les logiques d'automatisation et d'assistance, ouvrant ainsi la voie au campus connecté et aux robots sociaux. Ces effets accentuent les besoins de formation « aux » et « par » les technologies et interrogent le développement humain dans un milieu d'objets connectés.*

ABSTRACT. *Connected devices and artificial intelligence systems transform the way we stay informed, work and interact with objects. Learning is linked to these changes: to create intelligent systems and for individuals adaptability. This article describes the relationship between connected devices, human learning and machine learning, to identify the challenges for the mediation of knowledge. Connected devices, with their sensors, facilitate observation and exploration of the world. The coupling with machine learning leads to the emergence of intelligent environments where objects adapt to the collected data. Intelligent environments enable smart campuses and social robots, and extends automation and assistance. These opportunities accentuate the need for education "to" and "by" technologies and question human development in an environment of connected devices.*

MOTS-CLÉS : *apprentissage, apprentissage automatique, internet des objets, médiation des savoirs, objets connectés, système intelligent*

KEYWORDS: *connected devices, intelligent system, internet of things, learning, machine learning, mediation of knowledge*

1. Introduction

L'évolution des technologies de l'information et de la communication (TIC) conduit depuis les années 2009-2010 à l'essor d'un Internet des Objets (IdO). Du grille-pain à la voiture en passant par le téléphone, les objets physiques de notre environnement deviennent connectés. La multiplication d'objets connectés et l'essor de systèmes d'intelligence artificielle (SIA) installent l'automatisation et l'assistance intelligente dans la vie quotidienne. Les objets connectés et les SIA transforment nos modes d'information, de travail, d'interaction avec l'environnement et d'apprentissage.

L'apprentissage est l'un des enjeux de ces changements, tant pour le développement de SIA que pour l'adaptation des individus à l'évolution technologique. L'adaptation requiert des compétences en calcul et littéraires, mais aussi une littératie numérique et des aptitudes à la collaboration, à la critique et à la résolution des problèmes (Cormerais, Le Deuff, Lakel, & Pucheu, 2017). Comparée à l'agriculture ou à la santé, la formation par le numérique dans le contexte de l'IdO est examinée de manière ponctuelle. Comment peuvent s'articuler les objets connectés avec le processus d'apprentissage humain et qu'apporte leur couplage avec des SIA ? Dans cet article, nous examinons la relation entre les objets connectés et l'apprentissage, humain et automatique, afin d'en dégager les possibilités et les enjeux pour la médiation des savoirs.

Dans un premier temps, nous rappelons les principaux mécanismes de l'apprentissage humain et de l'apprentissage automatique. Nous présentons l'IdO et les objets connectés et soutenons qu'ils convergent avec l'apprentissage automatique pour la création d'un environnement intelligent. Dans un second temps, nous explicitons les usages des objets connectés pour la médiation et les enjeux de l'environnement intelligent. Nous concluons avec les problématiques soulevées par le couple objet connecté / SIA pour l'éducation.

2. Apprentissage : du modèle cognitif au modèle prédictif

Pour Otlet, *classer* fait partie des plus hautes activités de l'esprit et constitue une condition nécessaire pour passer de l'observation de l'Univers aux savoirs (1934). Les représentations intelligentes des choses sont organisées par la science ; celle-ci à son tour retranscrite dans des documents, eux-mêmes ordonnés par des classifications (voir Figure 1). Hofstadter et Sander (2013) soutiennent l'idée que l'analogie et la catégorisation sont à la racine de tous nos concepts et constituent le mécanisme de leur évocation sélective, donc le moteur de la pensée. Morin affirme que l'analogie « *est à la fois le moyen et la fin* » de la connaissance, car l'esprit se sert de l'analogie pour « *simuler le réel perçu en construisant un analogon mental (la représentation), et de simuler le réel conçu en élaborant un analogon idéal (théorie)* » (2008, p. 1333).

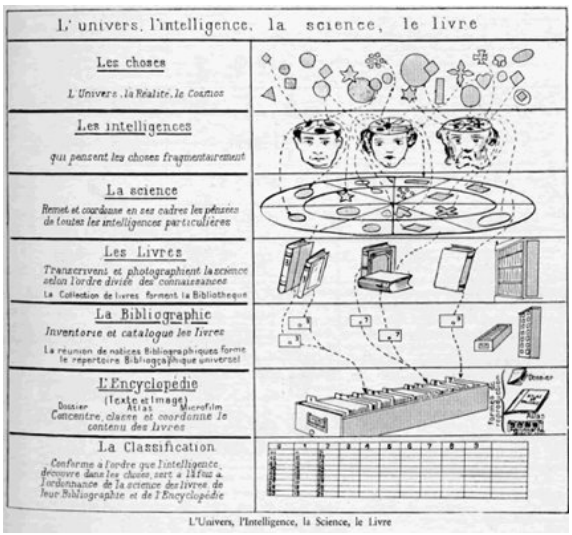


Figure 1. *Le savoir est construit à partir de l'observation de l'Univers et fait partie d'un processus de classification (Otlet, 1934)*.

Pour l'intelligence artificielle aussi, les connaissances sont des modèles élaborés à partir de l'observation du monde et d'activités de classement. Les données observationnelles sont transformées en information puis en connaissance « *après réflexion, expérience ou apprentissage* » (Erickson & Rothberg, 2018).

