



HAL
open science

Ressources de connaissances dans les ateliers de fabrication : objectifs et défis

Clara Rigaud, Gilles Bailly, Yvonne Jansen

► To cite this version:

Clara Rigaud, Gilles Bailly, Yvonne Jansen. Ressources de connaissances dans les ateliers de fabrication : objectifs et défis. IHM'23: 34ème Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, Apr 2023, Troyes, France. pp.1-13, 10.1145/3583961.3583974 . hal-04015740

HAL Id: hal-04015740

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-04015740v1>

Submitted on 6 Mar 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ressources de connaissances dans les ateliers de fabrication : objectifs et défis

Knowledge Resources in Fabrication Workshops : Objectives and Challenges

Clara Rigaud
clara.rigaud@sorbonne-universite.fr
Sorbonne Université, CNRS, ISIR
Paris, France

Gilles Bailly
gilles.bailly@sorbonne-universite.fr
Sorbonne Université, CNRS, ISIR
Paris, France

Yvonne Jansen
yvonne.jansen@cnrs.fr
Univ. Bordeaux, CNRS, Inria, LaBRI
Bordeaux, France

RÉSUMÉ

Créer, utiliser et partager des ressources de connaissances est central à la culture et au fonctionnement des ateliers de fabrication. Nous présentons une revue de la littérature de recherche sur ces ressources de connaissances incluant les domaines de l'Interaction Humain Machine, mais aussi de l'Éducation et du Design. Notre revue a pour résultat l'identification de quatre objectifs que les makers peuvent poursuivre lors de la création d'une ressource : (1) Représenter un projet de fabrication, (2) Réutiliser son travail, (3) Supporter la réflexion et (4) Communiquer. Pour chacun de ces objectifs, nous formalisons deux défis auxquels le maker peut être confronté. Nous illustrons ensuite, au travers de quatre exemples, comment notre ensemble de défis peut être utilisé comme grille d'analyse pour comparer différentes approches, avant de discuter de la relation entre les défis et les outils visant à les relever.

ABSTRACT

Creating, using, and sharing knowledge resources is central to the culture and practice of fabrication workshops. We present a review of the research literature on these knowledge resources including the fields of Human Computer Interaction, but also Education and Design. Our review results in the identification of four goals that a maker may pursue when creating a resource: (1) Representing a fabrication project, (2) Reusing one's work, (3) Supporting reflection et (4) Communicating. For each of these goals, we articulate two challenges that the makers may face. We then illustrate, through four examples, how our set of challenges can be used as a grid to compare different approaches, before discussing the relationship between the challenges and the tools to address them.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **HCI theory, concepts and models**;

MOTS CLÉS

fabrication, documentation, tutoriel, portfolio, atelier, culture maker, DIY

KEYWORDS

fabrication, documentation, tutorial, portfolio, workshop, maker culture, DIY

ACM Reference Format:

Clara Rigaud, Gilles Bailly, and Yvonne Jansen. 2023. Ressources de connaissances dans les ateliers de fabrication : objectifs et défis: Knowledge Resources in Fabrication Workshops : Objectives and Challenges. In *IHM '23: Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine (IHM '23), April 3–7, 2023, TROYES, France*. ACM, New York, NY, USA, 13 pages. <https://doi.org/10.1145/3583961.3583974>

1 INTRODUCTION

Les ateliers de fabrication, parfois nommés makerspaces, fablabs ou hackerspaces, sont des espaces pourvus de différentes machines et matériaux permettant la fabrication, le prototypage et la réparation d'objets. Ces lieux nés de la philosophie *hacker* dans les années 1990, ont gagné en popularité vers les années 2010 notamment du fait du mouvement maker [11], formant une communauté à la fois locale et en ligne autour de pratiques variées. Aujourd'hui, les ateliers de fabrication se sont largement démocratisés et accueillent un large public de tous âges et toutes professions. Il est ainsi fréquent de trouver des ateliers de quartier, installés dans les bibliothèques ou les écoles, notamment du fait des opportunités sociales et pédagogiques qu'ils rendent possibles [61]. Les usagers des ateliers de fabrication échangent directement au sein de l'espace ou lors d'événements autour des pratiques *Do It Yourself* [40], présentent leurs projets, collaborent et partagent des techniques particulières entre eux [41, 77]. Ces ateliers sont souvent ouverts (open spaces) permettant ainsi de promouvoir des activités et de favoriser le dialogue, la curiosité et les échanges d'idées entre personnes [77]. Partager son savoir-faire et échanger autour des pratiques de fabrication est donc au coeur de la philosophie de ces espaces [25, 34, 50, 68], et donne ainsi lieu aux *ressources de connaissances*.

Créer, utiliser et partager des ressources de connaissances liées à la fabrication est une pratique commune à différents domaines, et la recherche sur ce sujet est donc dispersée dans différentes communautés. Il apparaît que les terminologies utilisées pour décrire ces ressources diffèrent selon ces communautés, et les objectifs et défis associés à ces ressources ne sont pas toujours clairs. Dans cet article, nous présentons les résultats d'une revue de la littérature à partir de 36 publications en IHM, en éducation et en design, abordant le sujet des ressources de connaissances liées aux activités de fabrication. Nous identifions quatre objectifs principaux que ces ressources partagent au moins partiellement. Pour chacun de ces objectifs, nous identifions un ensemble de défis que nous illustrons par les outils décrits dans la littérature, et qui tentent de relever ces

défis. Enfin, nous illustrons comment utiliser ces objectifs et défis comme grille d'analyse permettant de comparer, concevoir et/ou d'évaluer les technologies supportant la création de ressources de connaissances, ainsi que des opportunités de recherche.

2 ÉTAT DE L'ART

Il ne semble pas à notre connaissance exister de revue de littérature au sujet des ressources de connaissances dans le contexte de la fabrication ou du DIY. Différents travaux ont exploré le phénomène maker et les ateliers de fabrication, en observant leur évolution [80], caractéristiques [1, 12, 57, 60, 75] ainsi que leur impact sur les usagers [43]. Une partie de ces travaux se concentre sur des contextes particuliers comme l'apprentissage [49], les entreprises [53], l'entrepreneuriat [58], ou des populations spécifiques comme chez l'enfant [74]. D'autres revues de littératures se sont intéressées aux valeurs générées par ces ateliers [24], comme la diversité et l'inclusivité [42], la créativité [63], la réflexion [3], ou les frustrations [30]. Certains travaux se sont concentré sur les modes d'évaluation dans un contexte scolaire permis par la création de journaux par exemple [36], ou par la narration [52]. Nous n'avons rencontré aucune revue de littérature se concentrant sur le sujet des tutoriels, des portfolios ou des documentations en lien avec de activités de fabrication. La plus proche à notre connaissance est celle de Quah and Ng [52] qui a la particularité d'énumérer et classer certains outils pour supporter la narration, mais ne concerne pas le contexte de la fabrication et se concentre spécifiquement sur la dimension narrative des ressources de connaissances.

3 MÉTHODOLOGIE

Nous décrivons la méthodologie utilisée lors de l'agrégation des articles composant notre revue de littérature, ainsi que la manière dont nous avons identifié les objectifs et défis.

