L'informatique, pour un monde plus accessible

Philippe Truillet [1]

Introduction

Dans les sociétés modernes, l'information et la communication inter-individuelles ont pris une grande importance et leur accès et partage par et pour tous représentent un enjeu de société considérable. Ne pas prendre en compte les besoins et les spécificités des personnes les plus fragiles (handicapés, personnes âgées...) revient à les exclure en leur fermant l'accès à l'éducation, au marché du travail, à la culture et à tout ce qui fait le ciment de nos sociétés. Il est à noter que dans de très nombreux pays, des lois ont été votées pour obliger les contributeurs d'information à proposer des solutions accessibles à tous. En France, la loi 2005-102 du 11 février 2005 [2] « *pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées* » affirme dans son titre IV l'obligation pour les pouvoirs publics de rendre accessibles les services de communication « *quels que soient le moyen d'accès, les contenus et le mode de consultation* ».

L'informatique joue bien évidemment un rôle clé dans l'inclusion des personnes à besoin spécifique. Elle permet notamment l'accès à l'information au travers d'outils dédiés (synthèse vocale, plages braille, périphériques spécifiques, etc.). Néanmoins, malgré la résolution de l'Assemblée générale des Nations unies [3], dont l'objectif

1. Université Toulouse 3, IRIT, UPSSITECH

2. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000809647

3. *UN General Assembly, Convention on the Rights of Persons with Disabilities : resolution adopted by the General Assembly*, 24 January 2007, A/RES/61/106, http://www.refworld.org/docid/45f973632.html

est de « *permettre aux personnes handicapées de vivre de façon indépendante et de participer pleinement à tous les aspects de la vie* » (cf. article 9), il reste des situations pour lesquelles l'accessibilité reste délicate. Permettre un accès au poste de travail informatique pour tous n'est possible qu'en prenant en compte plusieurs paramètres : l'usager dans ce qu'il est, ses capacités perceptives et cognitives, l'environnement dans lequel il vit, les performances technologiques utilisées, etc.

De multiples technologies pour l'autonomie

Il existe sur le marché un très grand nombre d'outils d'assistance (dites aussi *Assistive Technologies*) qui vont de systèmes de lecture d'écrans, de la chaise roulante à des bras robotisés en passant par les contacteurs *on-off*, *joysticks*, etc.

Ces aides ont des caractéristiques évidemment différentes suivant le niveau de handicap et/ou de la mobilité de la personne. Par exemple, pour celles qui ont des mouvements involontaires et mal coordonnés, un guide-doigt (grille posée sur un clavier physique) peut être suffisant afin d'éviter les appuis simultanés de plusieurs touches et de permettre de reposer les mains alors qu'une personne qui ne dispose plus d'aucune mobilité ni de ses membres supérieurs, on ne peut proposer que des dispositifs d'interaction comme un système de suivi du regard (*eye-tracker*) ou de suivi de tête (*head-tracker*).

Comme le souligne [Laffont et al., 2008], la possibilité de contrôler son environnement est déterminante pour la qualité de sa réinsertion sociale, familiale et professionnelle. [Verdonck et al., 2009, Pino and Brangier, 2000] définissent en outre cinq thèmes liés à l'usage des technologies : l'autonomie, la liberté, la sécurité, du temps pour soi et les relations avec les autres. Ceci démontre que ces outils doivent surtout être vus comme un droit fondamental de la personne. Malheureusement, on constate que toutes ces aides peuvent être très onéreuses surtout lorsque le handicap est lourd alors qu'elles restent nécessaires pour briser la solitude dans laquelle beaucoup de personnes sont plongées.

D'un point de vue des usages, les résultats d'un questionnaire datant de 2004 [Brochard et al., 2007], montrent que la communication (e-mail, Internet...) constitue le premier usage de l'ordinateur (82,5 %) possédé par 69,5 % des personnes. En outre, l'étude de [Kane et al., 2009] montre que de manière assez surprenante, les utilisateurs optent plutôt pour le choix de technologies répandues même si cela implique quelques difficultés d'usage.