2.1. *Observer, expérimenter et (se) représenter les choses*

En psychologie, la compréhension de l'apprentissage humain s'est d'abord fondée sur l'étude du comportement puis sur la considération de l'activité physique et cérébrale, sans oublier les dimensions sociale et culturelle (Illeris, 2018). L'apprenant, actif, construit lui-même ses connaissances en manipulant des objets concrets et mentaux (Piaget, 1969). L'apprentissage est influencé par les interactions sociales et par la situation (Vygotski, 1997). Pour expliquer son environnement, l'apprenant élabore des modèles mentaux qu'il ajuste, soit en intégrant les nouvelles informations, soit en réévaluant ses modèles. L'apprentissage est un processus cyclique où se succèdent l'expérience, l'observation, la conceptualisation et l'expérimentation (Kolb, cité par Illeris, 2018).

Cette compréhension est le mode actif du cerveau identifié par les neurosciences. Pour comprendre, le cerveau se base sur les données sensorielles, génère des hypothèses et les met à l'épreuve. Plusieurs facteurs stimulent la cognition : l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur et la consolidation (Dehaene, 2018). L'attention requiert de guider l'apprenant vers les informations importantes et d'éviter les distractions. L'engagement actif requiert des activités motivantes, qui

favorisent le questionnement et l'expérimentation. Le retour d'information, avec des tests, est utile à l'apprenant pour exercer sa mémoire et évaluer l'état de ses connaissances. Enfin, il est préférable que l'apprentissage soit divisé en séquences courtes et que les savoirs soient revus plusieurs fois.

2.2. *Ajuster les paramètres d'un modèle prédictif*

L'apprentissage automatique est la recherche de méthodes permettant à un système de s'améliorer dans l'exécution d'une tâche sans programmation explicite. Ces méthodes forment des règles pour classer des données – le modèle prédictif – en veillant à minimiser l'erreur (Russel & Norvig, 2010). Lors de la phase d'apprentissage, le modèle est produit et ajusté par une méthode qui identifie des corrélations dans un ensemble de données. Puis, le modèle est appliqué pour émettre des prédictions sur de nouvelles données.

On distingue l'apprentissage supervisé, semi-supervisé, non-supervisé et par renforcement. Lorsqu'il est supervisé, l'apprentissage est basé sur des données annotées et inclut des données non annotées lorsqu'il est semi-supervisé. L'objectif est de produire un modèle qui émet en sortie les mêmes prédictions que les annotations des données d'entrée. Les paramètres du modèle sont ajustés au fil des essais pour réduire l'erreur de prédiction. L'apprentissage non supervisé consiste en la classification de données non annotées par découverte des relations et similitudes implicites. Quant à l'apprentissage par renforcement, le but est d'obtenir un modèle qui adapte sa sortie en fonction de stimuli afin de maximiser une récompense.

Parmi les méthodes utilisées, on peut citer : la régression, l'arbre de décision, la classification naïve bayésienne et l'apprentissage profond. L'apprentissage profond est un ensemble de méthodes basées sur des structures de réseaux de neurones interconnectés (e.g. avec rétropropagation, convolutifs, réseaux antagonistes génératifs). Le modèle prédictif est construit par les ajustements successifs des poids de connexions entre les neurones.

L'élaboration de modèles, cognitifs ou prédictifs, part d'observations sur l'environnement pour aller vers l'abstraction. Dans ce mouvement, l'IdO complète l'apprentissage automatique pour observer et agir sur l'environnement.

3. De l'Internet des Objets à l'environnement intelligent

L'IdO est le paradigme désignant l'imbrication des TIC avec les objets physiques et l'environnement (Roxin & Bouchereau, 2017). La pluralité des visions et des définitions de l'IdO rend le concept complexe à appréhender. Nous avons proposé plusieurs dimensions pour expliquer et distinguer les dispositifs qui relèvent ou non de l'IdO.

3.1. *Dimensions de l'Internet des Objets*

Le Tableau 1 présente les quatre dimensions de l'IdO que nous avons identifiées dans de précédents travaux (Bouchereau, 2018; Bouchereau & Roxin, 2018) : données, interfaces, pervasivité et agents.

Dimension	Description
Données	Grandeurs physiques générées par des capteurs : thermomètre, accéléromètre, gyromètre, capteur de luminosité, magnétomètre, hygromètre, infrarouge, etc.
Interfaces	Tangibles, surfaciques et ambiantes, les interfaces humain-machines des objets connectés mobilisent le corps, le toucher, la voix[1]. Elles tendent à fusionner le contrôle de l'information avec sa représentation.
Pervasivité	Accès à l'information avec des contraintes réduites de temps, d'espace, d'appareil et de type de contenu de par la multiplication des objets connectés.
Agents	Capacités de décision et d'action dans un environnement, basées sur des méthodes de traitement et d'analyse des données.

Tableau 1. *Dimensions permettant d'étudier l'IdO.*

Principaux acteurs de l'IdO, les objets connectés embarquent des capteurs, des actionneurs, une interface humain-machine, un moyen de communication et des agents. L'objectif est l'automatisation de tâches et l'assistance à l'utilisateur dans le contexte d'un environnement physique. Les données des capteurs sont stockées, agrégées et communiquées à d'autres objets connectés ou à des plateformes situées dans le *Cloud*. Des agents traitent et analysent les données pour en déduire de l'information sur l'environnement. Ce processus aboutit à des prédictions et des commandes d'action pour agir sur l'environnement.