3.1 Définition de la requête de recherche

Nous avons commencé notre recherche à partir d'un corpus de 21 articles sélectionnés de manière organique, c'est-à-dire des articles que nous avons trouvés au cours d'une activité de lecture régulière, en suivant les références dans des articles que nous avons consultés, ou en consultant le programme de conférences récentes. Nous avons ensuite relevé tous les mots clés de chacun de ces articles, pour identifier d'une part les mots clés récurrents et d'autre part, les déclinaisons de certaines racines de mots clés (e.g. 'maker' correspond aux mots clés 'maker community', 'makerspace', ...). Nous avons ensuite classifié ces mots clés selon s'ils identifient le *CONTEXT* (eg. makerspace) ou le *SUPPORT* (eg. documentation). Nous avons ainsi construit notre requête en suivant la logique : $Keywords \subset AND(OR(x, x \in SUPPORT), OR(y, y \in CONTEXT))$, aboutissant à la requête suivante :

("tutorial" OR "documentation" OR "documenting" OR "knowledge sharing" OR "fabrication knowledge" OR "portfolio") AND ("maker education" OR "digital fabrication" OR "maker community" OR "maker communities" OR "making culture" OR "maker culture" OR "fablab" OR "fab lab" OR "fabrication laboratory" OR "fabrication laboratories" OR "fab academy" OR "maker space" OR "makerspace")

CONTEXTE

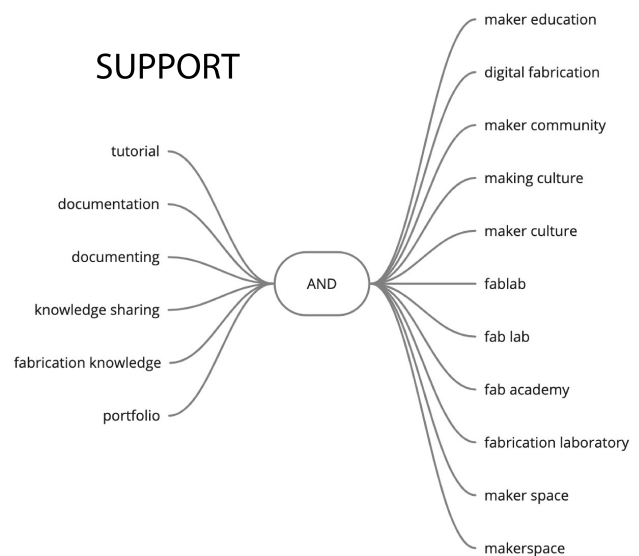


FIGURE 1: Notre requête de recherche comprend toutes les combinaisons entre les termes de support et de contexte.

Cette requête (également illustrée par la figure 1) a été effectuée sur Scopus¹ à l'aide du logiciel Publish or Perish² le 25/08/2022. Elle retourne 139 résultats, dont 1 doublon et 6 articles déjà présents dans notre corpus de 21, soit 132 nouveaux articles.

3.2 Critères d'exclusion

Une première analyse du titre et du résumé a permis d'exclure les articles ne correspondant pas aux critères suivants :

- article rédigé intégralement en anglais (3)
- article scientifique long issue d'une conférence ou un journal soumis à la révision par les pairs (32)
- article au format pdf (0)
- article correspondant au contexte des ateliers de fabrication, au DIY (29)
- article étudiant le sujet des ressources de connaissances (22)
- article référent à une étude, un outil précédé ou suivi d'une étude (10)

Le nombre d'article exclus selon chacun des critères est entre parenthèse. Cette première analyse a aboutit à l'élimination de 93 articles. Nous avons ensuite éliminé 24 articles supplémentaires que le filtrage à partir du résumé n'avait pas suffi à identifier selon nos critères. Au final, notre corpus contient 21 + 15 = 36 articles.

1. <https://www.scopus.com/>

2. <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>

3.3 Stratégie d'analyse du corpus

Pour créer notre grille d'objectifs et défis associés aux ressources de connaissances, nous avons procédé en deux temps. Nous avons d'abord réalisé une lecture de notre corpus initial (21 articles) à partir duquel nous avons défini une liste d'objectifs liés aux ressources de connaissances. Cette première grille nous a ensuite permis de réaliser une lecture thématique de l'ensemble du corpus (36 articles) pour tester et évaluer ces objectifs, et d'identifier des défis associés à chacun de ces objectifs. Au final, nous avons consolidé notre analyse sous la forme d'une grille d'objectifs et défis avec lesquels chaque contribution peut être décrite et comparée, comme le montre le tableau 1. Nous décrivons les objectifs et défis de notre grille dans la section 5, et nous donnons des exemples de comment utiliser cette grille pour décrire et comparer différentes contributions dans la section 6.

3.4 Limitations

Des choix dans notre méthodologie ont introduit certaines limitations. D'abord, nous voulions obtenir un corpus représentatif de tous les champs de recherches abordant le sujet des ressources de connaissances. Nous avons ainsi choisi *Scopus*, qui était la seule base de donnée ne restreignant pas le nombre de caractères de la requête et qui par sa taille nous a contraint à réaliser une requête relativement fermée. En effet, tous les articles traitant des ressources de connaissances, ne précisent pas toujours le *CONTEXT* dans leurs mots clés. Ensuite, nous voulions que notre requête soit *reproductible*, et avons ainsi identifié un ensemble de mot clés les plus fréquents. Ces choix ont pour conséquence que certains articles qui auraient pu être intégrés au corpus ne répondaient pas à cette combinaison de mot clés, tant la variété terminologique est riche. Néanmoins, ce corpus a l'avantage d'être suffisamment varié pour couvrir un large ensemble de domaines de recherche, ce qui était notre critère principal, et qui nous permet d'identifier une grille d'objectifs à partir d'un champs de problématiques riche.

4 TERMINOLOGIE

Avant de présenter les résultats de notre analyse de la littérature, nous résumons ici les différents termes utilisés pour les ressources de connaissances dans la littérature sur la fabrication. Nous donnons ainsi un aperçu des termes utilisés ainsi que des différents contextes dans lesquels les ressources de connaissances sont créées ou utilisées.

4.1 Maker

Plusieurs termes en IHM définissent les communautés d'usagers d'ateliers de fabrication et DIY (Do-It-Yourself) : Crafters, Hackers, Experts, Amateurs, Makers, Hobbyists [11, 35, 56, 67]. Le plus populaire est probablement Makers. Dans cet article, nous considérons tout usager d'atelier de fabrication et employons le terme *maker*. Dans ce sens, nous nous inspirons de la définition de Roedel et al. [56] : une personne passionnée ou non, active dans une communauté ou non et qui fabrique.

4.2 Projet et activités de fabrication

Les *makers* fréquentent les ateliers de fabrication dans le cadre de projets pouvant s'étaler sur une période plus ou moins longue,

incluant parfois plusieurs itérations [71]. Nous distinguons dans cet article *projet* et *activité*. Un projet est décrit comme une suite d'activités ayant lieu au sein de l'atelier, ou à l'extérieur de l'atelier, dépendamment de si elles requièrent l'utilisation de l'espace ou non. Par exemple, un projet consistant à réaliser un porte clé en impression 3D comporte plusieurs activités : une activité de Conception Assistée par Ordinateur pour le modèle 3D, une activité d'impression qui peut éventuellement mal tourner, et une activité d'assemblage pour attacher la chaîne du porte clé à la forme imprimée. L'activité de fabrication est un élément plus atomique, que l'on définit ici comme une interaction avec des objets et matériaux, ayant lieu dans l'atelier de fabrication.