Cependant, le simple fait d'avoir un accès aux technologies n'abolit pas forcément les barrières de l'accessibilité. [Phillips and Zhao, 1993, de Boer et al., 2009] – dans un contexte légèrement différent – soulignent que le taux d'abandon des technologies d'assistance reste important (aux alentours de 30 %) du fait d'utilisateurs

non consultés, de difficultés à obtenir les périphériques, parfois de leur faible performance ou encore du fait de changement des priorités et des besoins. Cette difficulté à comprendre les usages de tous les jours est d'ailleurs souvent reprise dans la littérature.

C'est pour cela qu'il nous semble nécessaire de développer des stratégies et services qui augmentent l'engagement des utilisateurs et de considérer les besoins à long-terme. Il semble que les technologies dites DIY (*Do-It-Yourself*, faîtes-le par vous-même) associées à une démarche de conception centrée sur l'utilisateur sont une solution intéressante pour résoudre ce problème. [Hurst and Tobias, 2011] souligne par exemple que le DIY permet un accès plus aisé à la technologie récente, qu'il réduit les temps de décision et d'implémentation avec des coûts moindres par rapport aux solutions commerciales. De plus, le mouvement DIY permet une émulation de tous les acteurs concernés et de créer des communautés riches et imaginatives.

Une nécessité de concevoir *avec* et *pour* des personnes à besoin spécifique

[Hurst and Tobias, 2011] fait, de plus, le parallèle entre le mouvement DIY et la théorie de la diffusion de l'information de [Rogers, 1995] concernant l'adoption des technologies. On retrouve peu ou prou ces étapes dans l'approche centrée utilisateur utilisée classiquement en IHM (Interaction Homme-Machine). En effet, cette approche *se focalise sur les besoins de l'utilisateur plutôt que sur la technologie* ce qui permet de réduire a priori les problèmes d'utilisabilité. Beaucoup de travaux ont été menés sur cette méthodologie et il existe un grand nombre de méthodes et d'outils pour la mettre en œuvre. Quelques règles de base pour la mise en œuvre sont définies par la norme ISO 9241-210[4]. Selon cette norme, il est, entre autre, indispensable de réaliser une « *participation active des utilisateurs* » dans les quatre phases du processus de conception : l'analyse des besoins et d'activités des utilisateurs, la production d'idées, la conception et prototypage et l'évaluation par rapport aux exigences. Quelques méthodes utilisables pour la conception sont présentées par [Muller and Kuhn, 1993]. Parmi celles-ci, la conception dite participative met en avant une collaboration tout au long du processus de conception entre différents acteurs : concepteurs, développeurs, décideurs... et les utilisateurs.

Comme nous l'avons vu précédemment, le handicap recouvre un large panel de situations individuelles différentes avec des capacités sensorielles ou actionnelles qui peuvent varier au cours du temps. Cela pose d'emblée au moins deux problèmes : (1) le temps important à consacrer afin de concevoir une aide personnalisée et (2) le travail *artisanal* requis pour répondre au mieux aux problèmes de handicap, ce qui exclut en outre la réutilisabilité du résultat.

4. https://www.iso.org/fr/standard/52075.html

Ce sont autant de raisons pour lesquelles nous plaidons, nous aussi, pour une démarche de conception d'aides techniques réellement centrée sur l'utilisateur.

Il y a, de notre point de vue, de nombreux avantages à utiliser cette méthode, particulièrement pour des personnes à besoin spécifique, d'abord parce que de nombreux outils qui leur sont destinés restent peu interopérables, assez rigides et compliqués à utiliser [Kemoun et al., 1997]. Ensuite, il nous semble important de fournir très rapidement des outils d'aide sous forme de prototypes même s'ils ne sont pas complètement fonctionnels parce que cela peut générer un « cercle vertueux » permettant d'affiner à la fois les besoins ou en créer de nouveaux.

L'étape du prototypage et le *do-it yourself*

Le prototypage est une étape essentielle à la fois pour réduire le coût de développement, pour tester l'utilisabilité d'un système ou d'une technologie, mais également pour améliorer la connaissance sur l'attitude, le comportement des utilisateurs et les fonctionnalités du système (en termes de modalités d'interaction utilisées, des stratégies d'utilisation...) [Arnowitz et al., 2006]. De plus, le prototypage permet de tester à moindre frais un certain nombre de solutions innovantes pouvant être utiles aux utilisateurs dans le contexte envisagé. Le retour sur expérience peut alors être employé pour guider les développements ultérieurs.