3.2. *Objets connectés, apprentissage et environnement intelligent*

La multiplication et la pervasivité des objets connectés visent la création d'environnements intelligents, où les objets se coordonnent et agissent *intelligemment*. Pour fonctionner, un système intelligent a besoin de trois modules : un module de perception (pour estimer l'état du monde), un module agent (pour agir sur le monde) et un module d'objectif (pour contrôler la réussite) (LeCun, 2016).

1. L'interface surfacique est celle de la tablette et du smartphone. Avec l'interface tangible, l'objet est l'information et le moyen de la manipuler. L'interface ambiante se situe à la périphérie de l'attention de l'utilisateur, sans la solliciter directement.

L'environnement intelligent fait converger l'IdO et le champ des SIA qui inclut l'apprentissage automatique. Ce dernier est lié aux dimensions « données » et « agents » de l'IdO ; il assure la cohérence des prédictions et actions en fonction des données collectées. L'apprentissage automatique est utilisé pour (Stenudd, 2010) :

– la prédiction d'événements ;

– la reconnaissance d'activités ;

– la détection de *pattern* d'activité et d'anomalies ;

– l'optimisation des décisions et des commandes d'action aux objets.

Les données captées sont analysées pour détecter des anomalies et reconnaître des activités. Les résultats obtenus sont réutilisés pour faire des prédictions, prendre des décisions et contrôler les objets.

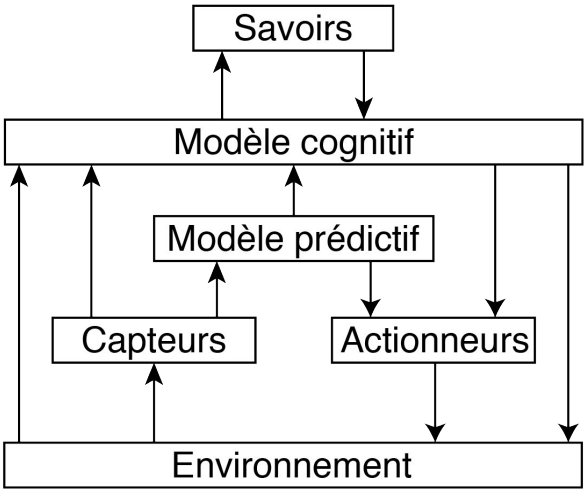


Figure 2. *L'environnement intelligent comme contexte d'interaction entre l'IdO et les apprentissages.*

La Figure 2 synthétise le contexte de l'environnement intelligent permettant l'interaction entre l'IdO, l'apprentissage humain et l'apprentissage automatique. L'IdO est décomposé en capteurs et actionneurs, qui sont les entrées et sorties d'un modèle prédictif. L'apprentissage humain est compris comme l'élaboration de modèles à partir de l'interaction avec l'environnement et les savoirs enseignés. Dans les sections suivantes, nous explicitons les usages d'objets connectés pour la médiation : interactions entre le modèle cognitif, les capteurs et actionneurs. Puis, nous nous intéressons aux apports du couplage objet connecté / SIA concernant le modèle cognitif et le modèle prédictif.

4. Usages d'objets connectés pour la médiation des savoirs

L'élaboration spontanée et intuitive de modèles à partir de nos sens est efficace pour une adaptation au quotidien. Cependant, ce processus freine l'apprentissage lorsque le savoir s'oppose à l'expérience quotidienne. Pour Bachelard, « *on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites* » (1993). Les données, les interfaces, la pervasivité et l'agentivité des objets connectés peuvent servir des objectifs de médiation et contribuer à rendre intelligibles les phénomènes intangibles.

4.1. *Des instruments pour interagir avec l'environnement*

À partir des dimensions de l'IdO, nous avons répertorié les usages éducatifs existants d'objets connectés (Bouchereau & Roxin, 2018). Les objets connectés sont utilisés comme médiateurs entre l'apprenant et l'environnement pour trois raisons : l'engagement du corps, la contextualisation et l'authenticité.

4.1.1. Engagement du corps

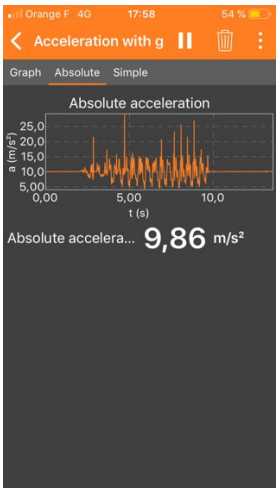
Le corps est mobilisé dans des activités d'apprentissage basées sur la manipulation d'objets. Les interfaces surfaciques et tangibles des objets connectés sont utilisées pour donner une forme palpable à des concepts abstraits que les apprenants peuvent manipuler (Kubicki, Pasco, Hoareau, & Arnaud, 2016). La compréhension d'un concept inaccessible aux sens est favorisée par une représentation concrète et son actualisation en temps réel au fil des interactions (So, Hwang, Wang, & Lee, 2018). Cela rejoint l'accent mis par Montessori sur le développement sensori-moteur chez l'enfant. Les activités d'apprentissage sont centrées sur l'apprenant et sur une problématique. Pour la résoudre, l'apprenant s'interroge et expérimente en manipulant des objets ou en utilisant l'objet connecté pour collecter des données. Par exemple, explorer la ville et prendre des photos pour documenter et comprendre la pollution urbaine (Joyce *et al.*, 2014).