4.3 Ressources de connaissances

Différents termes font référence aux ressources de connaissances issues des activités de fabrication, au DIY et à la *culture maker*. Selon le contexte, le domaine de recherche, la raison de créer ou d'utiliser des ressources, on parle de *documentation*, de *portfolios* (*assessment portfolios*, *maker portfolios*), de *how-to's* ou de *tutoriels*. Nous résumons ci-dessous nos observations concernant l'utilisation principale de ces trois termes. Dans la suite de cet article, nous nous abstenons d'utiliser l'un ou l'autre de ces termes plus spécifiques et ferons simplement référence aux ressources de connaissances.

Portfolio : Les portfolios semblent à l'origine regrouper des ensembles de projets et servent aux auteurs de vitrine pour donner une impression de leur travail [31]. Dans le cadre de l'apprentissage, ces portfolios sont utilisés comme outil d'évaluation tout au long d'un projet, les *makers* peuvent ainsi y faire figurer le processus, les décisions et les choix pris au fil du projet [2, 9, 14, 15, 17, 62, 71, 73, 79]. Le portfolio est donc vu comme une ressource de connaissances créée librement par son auteur, ou bien requise par les responsables pédagogiques dans un contexte d'apprentissage. Sa vocation n'est pas nécessairement d'être réutilisé pour permettre la reproduction d'un projet par autrui bien que l'auteur soit libre de fournir ce niveau de détail, mais plutôt de servir de support de travail à l'auteur. Le portfolio a pour objectif de s'intégrer au fil du projet, et stimuler l'engagement et les retours d'autrui, la réflexion de l'auteur tout au long du projet, et donner de la visibilité une fois le projet terminé en intégrant une part de la personnalité de l'auteur [31, 39, 51].

Documentation : Le terme documentation est utilisé de différentes manières dans la littérature, parfois englobant les instructions en ligne [44], intégrant ou non la vision de l'auteur, parfois faisant davantage référence à un outil de travail, permettant de garder une trace et servant d'outil de réflexion et de communication [9, 71, 72]. La documentation de projet telle que définie ici se rapproche de celle adoptée par la charte des Fablabs³, stipulant que le partage de connaissance fait partie de la responsabilité de tout usager d'un Fablab, et ainsi que chaque projet fait dans le cadre de l'atelier doit être accompagné d'une documentation permettant à autrui de réutiliser le travail d'un autre. Il semble donc que la documentation ait vocation à être réutilisée par autrui dans le contexte d'un autre projet, et servir de support de réflexion tout au long du projet [9].

3. <http://fab.cba.mit.edu/about/charter/>

Objectifs	Défis	[39]	[7]	[17]	[72]	[44]	[10]	[23]	[9]	[62]	[68]	[8]	[14]	[79]	[35]	[78]	[76]	[15]	[38]	[31]	[27]	[13]	[46]	[26]	[21]	[2]	[47]	[71]	[28]	[32]	[37]	[59]	[4]	[6]	[73]	[67]	[51]		
Représenter	Faciliter la création de ressources pendant l'activité	+	+	+	+	+	+																																
	Faciliter la création de ressources pendant le projet	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+																							
Réutiliser	Encourager la complétude de l'information	+	+	+	+	+		+	+	+							+	+	+	+	+	+	+																
	Encourager la compréhensibilité de l'information		+				+					+					+								+														
Réfléchir	Réfléchir à son approche et ses progrès			+	+	+		+	+					+	+											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Réfléchir à plusieurs						+	+	+		+			+	+					+																		+	
Communiquer	Exprimer ses connaissances et son identité						+		+	+										+	+						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Faire partie d'une communauté								+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

TABLE 1: Comparaison des 36 articles de notre revue de littérature pour chaque objectif et défi de notre grille d'analyse. Note : Seulement les défis explicitement spécifiés dans chacun des articles sont marqués d'une croix.

Tutoriel - How-to : Les tutoriels ou how-to's sont les ressources de connaissances aux limites les mieux définies dans la littérature. Un tutoriel sert à expliquer un procédé, et dans le cas d'activités de fabrication, permet de répliquer un objet en détaillant les étapes, outils et matériaux nécessaires à la reproduction de cet objet. Les tutoriels prennent différentes formes : essentiellement des pages web [35, 67, 68] et des tutoriels vidéo [7]. Les motivations derrière la création de tutoriels sont parfois altruistes lorsqu'elles s'intègrent dans la philosophie open source des makers. Les tutoriels sont essentiellement faits pour être utilisés dans le cadre du travail d'autrui ce qui en fait peut être la forme de ressources de connaissances la plus exigeante. Ils doivent, par conséquent, faire preuve d'une certaine qualité pour permettre la reproductibilité. Dans certains cas, les auteurs publient leur avancement au fur et à mesure pour créer des échanges et obtenir des retours dans les sections de commentaires comme sur *Instructables* [68] en adoptant des styles plus narratifs [27] et sont utilisés comme support de communication [35, 59].

5 RÉSULTATS

Notre analyse identifie quatre objectifs pour les ressources de connaissances dans les ateliers de fabrication : (1) **Représenter un projet de fabrication**, (2) **Réutiliser son travail**, (3) **Supporter la réflexion** et (4) **Communiquer** autour de son projet et ses compétences. Selon le contexte dans lequel une ressource de connaissances est créée ou utilisée, seuls certains de ces objectifs peuvent s'appliquer. La figure 2 illustre comment les objectifs peuvent se chevaucher et fournit des exemples de ressources de connaissances pour lesquelles différents objectifs peuvent être combinés. Nous présentons maintenant ces 4 objectifs qui organisent les défis identifiés de notre analyse de la littérature.

5.1 Objectif transversal : Représenter un projet de fabrication

Représenter un projet de fabrication est un objectif transversal à toutes les ressources de connaissances. En effet, toutes ces ressources représentent un projet de fabrication, c'est-à-dire qu'elles sont le résultat de la transformation d'un ensemble d'interactions physiques et virtuelles ayant lieu en parallèle du projet de fabrication. Ce dernier est composé d'un enchaînement d'activités ayant lieu en général dans plusieurs endroits de l'atelier et réparties sur une échelle de temps plus ou moins longues (jours/mois) selon

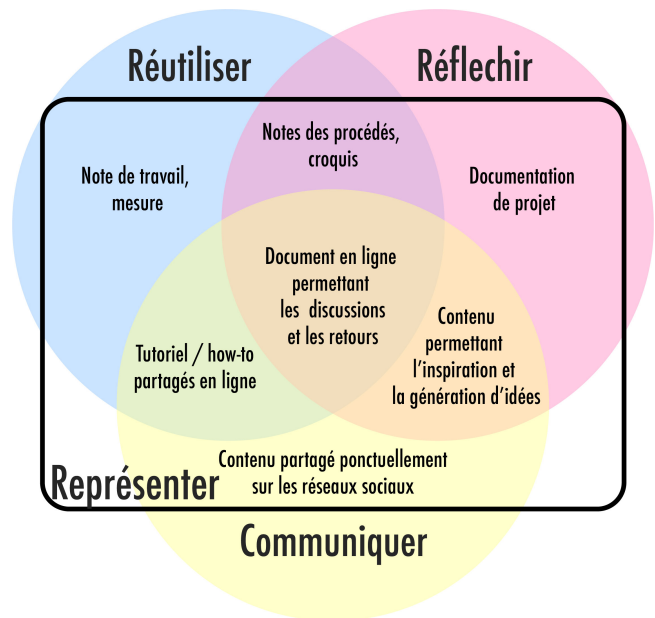


FIGURE 2: Les quatre objectifs identifiés que les makers peuvent poursuivre lors de la création d'une ressource de connaissances. Représenter un projet de fabrication sous une forme ou une autre est un objectif transversal à toutes les ressources. Les objectifs plus particuliers sont Réutiliser, Réfléchir et Communiquer. La figure fournit des exemples de ressources pour lesquelles des objectifs se chevauchent différemment.

son envergure. Ainsi, générer une ressource de connaissances expose les makers à différents défis à la fois pendant les activités de fabrication et sur toute la durée du projet.