Dans ce sillage, l'apparition récente de plusieurs plateformes électroniques simples, peu onéreuses, *ouvertes* et programmables comme Arduino [5] et plus récemment Microbit [6] a été une véritable révolution. Ces plateformes permettent à tout un chacun de s'approprier les systèmes physiques et utiliser des capteurs ou effecteurs aussi facilement que de piloter son ordinateur.

Tout ceci ouvre donc de nombreuses perspectives dans le cadre du handicap notamment lorsque l'usage de capteurs physiques devient nécessaire pour piloter son ordinateur. En effet, l'adaptation de l'interface au regard des interacteurs adaptés (ensemble des périphériques et techniques d'entrée) et de l'évolution du handicap des patients reste souvent un problème majeur à résoudre.

Des exemples de systèmes développés et d'expérimentation

Depuis plus de vingt ans, notre équipe à l'IRIT [7] (Institut de recherche en informatique de Toulouse) travaille sur ces domaines de l'accessibilité et la recherche de méthodes et de solutions. Nous allons illustrer ci-après quelques méthodes de conception centrée-utilisateur avec quelques projets développés à l'IRIT et au sein de l'université Toulouse 3 ces dernières années.

5. `http://www.arduino.cc`
6. `https://microbit.org/fr`
7. `https://www.irit.fr`

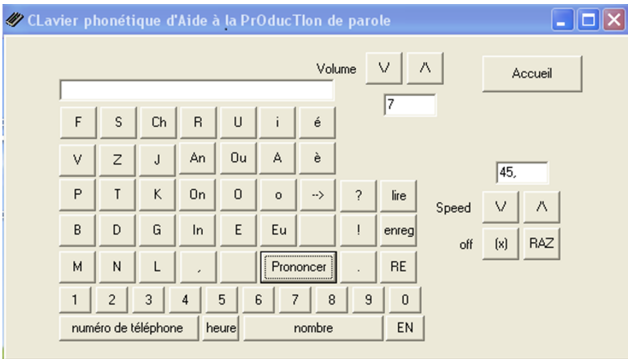

FIGURE 1. Interface logicielle de Clapoti.

Clapoti : un clavier virtuel à entrée phonétique

Ce système a été développé en 2002 sur une durée d'un an pour M. R., personne tétraplégique avec une mobilité faible des bras, mal-voyant et aphasique suite à un accident de la route. Le système Clapoti [Vella et al., 2003] est une aide technique qui permet la communication orale au travers d'un dispositif de synthèse vocale. L'objectif est de permettre une production vocale rapide en utilisant la concaténation de phonèmes (plus petite unité de sons d'une langue). Ainsi, chaque touche du clavier est associée à un caractère phonétique IPA [8] (*International Phonetic Alphabet*).

Un des besoins exprimés par M. R. était que ce système devait être utilisable pour deux situations d'interaction : en face à face ou le plus souvent à distance au travers d'un téléphone. Clapoti a donc été conçu et développé en utilisant une approche participative. Nous avons débuté par l'analyse fonctionnelle du système existant utilisé par la personne. Cette analyse a mis en exergue certains problèmes cruciaux comme par exemple celui de la saisie des messages au clavier. L'ensemble des résultats a été utilisé pour prototyper une première version de Clapoti (cf. figure 1) développée à l'aide de Mbrola [9], système libre de synthèse de phonèmes multilingues [10].

Nous avons ensuite utilisé un scénario de travail correspondant à une des activités essentielles du système à savoir la prise de rendez-vous par téléphone à l'aide du système utilisé. L'usage de scénarios en IHM permet de se focaliser d'abord sur les problèmes d'usages et non des problèmes techniques. A l'issue de cette phase,

8. `http://www.phon.ucl.ac.uk/home/wells/ipa-unicode.htm`
9. *Mbrola Project*, Faculté polytechnique de Mons (Belgique), `http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/mbrola.html`
10. Pour des applications non commerciales.

nous avons ainsi pu identifier deux problèmes récurrents : (1) la rupture de la communication par l'interlocuteur distant (qui ne comprend pas ce qui se passe – lenteur des messages tapés...) et (2) la mauvaise intelligibilité de la synthèse utilisée (voix de type robotique). Ceci a conduit à deux propositions implémentées : l'ajout d'un message d'accueil en message pré-enregistré par une voix humaine afin d'expliquer la situation (« *vous allez enter en communication avec une personne s'exprimant au travers d'une voix de synthèse...* ») et l'ajout d'un *feedback* sonore reflétant l'activité d'écriture.