4.1.2. Mise en contexte

La contextualisation de l'apprentissage cherche à donner du sens aux savoirs avec des activités proches de la réalité. La mobilité et les capteurs des objets connectés favorisent un apprentissage ubiquitaire, où l'on apprend « *la bonne chose, au bon endroit et au bon moment* » (Yahya, Arniza Ahmad, & Abd Jalil, 2010). L'apprenant peut explorer l'environnement, en dehors de la salle de classe. Par exemple, les étudiants en physique peuvent mener des expériences de mécanique classique et retracer la trajectoire d'un véhicule à partir de l'accéléromètre et du gyromètre du smartphone (Chevrier, 2016). D'un autre côté, les capteurs permettent au dispositif d'apprentissage d'inférer le contexte pour adapter les ressources éducatives et affiner les recommandations (Soualah-Alila, Nicolle, & Mendes, 2014).

4.1.3. Authenticité

Avec ses capteurs, l'objet connecté devient un instrument de mesure accessible pour collecter des données authentiques. Plusieurs travaux de physiciens suggèrent que les mesures prises par les objets connectés sont suffisamment fiables pour être utilisées à des fins éducatives (Bouquet, Dauphin, Bernard, & Bobroff, 2019; Chevrier, 2016).

A. 

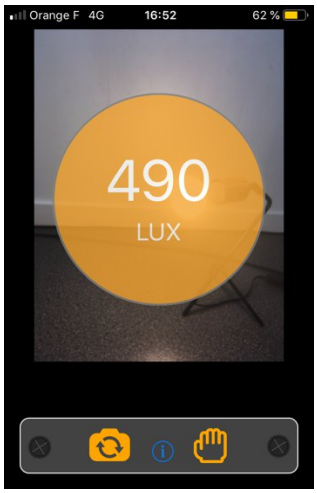
B. 

Figure 3. A. Visualisation des données de l'accéléromètre avec Phyphox (iOS). B. Mesure l'éclairement avec l'application Light Meter (iOS).

Pour étudier des phénomènes avec des données authentiques, l'apprenant collecte des données *in situ* ou les visualise à distance. L'accéléromètre permet de retrouver une approximation de la pesanteur (voir Figure 3.A.) et d'étudier l'effet du pendule (Hochberg, Kuhn, & Müller, 2018). La caméra peut filmer en *slow motion* (Dillavou, Rubinstein, & Kolinski, 2019) tandis que le capteur de luminosité transforme le smartphone en luxmètre (Sans *et al.*, 2017 ; voir Figure 3.B.).

4.2. *Rendre intelligibles des phénomènes non tangibles*

Nous avons mené une expérimentation auprès de 17 étudiants (6 femmes, 11 hommes ; moyenne d'âge : 22,8) en formation aux produits et services multimédia. L'objectif était de tester l'utilisation d'objets connectés pour étudier des concepts abstraits et saisir les effets et contraintes de cette forme de médiation. Nous soutenons que les capacités de captation, de traitement de données et d'action de l'objet connecté peuvent rendre intelligibles des phénomènes difficilement accessibles aux sens humains. Les mesures prises par les capteurs sont plus précises que les données

sensorielles et exploitent une plage de valeurs plus large que celles dont disposent les sens humains (e.g. ultrasons).

Le Tableau 2 synthétise les dispositifs conçus à propos de la quantification et des propriétés de la lumière. Nous avons utilisé des applications mobiles existantes pour récupérer les données de capteurs après en avoir évalué la cohérence et la fiabilité. Des applications ont été développées pour ajouter une nouvelle fonction aux ampoules connectées (Tableau 2, ligne 5) et créer d'autres outils d'observation (vision artificielle, réalité augmentée ; Tableau 2, ligne 2).

Questionnement	Matériels	Applications
Que signifient les indications « lm », « K » et « W » sur une ampoule ? Qu'est-ce que le flux lumineux ?	Ampoule connectée (Hue Philips) ; tablette (iPad).	Reconnaissance dans une photo des indications caractérisant une ampoule ; visualisation du flux lumineux en réalité augmentée.
Comment varie l'éclairement d'une surface en fonction de la distance de la source de lumière ?	Ampoule connectée ; tablette ; mètre.	Grapheur (Geogebra) ; mesure de l'éclairement (Light Meter, iOS).
Que désigne la luminance ?	Tablette ; feuilles de couleur.	Mesure de l'éclairement (Light Meter, iOS) ; réglages photographiques (Lux, iOS)
Pour une ampoule, à quoi correspond visuellement la température de couleur ?	Ampoule connectée ; tablette ; microcontrôleur Arduino ; capteur de lumière visible.	Modification de la température de couleur de l'ampoule connectée.

Tableau 2. *Dispositifs mis en place autour de quatre notions relatives à la lumière : le flux lumineux, l'éclairement, la luminance et la température de couleur.*

Par groupe de deux ou trois, les étudiants ont utilisé chaque dispositif, guidés par une feuille de route comprenant : questions, indications sur les manipulations à effectuer et espace pour prendre des notes. Les questionnaires Pré et Post test comportaient une évaluation : des connaissances, de l'intérêt et de l'utilité perçue des dispositifs ainsi que de leur utilisabilité ; des questions ouvertes permettent en outre de consigner les éventuelles difficultés et d'apprécier les éléments positifs. Nous n'entrerons pas dans le détail des résultats, mais nous rapportons les éléments positifs et les difficultés rencontrées.