Faciliter la création de ressources pendant l'activité. Pendant les activités dans l'atelier, la fabrication et la création de ressources de connaissances sont deux activités en conflit [10, 72], à la fois cognitivement et physiquement. Lorsque les makers travaillent dans l'atelier, ils consacrent généralement l'essentiel de leur attention à la tâche en cours. Documenter cette tâche leur implique donc de transférer leur attention de la fabrication à la documentation [23], un processus coûteux qui amène souvent à

oublier de documenter. Ces oublis sont d'autant plus fréquents lors de problèmes requérant des efforts pour le résoudre [17, 39]. La tâche de fabrication et la documentation nécessitent également toutes deux des manipulations physiques de la part des *makers*, en particulier avec les mains, rendant parfois la capture d'information impossible ou nécessitant l'usage d'outils supplémentaires [7, 44], ces outils entrant parfois eux même en conflit avec l'activité (comme dans le cas de trépieds par exemple) [7]. De plus, les équipements nécessaires ne sont pas toujours disponibles ou adaptés aux besoins des *makers* pour facilement prendre des notes ou capturer des traces visuelles [8]. Il est donc important de réduire les difficultés liées aux interférences entre documentation et fabrication, et de rendre cette tâche accessible et rapide [10].

Faciliter la création de ressources pendant le projet.

En plus des difficultés liées aux contraintes physiques et cognitives pendant l'activité, les *makers* sont exposés à d'autres barrières pendant la durée de leur projet : Une fois le contenu capturé, il faut parfois le retrouver parmi ses fichiers, choisir la bonne illustration ou le bon fichier, ce qui demande une organisation ou un effort particulier [9, 39]. La transformation et l'édition de la ressource nécessitent aussi des compétences spécifiques permettant de modifier, transformer le contenu et éventuellement le transmettre à autrui [35, 44, 72, 78]. Enfin, communiquer un procédé requière également d'être capable de décrire et montrer ses idées dont les concepts sont parfois abstraits ou expriment des connaissances tacites et difficiles à véhiculer visuellement ou textuellement [17, 68, 79]. Ainsi, créer une ressource de connaissances est une tâche difficile pour les *makers* [14, 72, 79], et qui prend du temps [14, 23, 35, 62, 72, 79]. Certains *makers* considèrent cette tâche comme secondaire, ennuyeuse et inutile à la réalisation de leur projet de fabrication [7, 79]. Sa création est alors souvent faite à la fin du projet [23, 62, 72], rendant impossible certains des objectifs que nous détaillerons après (Voir Réutilisation (Section 5.2) et Réflexion (Section 5.3)), ou pas faite du tout [79].

5.2 Objectif particulier : Réutiliser son travail

Un des objectifs des ressources de connaissances est de pouvoir être réutilisée par d'autres personnes. Des *makers* peuvent l'utiliser comme source d'inspiration [9, 31] dans le cadre de leur propre travail, comme référence pour comprendre le procédé ou une technique particulière [9, 15]. La ressource de connaissances peut servir de point de départ dans le cadre du projet [9, 10], et de guide pour reproduire un projet [13]. Dans le cadre éducatif, la ressource est utilisée pas des enseignants comme support d'évaluation [17, 39]. Réutiliser son travail implique donc de construire une ressource de connaissances qui soit un outil de travail complet et compréhensible pour autrui. La ressource doit donc contenir la quantité d'information nécessaire, c'est à dire tous les détails et étapes, et doit être de qualité suffisante pour être correctement interprétée.

Encourager la complétude de l'information.

Pour permettre à quelqu'un d'autre de comprendre le procédé présenté, la ressource doit comporter la quantité d'informations nécessaires avec un niveau de détail suffisant [44, 76]. À l'image d'une recette, tous les ingrédients : outils, composants, matériaux et références utilisés doivent être spécifiés [46, 68, 76]. Cependant, obtenir

le bon niveau de détail est difficile pour plusieurs raisons. La première est qu'il est complexe d'anticiper les informations qui seront utilisées lors de la création de ressource, il faut d'abord établir l'utilité qui en sera faite [9, 10, 15], qui peut varier d'une personne et d'un contexte à l'autre. La deuxième raison est que le contenu nécessaire à la description peut ne pas avoir été capturé au moment de la fabrication, parce que la personne a oublié [17, 38, 72], n'a pas jugé cela important au moment de l'activité [10, 39] ou que les outils ne le permettaient pas [7]. Ce manque de détails est intensifié lorsque les étapes de la ressource concernent les moments de bug, ou de tentatives abandonnées ou ratées [17, 39, 72]. Si la quantité de détails est suffisante, il arrive parfois que la fréquence des étapes constituant la ressource soit insuffisante et que toutes les étapes ne soient pas bien explicités [17], rendant la compréhension du procédé difficile ou ne permettant pas de rendre compte du réel raisonnement de l'auteur [62, 76]. Il est en effet parfois utile ou nécessaire de connaître les étapes intermédiaire, infructueuses, ayant mené à un changement de stratégie dans le processus.

Encourager la compréhensibilité de l'information.

La compréhension d'une étape est aussi impactée par la qualité, la clarté et la cohérence des contenus décrivant le processus [76]. La capture de contenu visuel (image et vidéo) joue un rôle important dans la compréhension de la tâche : la résolution doit être suffisante et l'éclairage et le point de vue bien adaptés, ce qui n'est parfois pas rendu possible par des outils de capture dont la résolution n'est pas suffisante ou manquant des stabilité [7, 8, 44]. Il arrive également que les éléments soient présentés sans contexte, que les images ou captures d'écrans ne soient pas associés d'une légende, ou parfois même que les textes associés aux images ne correspondent pas [76].

5.3 Objectif particulier : Supporter la réflexion

Lorsque la ressource de connaissances est construite en parallèle du projet, elle devient un support pour voir le déroulé et l'avancée du projet de fabrication. Une des raisons associées à la création de ressources de connaissances est qu'elle permet de garder une trace de l'évolution du projet de fabrication [2, 9, 14, 15, 17, 62, 71, 73, 79], permettant ainsi aux auteurs de se référer aux décisions prises dans le passé [14, 71], seul ou à plusieurs.

Réfléchir à son approche et ses progrès.