Nous avons finalement évalué le prototype fonctionnel autour de deux objectifs : évaluer le type de rétroaction sonore et le message de bienvenue et évaluer le système Clapoti par un questionnaire.

Quinze personnes ont ainsi pris part à l'évaluation. Nous avons réutilisé le scénario conçu comme support à l'évaluation. En terme d'usage, il est apparu que la rétroaction *son phonétique* était intéressante car elle renseigne sur l'activité de l'utilisateur (quelle touche l'utilisateur du clavier saisit à un moment donné). Toutefois, ce retour sonore tend à faire perdre l'attention de l'interlocuteur qui demande souvent à répéter le message. Les résultats montrent aussi que si la perception du temps concernant la saisie varie en fonction de l'utilisateur, elle est considérée comme relativement longue. De manière globale, les objectifs ont été atteints dans la mesure où le dialogue n'a jamais été rompu et que les scénarios ont tous pu être menés au bout.

Prototypage et ... enseignement

L'interaction homme-machine est par essence un domaine privilégié pour une réflexion pluridisciplinaire. A contrario d'autres disciplines de l'informatique, celle-ci a l'avantage de pouvoir donner rapidement des résultats « tangibles » et palpables par les étudiants.

Malheureusement, l'enseignement de l'IHM au niveau Licence (1 à 3) reste trop souvent insatisfaisant. Les problèmes liés à la création et à la maintenance de travaux pratiques, les connaissances préalables à acquérir de la part des étudiants (langages, concepts...) et la réduction des volumes horaires d'enseignement amènent fréquemment les enseignants soit à renoncer à cette pratique soit à proposer des travaux pratiques en IHM centrés autour de la problématique des interfaces WIMP. Depuis quelques années, la technologie est suffisamment mûre et abordable du point de vue financier et permet d'appréhender une interaction « avancée ». Dans cet optique, nous avons tout d'abord expérimenté durant deux années (2015 et 2016) un enseignement « par projet » avec des étudiants de L1 volontaires. Depuis 2017, cet enseignement est intégré au cursus de L1 informatique comme unité d'enseignement optionnelle pour un groupe de TD (une quarantaine d'étudiants parmi 250 de première année en informatique cette année).

Cet enseignement s'effectue en lien étroit avec le FabLab [11] de l'université qui met à disposition son matériel : imprimantes 3D, découpeuse laser et machines CNC d'une part et avec le laboratoire commun IRIT/IJA « Cherchons Pour Voir [12] » qui permet à des professionnels de l'institut (enseignants, transcripteurs, ergothérapeutes...) de proposer des projets à destination d'enfants en situation de handicap. Outre ces différents acteurs, les doctorants, ingénieurs et chercheurs de l'équipe ELIPSE [13] sont consultants techniques pour les différents groupes constitués. Enfin, les projets s'inscrivent dans le concours T'Hacka Voir [14] organisé par « Cherchons Pour Voir ».

L'enseignement s'étale entre janvier et fin mai à raison de deux heures par semaine avec la possibilité d'étendre à quatre heures (en autonomie) au FabLab suivant les besoins. Les cinq premières séances sont réservées à appréhender les outils et logiciels utiles à la réalisation des projets : Arduino (avec un focus particulier sur les cartes Touch Board [15] et Teensy [16]), OpenSCAD [17] et Autodesk Fusion 360 [18](pour les impressions 3D), Inkscape [19] (pour la découpe laser), etc. Dès la troisième séance, les projets pré-sélectionnés sont présentés aux étudiants par l'équipe d'animation, ce qui permet d'adapter les outils et exercices aux besoins réels identifiés sur ces projets.

La suite des séances est dédiée au suivi et à l'avancement des projets et se termine par deux rendez-vous importants : une présentation formelle à destination des enseignants (dont l'objectif est de présenter le processus de conception et les aspects techniques) et une plus « festive » à l'IJA durant laquelle les projets sont présentés aux professionnels de l'institut et institutionnels (cf. figure 2).