4.3. *L'autonomie et la réalisation technique comme contraintes*

L'autonomie et la manipulation d'objets concrets ont un effet positif sur l'engagement des étudiants, leur curiosité et leur motivation (Hochberg *et al.*, 2018; Kuhn *et al.*, 2016). Cependant, l'efficacité sur l'apprentissage reste peu évidente, avec des résultats équivalents ou inférieurs aux méthodes conventionnelles (Bennett, Lubben, & Hogarth, 2007). Ce faible effet peut notamment s'expliquer par la surcharge cognitive qu'entraîne l'autonomie pour l'apprenant (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Certains étudiants étaient en difficulté lorsqu'il s'agissait d'adopter une démarche d'expérimentation, d'exploiter les instruments disponibles et d'interpréter les mesures. Aussi, l'incertitude des mesures crée des incohérences avec la théorie, ce qui gêne les étudiants pour évaluer la réussite ou non de leurs expériences. La manipulation physique, même courte, peut contribuer à un meilleur apprentissage (Kontra, Lyons, Fischer, & Beilock, 2015), mais en intégrant des guides : exemples fonctionnels, feuilles de procédure.

Le manque d'interopérabilité entre les objets connectés complexifie la conception de dispositifs d'apprentissage s'appuyant sur plusieurs objets. Ce problème apparaît pour des cas relativement simples comme la personnalisation des interactions entre une ampoule et une tablette. Pour être adaptée aux besoins, l'exploitation des données générées par les capteurs nécessite des compétences en développement mobile. Il existe de nombreuses applications mobiles gratuites dans les catalogues (e.g. App Store, Google Play) pour obtenir les valeurs des capteurs. Cependant, celles-ci intègrent des publicités, parfois agressives, ou une limitation de l'utilisation, et permettent difficilement l'exportation des données. Parmi les plus complètes, on peut citer Phyphox et Physics Toolbox, qui sont multi-capteurs et proposent des outils de visualisation et d'exportation des données.

Les exemples cités plus haut suggèrent que l'objet connecté peut faciliter l'observation et l'interprétation de l'environnement. La conception de tels dispositifs exige cependant de résoudre la tension entre autonomie et guidage. Le couplage de l'objet connecté avec l'apprentissage automatique apporte d'autres possibilités liées à l'émergence d'environnements intelligents.

5. Apprendre dans un environnement intelligent

L'environnement intelligent émerge de la multiplication et de la pervasivité des objets connectés ainsi que de leur couplage avec des SIA. L'apprentissage automatique constitue un moyen pour saisir le contexte et adapter les actions. Pour une voiture autonome, la combinaison de réseaux de capteurs et d'actionneurs avec l'apprentissage automatique permet : la détection d'obstacles et d'anomalies, la reconnaissance de situation, le contrôle de l'état de santé, etc.

5.1. *Usages éducatifs du couplage « objet connecté / SIA »*

Dans le contexte d'un environnement intelligent, les objets augmentés par l'apprentissage automatique peuvent servir des objectifs éducatifs sous la forme d'assistants, de campus connectés et de robots sociaux.

5.1.1. Augmentation des capacités de l'objet connecté

L'apprentissage automatique apporte aux objets connectés de nouvelles capacités comme la vision artificielle et la reconnaissance vocale. Dans le milieu professionnel, les objets augmentés modifient le rapport entre le travailleur, le savoir et son activité. Les casques à réalité augmentée destinés aux travailleurs tels que DARQI et Glass[2] en sont un exemple. Ils combinent l'apprentissage automatique pour reconnaître des objets et la réalité augmentée pour ajouter des informations contextuelles actualisées à partir de capteurs situés l'environnement. Nous avons développé une application mobile similaire, utilisant la vision artificielle pour identifier les signes présents sur l'emballage d'une ampoule et les expliquer (voir Tableau 2, ligne 2). La photo est annotée à partir des résultats du module Vision AI de la plateforme Google Cloud Machine Learning Engine[3].

5.1.2. Campus connecté

Le campus connecté combine les données des plateformes d'apprentissage, des activités des étudiants et des capteurs des bâtiments[4]. Les objectifs sont la surveillance et l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments et de l'utilisation des salles de classe (Sutjarittham, Gharakheili, Kanhere, & Sivaraman, 2019), mais aussi l'amélioration des transports (e.g. bus connecté). Les étudiants ont accès à distance aux cours et à un assistant personnel pour adapter l'expérience d'apprentissage[5]. Par exemple, l'assistant personnel Genie[6] comprend : la gestion de l'emploi du temps, une liste de tâches et de rappels, des recommandations de ressources éducatives, l'aide à la révision et la réponse à des questions.

Les données des capteurs d'objets connectés sont exploitables pour suivre l'état émotionnel d'un individu ou un comportement particulier (Spyrou, Vretos, Pomazanskyi, Asteriadis, & Leligou, 2018). L'engagement de l'étudiant peut être évalué à partir du pouls, de la température de peau et de l'activité électrodermale fournis par un bracelet connecté et son accéléromètre (Lascio, Gashi, & Santini,

---

2. DARQI, https://daqri.com/; Glass, https://www.x.company/glass/. Consulté le 2 mai 2019.
3. Source : https://cloud.google.com/vision/?hl=fr.Consulté le 2 mai 2019.
4. Source : https://www.theguardian.com/education/2019/feb/22/are-university-campuses-turning-into-mini-smart-cities. Consulté le 1er mai 2019.
5. En France, en mai 2019, la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a annoncé un plan « campus connectés » dont le but est l'enseignement à distance. Source : http://www.leparisien.fr/societe/frederique-vidal-nous-allons-ouvrir-13-campus-connectes-a-la-rentree-02-05-2019-8064648.php. Consulté le 3 mai 2019.
6. Source : https://www.youtube.com/watch?v=zsRPuU53E74. Consulté le 3 mai 2019.