La ressource de connaissances peut servir de support de réflexion pendant l'activité [10, 21] et sur la durée du projet, en permettant de prendre du recul, de considérer les difficultés et problèmes rencontrés, les approches et solutions trouvées [6, 9, 10, 14, 28, 37, 44, 62, 62, 73]. Elle permet également de prendre conscience de ses propres progrès [4, 9, 32, 62], et considérer sa propre pratique [9, 59]. La création de ressources permet aussi de structurer les étapes du projet, de planifier et organiser les activités à venir [4, 17, 28, 72, 79], se coordonner avec les autres personnes participant au projet [9], et rester concentré sur l'agenda des activités [10, 72]. Pour permettre à la ressource de supporter ces réflexions pendant le projet, il est important que l'intégralité des étapes et des détails soient intégrés au fil du temps à la ressource [4, 38, 62, 71, 72].

Réfléchir à plusieurs.

Lors de projets impliquant plusieurs personnes, la ressource peut servir de support de réflexion et de discussion [10, 23, 71, 79], en

permettant à son auteur de présenter ses idées afin d'obtenir de l'aide pendant son projet et des retours de la part d'enseignants, de pairs ou d'experts. Il est important que les ressources puissent servir de support à ces échanges autour des projets, par exemple en offrant des espaces de discussion co-localisés ou à distance, par l'intermédiaire desquels des avis et conseils d'autres *makers* peuvent provoquer certaines prises de décisions en offrant de nouvelles perspectives [9, 31, 35, 67, 68, 71].

5.4 Objectif particulier : Communiquer

Le dernier objectif associé aux ressources de connaissances est de permettre aux *makers* de communiquer et de créer une identité au sein d'une communauté plus large en diffusant son travail. En effet, partager son travail permet d'une part de communiquer autour de ses compétences, de créer une identité en ligne, et d'autre part de générer une communauté de personnes intéressées par les mêmes choses.

Exprimer ses connaissances et son identité.

La ressource de connaissances rend compte des efforts, des difficultés rencontrées et des techniques entreprises [9, 71]. Elle permet de communiquer la connaissance et les techniques utilisées et maîtrisées [28, 31, 32, 44, 62], particulièrement nécessaire dans un cadre d'apprentissage pour attester de sa maîtrise. Communiquer son savoir permet également de pouvoir exprimer son identité et sa place dans la société, comme moyen d'être reconnu par son travail, ses compétences, et ses valeurs [31, 32, 37], et permet de raconter son histoire à travers le projet [51, 59, 71]. Ainsi, il est important que les *makers* puissent s'approprier ces ressources de connaissances pour qu'elles puissent être valorisées à l'extérieur du contexte de l'atelier ou de l'enseignement [51].

Faire partie d'une communauté.

Enfin, la création de ressources de connaissances peut permettre à son auteur d'intégrer une communauté de personnes aux mêmes passions, intérêts, pratiques [51], rassemblés autour d'une même philosophie, culture d'entraide et de partage [67, 73, 78, 79]. La ressource incarne une volonté d'aider, de construire ensemble et de fabriquer pour les autres [6, 9, 13, 14, 31, 32, 37, 59]. En servant de support de discussion, la ressource peut être engageante, stimuler les échanges autour de pratiques de fabrication, inspirer des projets futurs [4, 31, 51]. Les visiteurs peuvent proposer des améliorations au projet [14, 31, 46, 51, 62, 68], poser des questions ou demander des clarifications à l'auteur [35, 68]. Enfin, les ressources peuvent servir d'illustration des activités, outils, composants, accessibles dans l'environnement de l'atelier [6, 14, 28] et à partager des expériences entre différents ateliers [4].

6 ANALYSE DES OUTILS POUR SUPPORTER LES OBJECTIFS ET DÉFIS DES RESSOURCES DE CONNAISSANCES

Dans la section précédente, nous avons présenté 4 objectifs et 8 défis associés aux ressources de connaissances. Dans cette section, nous décrivons 4 outils existants consacrés à la création de ressources de connaissances à partir de notre grille de défis. Ensuite, nous utilisons notre grille pour comparer les différentes stratégies utilisées par ces outils pour répondre à ces défis.

Objectifs	Défis	Build-In-Progress [71]			
		ShowHow [7, 8]	Project Reflection Tool [10]	DoDoc [22]	
Représenter	Faciliter la création de ressources pendant l'activité		+		+
	Faciliter la création de ressources pendant le projet	+	+	+	+
Réutiliser	Encourager la complétude de l'information		+		
	Encourager la compréhension de l'information		+		
Réfléchir	Réfléchir à son approche et ses progrès	+		+	+
	Réfléchir à plusieurs		+		+
Communiquer	Exprimer ses connaissances et son identité				
	Faire partie d'une communauté		+		

TABLE 2: Analyse de 4 outils à partir de notre grille de défis

6.1 Présentation et description des 4 outils

Nous avons sélectionné 4 outils pour la diversité des défis qu'ils adressent, alors même qu'ils reposent sur des technologies relativement similaires. Le tableau 2 montre comment ces outils peuvent être décrits à travers des colonnes de notre grille. Avec cette grille, nous identifions les différents défis adressés par ces outils, alors qu'ils n'étaient pas toujours explicités par les auteurs dans les articles associés.

Build-In-Progress [71] : Build-In-Progress est une application en ligne construite pour permettre aux *makers* de publier des étapes d'un projet en cours afin de garder des traces du procédé et d'obtenir des retours au fil du projet. Les étapes sont constituées d'images, de vidéos et de texte, et peuvent être organisées selon un arbre, afin de visualiser l'intégralité du projet en incluant les tentatives infructueuses ou abandonnées (figure 3). Ainsi, BiP permet de *faciliter la création de ressources pendant le projet*, de *réfléchir à son approche et ses progrès* et de *réfléchir à plusieurs*. Il est intéressant de noter que comme le montre le tableau 1, le défi "*Faciliter la création de ressources pendant le projet*" n'est pas spécifié dans les contributions de l'article. L'outil est rendu accessible en ligne et permet aux visiteurs de commenter ces projets, de donner ou obtenir de l'aide de la part de la communauté. Le site (qui n'est plus accessible aujourd'hui⁴) permettait ainsi aux *makers* de *faire partie d'une communauté*.

ShowHow [7, 8] : ShowHow est un outil composé d'une interface consacrée à l'édition d'un tutoriel et d'une application Google Glass consacrée à la capture d'images et de vidéos (Figure 4). L'ensemble du système propose de capturer des images et vidéos directement depuis les lunettes Google Glass, en facilitant la manipulation d'objets avec les mains, tout en transférant directement le contenu capturé vers une interface d'édition, permettant ainsi à la fois de *faciliter la création de ressources pendant l'activité* et *pendant le projet*. En facilitant la prise de vue sous un angle à la première personne, et en supportant la mise en forme d'un tutoriel en permettant d'y