Il ressort quelques éléments intéressants des retours étudiants. Sur l'organisation générale, il semble important de *capitaliser* le code produit d'une part et différencier le temps dédié au projet au long du semestre avec une montée en charge à la fin. Les étudiants s'avèrent très professionnels avec de bonnes interactions avec leurs conseillers et les professionnels de l'IJA.

Enfin, suivant les différents acteurs, le bilan reste contrasté :

— Pour les étudiants, il apparait que de nombreux étudiants ont au départ choisi cet enseignement *par hasard* par méconnaissance mais sont *enchantés* de cette expérience tant à la fois technique, de gestion de projet et humaine. Il

11. http://campusfab.univ-tlse3.fr
12. http://cherchonspourvoir.org
13. https://www.irit.fr/departement/intelligence-collective-interaction/elipse
14. https://thackavoir.fr
15. https://www.bareconductive.com/shop/touch-board
16. https://www.pjrc.com/teensy
17. http://www.openscad.org
18. https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators
19. https://inkscape.org/en

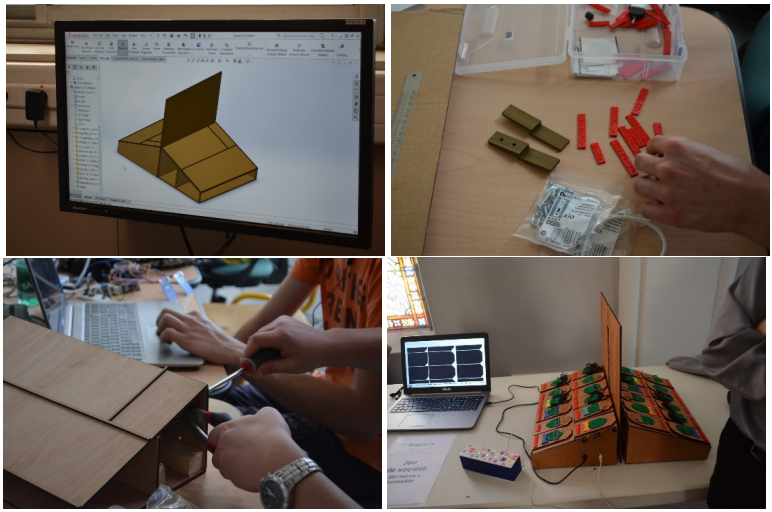

FIGURE 2. Exemple de projet réalisé – « Qui est-ce » pour permettre aux enfants aveugles de jouer avec un voyant.

ressort qu'ils ont eu le sentiment *d'avoir été utiles* en apportant des solutions et ont pu pour la première fois comprendre les besoins utilisateurs et apporter des solutions pratiques.

— Pour les enseignants-chercheurs, chercheurs et ingénieurs animateurs et consultants, ces projets ont demandé énormément de travail en amont et durant le déroulement notamment à cause de la multiplicité et l'hétérogénéité des propositions. Néanmoins, certains résultats sont *immédiatement transférables* sur des projets de recherche et a permis d'ouvrir de nouveaux horizons.

Enfin, nous avons pu constater que les résultats finaux dépendent fortement de l'implication plus ou moins forte des professionnels de l'IJA tout au long du projet.

Cette initiative suppose une forte mobilisation des enseignants, chercheurs et utilisateurs finaux ce qui reste forcément un frein à la généralisation de tels projets. Néanmoins, les retombées restent intéressantes à différents points de vue :

— utilisateur : l'innovation appelle l'innovation et les professionnels proposent des projets de plus en plus ambitieux ;

— recherche : la réalisation de prototypes par les étudiants sont repris et validés expérimentalement ;

— pédagogique : la proposition d'un enseignement qui permet d'explorer certes des aspects techniques nouveaux mais aussi une démarche de conception participative et d'initiation des méthodes de conception participative dès l'entrée en université.

CECI : des aides techniques pour des personnes en situation de poly-handicap

Dans le contexte de la conception de systèmes de suppléance, les outils et les méthodes de la conception centrée utilisateur (CCU) peuvent s'avérer inadaptés pour la participation des personnes en situation de polyhandicap (déficiences sensorielles, motrices et/ou cognitives). Cependant, exprimer un besoin est loin d'être aisé pour un utilisateur avec des troubles de la communication associés parfois à des troubles attentionnels et cognitifs. La mise en œuvre des activités de la CCU se heurte donc souvent à des difficultés dans la participation des personnes présentant des troubles de la communication. Par exemple, comment adapter un questionnaire pour le rendre plus accessible à une personne ayant une déficience cognitive ? Enfin, quelles solutions peuvent être mises en œuvre pour permettre aux utilisateurs de participer aux phases de conception malgré leurs déficiences [Vella et al., 2015, Benton et al., 2012] ?