2018). À l'aide d'une méthode d'apprentissage automatique, les auteurs évaluent comme *engagés* 81% des étudiants réellement engagés pendant le cours.

5.1.3. Robots sociaux

Le robot social se situe au croisement de la robotique, de l'IdO et de l'apprentissage automatique. Les réseaux de capteurs permettent au robot social de saisir le contexte tandis que l'apprentissage automatique apporte les moyens d'adaptation du comportement et de réaction aux stimuli. Un robot présentant des marqueurs de socialisation tend à être anthropomorphisé par l'enfant qui adopte à son égard l'attitude relationnelle qu'il aurait vis-à-vis d'un humain (Druga, Williams, Breazeal, & Resnick, 2017). En observant la relation entre l'enfant et un robot social lors d'une activité d'apprentissage, Kory-Westlund montre que l'enfant semble apprendre davantage lorsqu'il se sent proche du robot (Westlund, Park, Williams, & Breazeal, 2018). Ce résultat met en exergue le rôle des interactions sociales dans le processus d'apprentissage et rejoint la théorie socioconstructiviste de l'apprentissage.

5.2. *S'éduquer au milieu d'objets connectés*

Publiée en 2018, la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'intelligence artificielle énonce dix principes éthiques[7]. Certains points sont critiques au regard des usages cités précédemment tels que le respect de la vie privée et la sécurisation des données sensibles. Les données utilisées pour entraîner un algorithme d'apprentissage doivent être contrôlées pour éviter les biais reproduisant des discriminations (O'Neil, 2018). La transparence est nécessaire pour savoir *où*, *quoi*, *comment* et *pourquoi* les données sont collectées et pour comprendre les décisions algorithmiques. Avec cela, nous souhaitons souligner trois réflexions : l'autonomie de l'apprenant face à un système intelligent, l'externalisation de fonctions cognitives et l'éducation au contact d'objets augmentés.

5.2.1. Comprendre les systèmes intelligents et être autonome

À travers l'assistance personnelle et les logiques d'adaptation, l'apprentissage automatique tend à déposséder l'utilisateur du choix, à tout le moins le réduit. Les utilisateurs rencontrent des difficultés lorsqu'ils sont confrontés aux SIA de Facebook, Netflix et Google Maps (Eiband, Völkel, Buschek, Cook, & Hussmann, 2019). Les utilisateurs pointent le manque d'options pour contrôler le flux d'actualités (Facebook), l'incohérence de l'information leur permettant de choisir manuellement (Netflix), la faible utilisabilité de la recherche manuelle (Netflix) et l'effacement des corrections apportées par l'utilisateur (Google Maps). Pour les auteurs, les SIA devraient laisser plus de contrôle à l'utilisateur et lui permettre de comparer les effets de réglages différents.

L'idée sous-jacente – la compréhension du système par l'utilisateur – pose la question de la formation aux technologies numériques et aux logiques (algorithmique,

7. Source : https://www.declarationmontreal-iaresponsable.com/la-declaration. Consulté le 3 mai 2019.

économique, politique) qui les sous-tendent. Pour reprendre l'expression de Doueihi, les technologies numériques sont « *un écosystème dont il faut faire l'apprentissage* »[8]. Cela inclut la pensée computationnelle, le rôle des capteurs, la façon dont ils sont exploités, et les mécanismes de l'apprentissage automatique.

5.2.2. Externalisation des fonctions cognitives

Quels sont les effets des objets connectés et de l'apprentissage automatique sur la cognition ? L'exo-darwinisme de Serres envisage l'évolution technologique comme un processus d'externalisation des fonctions corporelles (2007). De l'oral à l'écrit, à l'imprimerie et à l'ordinateur, l'évolution du stockage, du traitement, de l'émission et de la réception de l'information a des effets culturels, politiques, sociaux et cognitifs. Derian assimile l'objet connecté à une « prothèse cognitive », car « *il épaule au jour le jour notre comportement* » (Derian, 2018, p. 13), influence notre quotidien et nos interactions avec les autres. Ces prothèses permettent de créer, d'apprendre et de communiquer, mais peuvent être néfastes pour l'attention, la créativité (inhibée par l'abondance d'informations) et le développement cognitif.

Évaluer ce qu'on sait et ce qu'on ne sait pas, planifier des phases d'étude ou encore identifier ses erreurs sont autant d'activités métacognitives qui participent à l'apprentissage (Dehaene, 2018). Les assistants personnels remplissant ces tâches, on peut s'interroger sur leurs implications en termes de métacognition. Les casques à réalité augmentée illustrent une autre forme d'externalisation : la perte des savoirs. Stiegler parle de « prolétarisation » pour désigner l'extériorisation des savoirs dans des supports techniques (2009). Assisté par son casque, le travailleur peut, par exemple, réparer une machine industrielle sans expertise. Pour Stiegler, l'externalisation peut aller de pair avec une réappropriation du savoir dès lors que l'individu n'est pas soumis à l'objet technique intégrant le savoir.