4. <http://buildinprogress.media.mit.edu/>

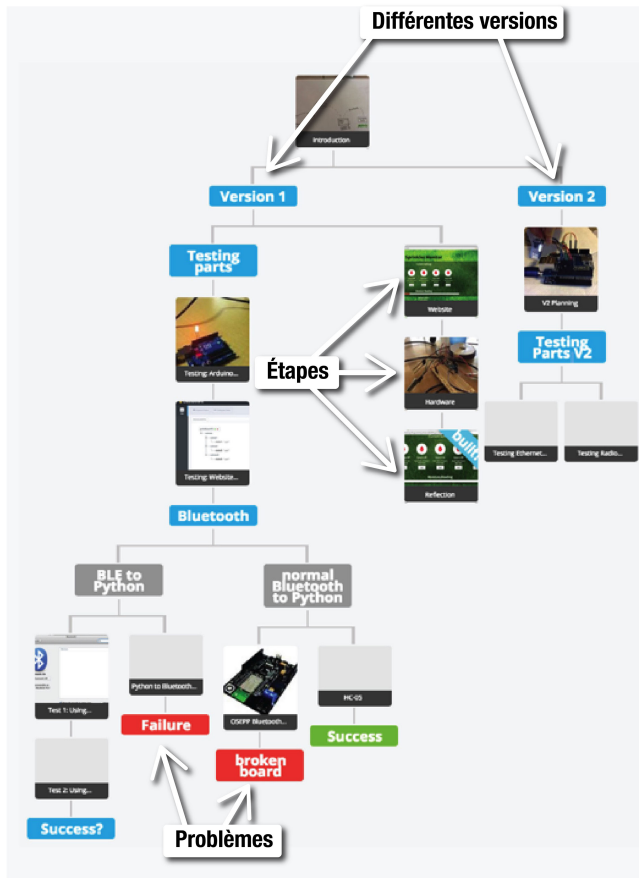


FIGURE 3: Build-In-Progress est un outil proposé par Tseng [71] pour permettre le partage des étapes d'un projet dans le temps, et obtenir des retours sur ces étapes

ajouter des annotations et des fichiers annexes, ShowHow permet aussi d'*encourager la complétude de l'information* et d'*encourager la compréhensibilité de l'information*.

Project Reflection Tool [10] : L'outil Project Reflection Tool (PRT) est une plateforme Web créée pour les designers, partagée entre plusieurs collaborateurs et permettant une visualisation de l'avancée d'un projet dans le temps. Il est basé sur un ensemble d'éléments préstructurés comportant des Événements, Sous-événements, Notes que les *makers* peuvent créer au fil du projet. La ressource est ainsi structurée et visualisable sous forme de pages Web. PRT est spécifiquement conçu pour *réfléchir à son approche et ses progrès* et pour *réfléchir à plusieurs* sur un projet collaboratif, il permet de *faciliter la création de ressources pendant le projet* en simplifiant le procédé grâce à un format et une structure préconçus, et en proposant un rendu visuel direct de la ressource.

DoDoc [22] : DoDoc est une interface prévue pour un cadre éducatif permettant la capture d'images, de vidéos et de sons, installée à l'intérieur d'un espace de fabrication (Figure 5). Cet outil est conçu de manière à être modulaire et adaptable en fonction du besoin afin de *faciliter la création de ressources pendant l'activité*, et intègre

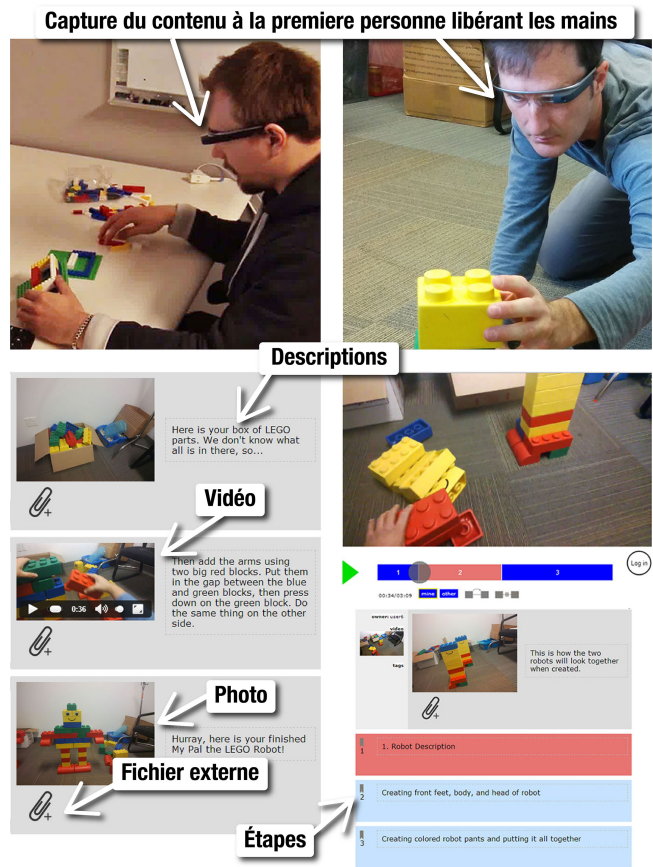


FIGURE 4: ShowHow est un outil proposé par Carter et al. [8] pour permettre la création de tutoriels en limitant les obstructions pendant la capture

une télécommande permettant le contrôle de la capture. L'interface est associée à une application WEB sur laquelle le contenu est automatiquement rendu accessible, permettant ainsi de *faciliter la création de ressources pendant le projet*. Cette application permet en particulier la visualisation directe du contenu capturé, dans le but de permettre de *réfléchir à son approche et ses progrès* pendant l'activité de fabrication.

6.2 Comparaison des 4 outils

La grille d'analyse permet également de comparer les outils pour chaque objectif en observant chaque ligne du tableau 2.

Représenter un projet de fabrication : D'abord, on peut observer que malgré leurs différences, tous ces outils sont concernés par l'objectif transversal : "Représenter un projet de fabrication", en particulier concernant le défi "*Faciliter la création de ressources pendant le projet*". En effet, ils ont tous en commun de disposer d'une interface WEB permettant la création de ressources de connaissances à partir du contenu capturé par les *makers*, et ce en facilitant certaines étapes. Tous permettent de créer une représentation en associant au moins des images et du texte de manière structurée. PRT, BiP et ShowHow proposent en plus de générer des ressources

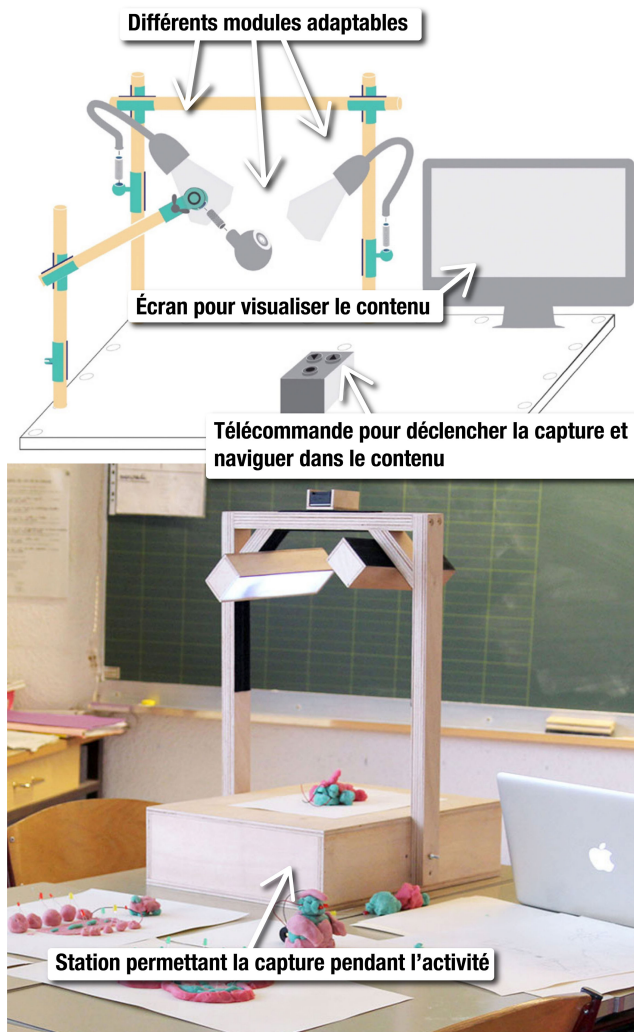


FIGURE 5: DoDoc est un outil proposé par Gourlet et al. [22] pour supporter la réflexion et faciliter la capture pendant l'activité de fabrication