Le système CECI (Contrôle d'environnement et communication intégrée) [Vella et al., 2015, Baudet et al., 2019] vise à rendre autonomes les personnes en situation de handicap (tétraplégie, *Locked-In Syndrom* (LIS), myopathie) qui ne peuvent pas communiquer ou contrôler leur environnement. CECI est composé de deux éléments : un boîtier de contrôle d'environnement et une interface de communication composée de pictogrammes et/ou de caractères latins.

L'objectif du travail est de concevoir une nouvelle méthodologie de conception centrée utilisateur (CCU) dans le domaine de la conception de systèmes de suppléance pour des personnes polyhandicapées résidant dans des Maisons d'accueil spécialisées (MAS). Nous avons adopté une approche spécifique en intégrant des données cliniques interprétées des personnes en situation de polyhandicap par le personnel médico-social. C'est une nouvelle approche pour pallier leur difficulté à identifier et/ou à exprimer leurs besoins en matière d'outils de suppléance.

Une batterie d'outils d'observation a été mise en œuvre par des ergothérapeutes, des psychologues et une étudiante en psychologie avec comme objectifs de qualifier les capacités motrices, de communication, d'empan mnésique, d'attention visuelle, de capacités de raisonnement et d'apprentissage. Une grille d'analyse fonctionnelle vient compléter ces mesures. Elle vise à décrire les modalités de comportement de communication, à comprendre le contexte d'apparition d'un comportement de communication et/ou d'interaction du participant, de même que sa nature et modalité, puis les réponses apportées par son écosystème. De plus, la grille permet d'identifier ses activités quotidiennes, ses centres d'intérêts et permettra, à terme, de spécifier les fonctionnalités du prototype haute-fidélité CECI.

Le véritable apport de ces sources de données est en cours de mesure lors de la phase d'appropriation de l'aide technique et de son adaptation aux exigences de la personne en situation de handicap.

TaBGo : une version du langage Scratch

Depuis la réforme du collège en 2016 [20], les outils de programmation visuelle par blocs (comme le langage Scratch [21]) sont préconisés pour permettre la découverte de la programmation. Il s'avère que ces outils sont peu, voire pas du tout accessibles, ce qui peut amener à l'exemption de l'épreuve d'algorithmique au diplôme national du brevet [22].

Nous étudions depuis 2018 une solution permettant de rendre accessible l'utilisation de ces langages par blocs pour des élèves non-voyants [Marco et al., 2018].

La solution globale comprend deux aspects. Il s'agit, d'une part, de proposer un système permettant la manipulation physique de briques en bois représentant les blocs de base du langage Scratch. Ces pièces, une fois assemblées, forment un algorithme qui est interprété par un ordinateur à l'aide d'outils de reconnaissance visuelle. D'autre part, le deuxième enjeu est d'intégrer ces outils d'interaction (robots, sorties tactiles ou sonores) rendant l'exécution des algorithmes compréhensibles pour un utilisateur non-voyant.

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à l'apprentissage par objets tangibles de la programmation pour des étudiants non-voyants ou non. Ces solutions, quoiqu'intéressantes ne s'appliquent que peu à la programmation par blocs pour non-voyants. En effet, ces langages tels que Scratch offrent une interface visuelle particulière dont les instructions sont des blocs ayant une forme spécifique au langage. Les travaux évoqués précédemment proposent seulement des outils généraux d'apprentissage de l'algorithmique pour les déficients visuels et n'offrent pas, par exemple, la possibilité d'emboîter des blocs d'instructions pour concevoir un algorithme. Quelques enseignants spécialisés en France (comme [Boissel, 2017]) se sont aussi penchés sur le problème de la construction des algorithmes de manière *débranchée* (c'est-à-dire programmer sans utiliser d'ordinateur). Cependant, ces adaptations comportent là encore des limites car elles n'ont pas été pensées de sorte que l'algorithme puisse être partagé et directement exécuté par un ordinateur rendant la pratique de la programmation restreinte à la conception.