5.2.3. Effet(s) des objets connectés sur le développement humain

Des parents ont exprimé leur crainte quant à l'impact de l'assistant vocal sur leur enfant[9]. L'assistant favoriserait le développement d'un comportement autoritaire, sans que l'enfant soit capable de différencier un robot d'une personne sur le plan relationnel. Face à cette crainte, les assistants Amazon Echo et Google Home ont mis en place les fonctions *Magic Word* et *Pretty please* pour valoriser la politesse. L'assistant remercie l'interlocuteur quand il emploie des formes de politesse (e.g. s'il te plaît, merci). La multiplication des objets connectés dans l'environnement requiert d'interroger leur potentiel effet structurant sur l'activité mentale des plus jeunes (Derian, 2018). Au-delà de la capacité des robots à faire apprendre, il est nécessaire

8.Source : https://www.lemonde.fr/education/article/2016/10/04/le-numerique-un-ecosysteme-dont-il-faut-faire-l-apprentissage_5007987_1473685.html#xtor=AL-32280270. Consulté le 5 mai 2019.

9. Source : https://hunterwalk.com/2016/04/06/amazon-echo-is-magical-its-also-turning-my-kid-into-an-asshole/. Consulté le 5 mai 2019.

d'examiner l'effet de leur anthropomorphisation sur le langage, la cognition et les relations sociales (Biele *et al.*, 2019; Bonfert *et al.*, 2018).

L'environnement intelligent favorise un apprentissage ubiquitaire et étend les possibilités d'assistance à l'apprenant. Cependant, ces opportunités soulignent le besoin de former aux technologies numériques et de penser le développement humain dans un milieu imprégné par le numérique.

6. Conclusion

Cette vue d'ensemble des articulations entre l'IdO et l'apprentissage donne à voir les opportunités et enjeux pour la médiation des savoirs. Le rapport entre l'environnement et l'apprentissage relie l'intelligence humaine, les objets connectés et les SIA.

Pour la médiation des savoirs, les données captées, les interfaces des objets connectés et leur pervasivité favorisent l'engagement du corps, la contextualisation et l'apprentissage avec des données authentiques. Si les objets connectés peuvent être utilisés comme instruments pour rendre intelligibles des phénomènes non tangibles, cela nécessite de résoudre la tension entre l'autonomie et le guidage des apprenants. Les capteurs et les actionneurs des objets connectés et l'apprentissage automatique apportent aux SIA les moyens de prédiction et d'action dans un environnement. La pervasivité d'objets connectés augmentés par des SIA conduit à l'émergence d'environnements intelligents. L'environnement intelligent ouvre la voie aux campus connectés, aux robots sociaux et à l'utilisation d'objets augmentés, mais soulève de nombreux problèmes. L'augmentation des capacités des objets connectés par des SIA accentue le risque d'une prolétarisation des individus en extériorisant les savoirs. La mise en données des espaces, activités et profils des apprenants poursuivie par les campus connectés, étend les logiques d'automatisation et d'assistance intelligente. Outre la sécurité des données personnelles et de la vie privée, c'est l'autonomie des individus et leurs moyens de contrôle sur les systèmes automatiques qui doivent être interrogés. Enfin, l'environnement intelligent soulève des questions profondes sur le développement cognitif et social des enfants et sur la manière dont ils s'éduquent au milieu d'objets connectés.

Notre prochain travail s'attachera à examiner les interactions possibles entre l'apprenant et les savoirs intégrés par le couplage objet connecté / SIA. Pour cela, nous poursuivrons notre expérimentation sur les dispositifs médiatiques pour rendre visibles des phénomènes invisibles aux sens.

Bibliographie

Bachelard, G., *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, VRIN, 1993

Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S., « Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching ». *Science Education*, vol. 91, n°3, 2007, p. 347-370

Biele, C., Jaskulska, A., Kopec, W., Kowalski, J., Skorupska, K., & Zdrodowska, A., « How Might Voice Assistants Raise Our Children? ». In W. Karwowski & T. Ahram (Éd.), *Intelligent Human Systems Integration 2019*, 2019, p. 162-167, Springer International Publishing

Bonfert, M., Spliethöver, M., Arzaroli, R., Lange, M., Hanci, M., & Porzel, R., « If You Ask Nicely: A Digital Assistant Rebuking Impolite Voice Commands », *Proceedings of the 2018 International Conference on Multimodal Interaction*, 2018, p. 95-102

Bouchereau, A., « Appréhender la réalité de l'Internet des Objets dans le cadre de l'apprentissage humain », *Actes du SemDoc IRIS 2018*; Metz, France, 2018, AJCREM

Bouchereau, A., & Roxin, I., « Internet des Objets pour l'apprentissage humain », *Internet des Objets*, vol. 2, n°1, 2018

Bouquet, F., Dauphin, C., Bernard, F., & Bobroff, J., « Low-cost experiments with everyday objects for homework assignments », *Physics Education*, vol. 54, n°2, 2019

Chevrier, J., « Des smartphones pour faire des expériences de physique au lycée et à l'université », 2016, hal-01176253

Cormerais, F., Le Deuff, O., Lakel, A., & Pucheu, D., « L'école et l'avenir de la culture digitale ». In V. Liquète, B. Le Blanc, & G. Rouet (Éd.), *Les élèves, entre cahiers et claviers*, Paris, CNRS Éditions, 2017, p. 87-95

Dehaene, S., *Apprendre !: les talents du cerveau, le défi des machines*, Paris, Odile Jacob, 2018

Derian, M., *Les prothèses cognitives du corps humain*, Hermes Science Publishing Ltd, 2018

Dillavou, S., Rubinstein, S. M., & Kolinski, J. M., « The virtual frame technique: ultrafast imaging with any camera », *Optics Express*, vol. 27, n°6, 2019