sans trop d'effort de la part des *makers*, sous forme de document dans le cas de PRT et ShowHow, de graphique dans le cas de PRT et BiP, et de vidéo dans le cas de ShowHow. DoDoc et ShowHow, facilitent aussi l'étape de transfert de contenu, en envoyant directement le contenu capturé vers un espace centralisé. Cette étape de récupération et de transfert est un coût considérable pour les *makers* [72] et l'automatiser est un gain de temps et d'effort.

Pour faciliter la création de ressources pendant l'activité, DoDoc et ShowHow intègrent un dispositif de capture. Tous deux permettent de capturer des images et des vidéos selon différents angles, par l'intermédiaire d'une interface modulaire dans le cas de DoDoc, et de lunettes de réalité augmentée dans le cas de ShowHow. Ces deux solutions ont l'avantage de libérer les mains des *makers* lors de manipulations, une des premières difficultés pendant l'activité de fabrication.

Réutiliser son travail : Le seul des 4 outils dont l'objectif principal est de permettre de Réutiliser son travail est ShowHow. L'objectif de ShowHow est de créer des tutoriels pour que d'autres personnes puissent reproduire le projet. De ce fait, l'outil se concentre sur l'acquisition de contenu visuel de bonne qualité pour encourager la complétude de l'information, en particulier en permettant de capturer du contenu sous différents points de vue. L'outil permet aussi d'encourager la compréhensibilité de l'information en permettant aux *makers* d'ajouter à la ressource des annotations, des liens et des fichiers annexes dans son interface d'édition. Il est intéressant d'observer que les trois autres exemples d'outils qui ne cherchent pas à répondre à cet objectif, disposent d'interfaces qui pourraient facilement intégrer les solutions de ShowHow en permettant l'ajout de liens vers des fichiers par exemple.

Supporter la réflexion : Trois des outils de notre sélection sont conçus pour supporter la réflexion des *makers* : DoDoc, PRT et BiP. PRT et BiP permettent au *maker* de réfléchir à son approche et ses progrès en offrant une représentation sous forme d'arbre des différents chemins pris lors du projet qui est mise à disposition d'autres participants, localement dans le cas de PRT et via internet dans le cas de BiP. Ils permettent par cette représentation de réfléchir à plusieurs en générant des discussions et permettant des retours sur le travail au fil du projet. DoDoc aborde une approche différente pour réfléchir à son approche et ses progrès et favorise la réflexion pendant l'activité de fabrication.

Communiquer : Aucun des outils de notre sélection ne cherche à supporter le défi "Exprimer ses connaissances et son identité", et seulement BiP permet de faire partie d'une communauté. Les défis associés à l'objectif "Communiquer" sont liés à la notion de partage de la ressource. Dans ce sens, BiP qui était une plateforme en ligne, permettait aux *makers* de faire partie d'une communauté, cette communauté étant constituée des utilisateurs de BiP.

7 DISCUSSION

Nous avons identifié un total de quatre objectifs et huit défis associés aux ressources de connaissances liées aux activités de fabrication. Ce qui apparaît en premier lieu est que la création de ces ressources est au centre de la majorité des défis identifiés. D'abord car la création de ressources constitue le point de départ avant que celle-ci soit partagée et/ou utilisée. Ensuite, identifier précisément les objectifs (partage et utilisation) d'une ressource va déterminer pourquoi et comment celle-ci doit être créée par les *makers*.

Nous avons aussi analysé et comparé différents outils ayant pour but de supporter les *makers* dans la création de ces ressources pour un ou plusieurs objectifs donnés. Identifier clairement les objectifs est aussi important pour les designers en vue de la conception d'outils dédiés à la création de ressources qui seront mis à disposition des *makers* dans l'atelier. Nous discutons maintenant autour de différentes implications qui ressortent de notre analyse à la fois des outils et de notre revue de littérature.

7.1 Créer la ressource au fil du projet

Plusieurs défis présentés ici existent du fait qu'ils nécessitent de créer la ressource au fil du projet. En effet, créer la ressource au

fil du projet est nécessaire pour (1) Encourager la complétude de l'information, pour la réutilisation du travail (Section 5.2) et éviter des oublis, et pour (2) Supporter la réflexion (Section 5.3) comme moyen de prendre du recul sur le travail en cours. Or, nous avons vu que la création de ressource est exposée à différentes difficultés liées à l'objectif transversal "Représenter un projet de fabrication" (Section 5.1) : Créer la ressource est difficile pendant les activités de fabrication et sur toute la durée d'un projet. Les outils mis à disposition des *makers* ainsi que le cadre méthodologique doivent permettre de faciliter la création de ressource au fil du projet pour supporter ces trois objectifs. Cela peut être fait en intégrant les outils dans l'espace de fabrication ou en déléguant une partie de la création de ressource.

7.1.1 Intégrer les outils dans l'espace de fabrication. Intégrer les outils de création de ressources dans l'espace de fabrication est bénéfique pour *représenter un projet de fabrication* et *supporter la réflexion*. Nous avons vu avec ShowHow [8] et DoDoc [22] qu'un espace dédié à la capture permet de *faciliter la création de ressources pendant l'activité* [6]. Différents outils sont basés sur le concept de stations de documentation installées dans l'espace de fabrication, par exemple Spin [73] ou ProtoBooth [2]. Ces stations ont l'avantage de *faciliter la création de ressources pendant l'activité*, et peuvent permettre de prendre du recul sur le travail car elles matérialisent dans l'espace, le temps pour la création de ressources. Elles permettent aussi de "Célébrer des moments de design" [73] en générant des échanges entre les *makers* autour de l'outil [21] et ainsi de supporter la réflexion. Cependant, ces stations ne permettent pas de suivre les *makers* dans leurs déplacements dans l'atelier. Cela peut être réalisé, par exemple, par des approches basées sur des outils de capture embarqués comme dans le cas de ShowHow [8] qui utilise des Google Glass. Une autre approche est d'utiliser différentes unités de capture qui pourraient être distribuées dans l'espace et au niveau des machines comme le propose le concept de Capush [54]. Un défi pour les travaux futurs consistera à déterminer un bon compromis entre l'intégration des outils dans le flux de travail d'une personne, le maintien d'une grande visibilité pour servir de rappel fréquent, tout en n'entravant pas les activités des *makers*.