Notre dispositif consiste donc en une version tangible du logiciel Scratch couplé avec une reconnaissance optique des blocs et des valeurs pouvant être contenues (cf. figure 3). Nous avons réalisé différents prototypes constitués d'un ensemble de blocs de bois par découpe laser. Ces pièces correspondent aux briques de base du

20. Bulletin officiel spécial n°11 du 26 novembre 2015, `http://cache.media.education.gouv.fr/file/MEN_SPE_11/35/1/BO_SPE_11_26-11-2015_504351.pdf`

21. `https://scratch.mit.edu`

22. Arrêté du 28 mars 2018, article 4, `https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=A2396BAB1360E8551D4D85DEFFF0A658.tplgfr32s_2?cidTexte=JORFTEXT000036843926&dateTexte=&oldAction=rechJO&categorieLien=id&idJO=JORFCONT000036843607`

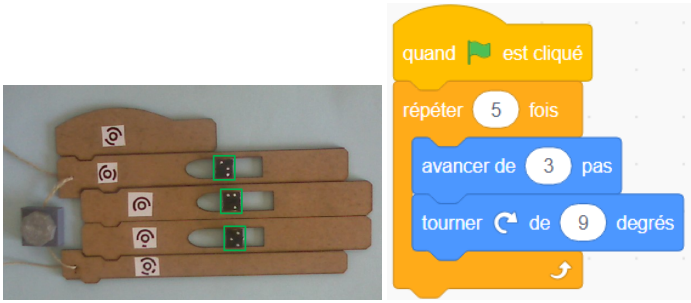

FIGURE 3. Programme Scratch tangible et programme produit sur ordinateur.

langage Scratch. Nous avons notamment testé différentes tailles et différents matériaux pour la représentation physique des briques du simple carton à des blocs en plastique coloré avec description en braille du bloc.

Le processus de génération d'un projet Scratch à partir d'un algorithme assemblé avec des blocs se déroule de la manière suivante :

— reconnaissance des codes de réalité augmentée (ici, des TopCodes [23]) ;
— reconnaissance des informations des cubarithmes [24] (cubes algébriques braille). Le principe est de reconnaître l'emplacement des cubarithmes dans un premier temps avant de procéder à la reconnaissance des valeurs ;
— connaissant l'emplacement des cubarithmes, nous pouvons alors appliquer l'algorithme de reconnaissance de caractères braille ;
— création d'une liste contenant les TopCodes ainsi que les cubarithmes reconnus. Cette liste est ensuite triée relativement aux coordonnées spatiales des objets reconnus ;
— génération du code JSON pour chaque élément de la liste obtenue, génération ;
— sauvegarde du fichier généré exploitable directement par Scratch 3.0.

L'acceptation par les utilisateurs non-voyants d'un tel dispositif débranché a déjà été évaluée notamment par [Boissel, 2017]. Notre proposition permet de les rendre autonomes par la génération et l'exécution automatique de leur programme.

Cependant, l'évaluation de l'efficacité pédagogique du dispositif proposé reste à évaluer mais ne sera possible que lorsque le retour non visuel du programme ainsi généré sera implémenté (par un robot ou via un *feedback* audio, etc.). L'apport par exemple en termes de collaboration avec des élèves voyants et d'inclusion reste aussi à évaluer.

23. `http://users.eecs.northwestern.edu/~mhorn/topcodes/`
24. `http://www.enfant-aveugle.com/spip.php?article265`

Conclusion

Au travers de ces quelques exemples, nous avons souhaité montrer que l'informatique au sens large permettait d'explorer des solutions innovantes adaptées au plus près des besoins des personnes à besoin spécifiques. Il n'est pas non plus forcément nécessaire d'être un codeur expérimenté pour pouvoir apporter des solutions utiles et utilisables.

Nous pensons qu'il est essentiel de travailler sur ce point de manière pluridisciplinaire. Il reste bien évidemment de larges champs à explorer dans ce domaine. Enfin, nous soulignons que toutes les recherches menées dans le cadre du handicap, au-delà de leur aspect social et humain évidents, ont très souvent un fort impact sur l'innovation : la télécommande est un bel exemple de technologie développée pour les personnes handicapées moteurs et utilisée quotidiennement par toute la population.