Druga, S., Williams, R., Breazeal, C., & Resnick, M. (2017). « "Hey Google is It OK if I Eat You?": Initial Explorations in Child-Agent Interaction », *Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children*, 2017, p. 595-600

Eiband, M., Völkel, S. T., Buschek, D., Cook, S., & Hussmann, H., « When People and Algorithms Meet: User-reported Problems in Intelligent Everyday Applications », In *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*. New York, ACM, 2019, p. 96-106

Erickson, S., & Rothberg, H., « Big Data et Knowledge Management », *Les Cahiers du numérique*, vol. 14, n°1, 2018, p. 63-82

Hochberg, K., Kuhn, J., & Müller, A., « Using Smartphones as Experimental Tools—Effects on Interest, Curiosity, and Learning in Physics Education », *Journal of Science Education and Technology*, vol. 27, n°5, 2018, p. 385-403

Hofstadter, D., & Sander, E., *L'Analogie, cœur de la pensée*. Paris, Odile Jacob, 2013

Illeris, K., « An overview of the history of learning theory », *European Journal of Education*, vol. 53, n°1, 2018, p. 86-101

Joyce, C., Pham, H., Stanton Fraser, D., Payne, S., Crellin, D., & McDougall, S., « Building an internet of school things ecosystem: a national collaborative experience », In *Proceedings of the IDC'14 conference*, New York, 2014, p. 289-292

Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E., « Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching », *Educational Psychologist*, vol. 41, n°2, 2006, p. 75-86

Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L., « Physical Experience Enhances Science Learning ». *Psychological Science*, vol. 26, n°6, 2015, p. 737-749

Kubicki, S., Pasco, D., Hoareau, C., & Arnaud, I., « Using a Tangible Interactive Tabletop to learn at school: empirical studies in the wild », *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, 2016, p. 155-166

Kuhn, J., Lukowicz, P., Hirth, M., Poxrucker, A., Weppner, J., & Younas, J., « gPhysics—Using Smart Glasses for Head-Centered, Context-Aware Learning in Physics Experiments ». *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 9, n°4, 2016, p. 304-317

Lascio, E. D., Gashi, S., & Santini, S., « Unobtrusive Assessment of Students' Emotional Engagement during Lectures Using Electrodermal Activity Sensors ». In *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, vol. 2, n°3, 2018, p. 103-103

LeCun, Y., « L'apprentissage profond : une révolution en intelligence artificielle ». *Cours au Collège de France*, Paris, France, 2016. Consulté à l'adresse http://www.college-de-france.fr/site/yann-lecun/course-2016-02-12-14h30.htm

Morin, E., *La Méthode*. Editions du Seuil, 2008

O'Neil, C., *Algorithmes : la bombe à retardement*. Les Arènes, 2018

Otlet, P., *Traité de documentation*. Editiones Mundaneum, 1934

Piaget, J., *Psychologie et pédagogie*, Paris, Denoël, 1969

Roxin, I., & Bouchereau, A., « Écosystème de l'Internet des Objets ». In N. Bouhaï & I. Saleh (dir), *Internet des Objets : Évolutions et Innovations*, Londres, ISTE Éditions, mai 2017, p. 63-106

Russel, S., & Norvig, P., *Intelligence artificielle 3e édition : Avec plus de 500 exercices*, Paris, PEARSON, 2010

Sans, J. A., Gea-Pinal, J., Gimenez, M. H., Esteve, A. R., Solbes, J., & Monsoriu, J. A., « Determining the efficiency of optical sources using a smartphone's ambient light sensor », *European Journal of Physics*, vol. 38, n°2, 2017

Serres, M., « Les nouvelles technologies : révolution culturelle et cognitive », Lille, 2007. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=ZCBB0QEmT5g

So, H.-J., Hwang, Y.-E., Wang, Y., & Lee, E., « Unpacking the Potential of Tangible Technology in Education: A Systematic Literature Review ». *Educational Technology International*, vol. 19 n°2, 2018, p. 199-202

Soualah-Alila, F., Nicolle, C., & Mendes, F., « Une approche Web sémantique et combinatoire pour un système de recommandation sensible au contexte appliqué à l'apprentissage mobile », *11e édition de l'atelier Fouille de Données Complexes*, 2014

Spyrou, E., Vretos, N., Pomazanskyi, A., Asteriadis, S., & Leligou, H. C., « Exploiting IoT Technologies for Personalized Learning ». *2018 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, 2018, p. 1-8

Stenudd, S., « Using machine learning in the adaptive control of a smart environment ». Espoo, Finlande, VTT Publications 751, 2010

Stiegler, B., *Pour une nouvelle critique de l'économie politique*, Paris, Editions Galilée, 2009

Sutjarittham, T., Gharakheili, H. H., Kanhere, S. S., & Sivaraman, V., « Experiences with IoT and AI in a Smart Campus for Optimizing Classroom Usage ». *IEEE Internet of Things Journal*, 2019

Vygotski, L. S., *Pensée et langage*. La Dispute, Paris, 1997

Westlund, J. M. K., Park, H. W., Williams, R., & Breazeal, C., « Measuring young children's long-term relationships with social robots ». *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*, 2018, p. 207-218

Yahya, S., Arniza Ahmad, E., & Abd Jalil, K., « The definition and characteristics of ubiquitous learning: A discussion », *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, vol. 6, n°1, 2010, p. 117-127