Références

[Arnowitz et al., 2006] Arnowitz, J., Arent, M., and Berger, N. (2006). *Effective Prototyping for Software Makers*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.

[Baudet et al., 2019] Baudet, R., Carrau, X., Vella, F., Truillet, P., Camps, J.-F., Mercadier, C., Gigaud, K., Fourgous, V., Blanchard, M., Serpa, A., and Vigouroux, N. (2019). Contribution of clinical data to the design of assistive systems. In *Annexes des actes de la 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019)*, pages 12 :1–7, Grenoble, France. ACM.

[Benton et al., 2012] Benton, L., Johnson, H., Ashwin, E., Brosnan, M., and Grawemeyer, B. (2012). Developing ideas : supporting children with autism within a participatory design team. In *CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2599–2608, USA United States. Association for Computing Machinery.

[Boissel, 2017] Boissel, S. (2017). Scratch débranché en braille et gros caractères. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 77(1) :183–192.

[Brochard et al., 2007] Brochard, S., Pedelucq, J.-P., Cormerais, A., Thiebaut, M., and Rémy-Néris, O. (2007). [satisfaction with technological equipment in individuals with tetraplegia following spinal cord injury]. *Annales de réadaptation et de médecine physique : revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique*, 50 :78–84.

[de Boer et al., 2009] de Boer, I. G., Peeters, A. J., Ronday, H. K., Mertens, B. J. A., Huizinga, T. W. J., and Vliet Vlieland, T. P. M. (2009). Assistive devices : usage in patients with rheumatoid arthritis. *Clinical Rheumatology*, 28(2) :119–128.

[Hurst and Tobias, 2011] Hurst, A. and Tobias, J. (2011). Empowering individuals with do-it-yourself assistive technology. In *The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '11, page 11–18, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

[Kane et al., 2009] Kane, S. K., Jayant, C., Wobbrock, J. O., and Ladner, R. E. (2009). Freedom to roam : A study of mobile device adoption and accessibility for people with visual and motor disabilities. In *Proceedings of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Assets '09, page 115–122, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

[Kemoun et al., 1997] Kemoun, Lefebvre-Donze, and Magnier (1997). Qualité de vie des personnes handicapées à domicile : impact de l'action d'une équipe pluridisciplinaire de soutien. In *Appel d'offres APF*.

[Laffont et al., 2008] Laffont, I., Biard, N., Bouteille, J., Pouplin, S., Guillon, B., Bernuz, B., and Rech, C. (2008). Tétraplégie : solutions technologiques de compensation des incapacités découlant de l'atteinte des membres supérieurs. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 24(3) :113–121.

[Marco et al., 2018] Marco, J.-B., Baptiste Jessel, N., and Truillet, P. (2018). TaBGO : Programmation par blocs tangibles. In *30e Conference francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2018)*, pages 179–185, Brest, France.

[Muller and Kuhn, 1993] Muller, M. J. and Kuhn, S. (1993). Participatory design. *Commun. ACM*, 36(6) :24–28.

[Phillips and Zhao, 1993] Phillips, B. and Zhao, H. (1993). Predictors of assistive technology abandonment. *Assistive Technology*, 5(1) :36–45. PMID : 10171664.

[Pino and Brangier, 2000] Pino, P. and Brangier, E. (2000). Environnement digital de téléactions pour handicapés : Adaptation automatique du temps de défilement aux caractéristiques et intentions de l'utilisateur.

[Rogers, 1995] Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster.

[Vella et al., 2003] Vella, Vigouroux, and Truillet (2003). A user-centered approach for designing clapoti : an assistive technology designed for speech and motor disorders. In *AAATE*, pages 289–293.

[Vella et al., 2015] Vella, F., Sauzin, D., Truillet, P., Vial, A., and Vigouroux, N. (2015). Co-design of the Medical Assistive and Transactional Technologies system. In *Journées RITS 2015*, pages pp 122–123, Dourdan, France. Congrès sous l'égide de la Société Française de Génie Biologique et Médical (SFGBM).

[Verdonck et al., 2009] Verdonck, M., Steggles, E., and Chard, G. (2009). The meaning of living with or without environmental control systems for people with tetraplegia : An irish focus group study. In *Volume 25 : Assistive Technology from Adapted Equipment to Inclusive Environments*, pages 297–302.