7.1.2 Déléguer la création de ressource. Une autre manière de faciliter la création de ressources est de déléguer une partie de la documentation à d'autres personnes [10], de créer des documentations de groupe [32] ou d'automatiser une partie du processus. C'est par exemple le cas avec ShowHow [8] et DoDoc [22] qui automatisent le transfert du contenu capturé vers l'interface d'édition. D'autres automatisent aussi le traitement du contenu capturé comme c'est le cas avec Document-While-Doing [44] qui réduit la résolution des images avant de les intégrer automatiquement à la documentation. Certains outils génèrent automatiquement toute la ressource [2, 73] comme dans le cas de PRT [10]. L'automatisation de la capture du contenu ne semble pas avoir été explorée à notre connaissance, mais pourrait constituer un champs de recherche pertinent selon les objectifs et le cadre. Toutefois, une telle approche devrait être accompagnée de certaines précautions. La capture automatique pourrait en effet être exposée à des problèmes de droit à l'image, de droit d'auteur, si elle n'est pas bien encadrée [54]. De plus si, automatiser la création d'une ressource est avantageux

pour homogénéiser et maximiser la clarté du support et réduire drastiquement les coûts additionnels des *makers*, l'automatisation pourrait empêcher certains objectifs liés à la création de ressources. En effet, Rigaud et al. [55] argumentent que l'automatisation totale n'est pas adaptée pour supporter la réflexion car elle ne permet pas aux *makers* d'être actifs, essentiel pour l'apprentissage. Les outils d'IA devenant de plus en plus puissants, on peut s'attendre à ce qu'un futur défi soit de savoir comment faciliter l'automatisation pour ceux qui en ont besoin tout en excluant cette option pour ceux qui sont dans un cadre éducatif qui nécessite une réflexion sur ses choix.

7.2 Contraindre le format de la ressource

Le format de la ressource de connaissances (vidéo, image, document structuré, ...) est également au centre des objectifs que cette ressource supporte, car il permet de véhiculer l'information d'une certaine manière en imposant une structure particulière [17, 47]. Ainsi, une des stratégies que l'on observe est la contrainte du format pour inciter les *makers* à la création de la ressource selon certains codes ou approches. Par exemple le format imposé peut être une structure linéaire étapes par étapes comme le tutoriel, ou plus arborescente, il peut contenir des vidéos, des sons, des liens vers des ressources externes. Ce format peut être imposé par l'outil comme nous l'avons vu dans la sous-section 6.1 avec PRT [10] et Build-In-Progress [71], qui dans leur représentation sous forme d'arbre, segmentent la ressource de connaissance sous forme d'éléments temporels. La création de la ressource peut aussi être encadrée par une méthodologie particulière que des encadrants ou enseignants peuvent imposer aux *makers* [17, 39], favorisant la place de la réflexion, les détails du procédé, ou bien la reproductibilité. Oliver et al. [47] suggèrent que le format vidéo est plus adapté pour décrire les expériences de manière informelles, émotionnelles et descriptives tandis que l'écriture permet de développer des cotés analytiques de manière plus académique et détaillée [47]. Tseng and Resnick [73] suggèrent également que réduire le format à une simple animation encourage à la création de ressource au fil du projet en générant une trace de l'évolution du projet sur sa totalité. Cependant, une simple animation ne contient pas suffisamment de détails pour permettre la reproduction du projet. Il serait néanmoins intéressant d'étudier l'effort que les *makers* doivent fournir en fonction du format de la ressource afin d'évaluer leur probabilité de créer la ressource sur toute la durée du projet, ou de minimiser l'effort requis en proposant différents formats en fonction de l'activité ou de la phase du projet.

7.3 Partager la ressource

Nous avons constaté que peu de travaux adressent les défis liés au partage de la ressource vers une communauté plus large, pourtant nécessaire à l'objectif "Communiquer". Deux raisons peuvent expliquer cela. D'abord, les communautés en ligne émergent d'elles mêmes et sont intéressantes pour les *makers* une fois une base d'utilisateurs suffisante comme dans le cas d'*Instructables* ou de *Thingiverse*. D'autre part, parce que les systèmes permettant la création de ressources de connaissances permettent d'accéder à ces ressources uniquement par ce système. Ces ressources sont alors difficiles à réutiliser avec un autre système, en particulier avec

un système de diffusion sur le web [6]. Pourtant, le partage de la ressource pourrait constituer une motivation pour les *makers* de créer cette ressource [32, 51] et de se l'approprier pour faire figurer d'autres types de réflexions, plus personnelles ou sociales [32]. Favoriser l'interopérabilité entre les outils de création de ressources et les plateformes de partage spécialisées (*Instructables*, *Thingiverse*, ...) ou non (*Instagram*, *TikTok*, ...), pourrait permettre d'étudier plus en profondeur la motivation intrinsèque des *makers* au regard de la création de ressources.

8 DIRECTIONS DE RECHERCHE

L'élaboration de systèmes pour la production de ressources de connaissances apparaît complexe. Bien que de nombreux systèmes aient été proposés pour les ateliers de fabrication, nous n'en connaissons pas qui couvrent l'ensemble des défis présentés dans cet article. Par exemple, *ShowHow* [8] se concentre principalement sur les défis associés à la reproductibilité d'une tâche, mais ne permet pas une approche réflexive. De même, *Build-in-Progress* [71] améliore la réflexion et les retours sur le projet mais ne s'intéresse pas aux coûts liés à la création de la ressource pendant l'activité de fabrication.

Il est intéressant de noter que certains systèmes ont été conçus pour adresser certains défis sans forcément réaliser qu'ils en adressent davantage (Section 6). Par exemple, *ShowHow* [8] propose un outil d'édition de tutoriels structuré sous forme d'étapes dans une interface WEB pour permettre de Réutiliser son travail, similairement à *Project Reflection Tool* [10] qui lui permet de Supporter la réflexion. *ShowHow* pourrait facilement permettre la réflexion des *makers* au fil du projet. Une direction de recherche serait alors d'utiliser notre grille d'analyse (liste de défis Tableau 2) pour décrire, comparer et analyser la portée des différentes stratégies proposées dans la littérature. Cela permettrait d'étudier comment étendre et combiner les systèmes ou de les rendre inter-opérables pour couvrir davantage de défis. Par exemple, il serait intéressant de combiner *ShowHow* [8] pour son système d'édition de tutoriels avec la structure arborescente de *Build-In-Progress* et le dispositif de capture de *DoDoc* [22]. Ainsi, Représenter un projet de fabrication, Réutiliser son travail et Supporter la réflexion serait possible avec un tel outil. Il serait également intéressant de favoriser l'interopérabilité entre cet outil et les plateformes de partage en ligne pour permettre de Communiquer grâce à la ressource. Pour cela, il pourrait être intéressant de décrire des projets et des activités sous la forme de grammaires standardisées [66, 69] avec lesquelles il deviendrait possible de traduire une ressource d'un format à un autre. Ceci permettrait par exemple la création d'un tutoriel en réalité augmentée, tout en permettant de générer une page sur *Instructables* ou sur le wiki de l'atelier, en requérant le même effort de la part des *makers*.

Une autre direction de recherche est de porter davantage d'efforts sur la capture, le contexte et différents modes de représentation que cela permet. En effet, capturer davantage d'informations et meta-information permettrait de représenter une ressource de connaissances de plusieurs manières selon les objectifs. Les projets *FabMI* [70] ou *OManual*⁵ vont dans cette direction en proposant une structure sémantique pour représenter les projets de fabrication. *FabMI* en particulier propose de décortiquer les projets de

fabrication en fonction du contexte des activités composant un projet. Ces "FabMoments" pourraient être réutilisés de manière plus atomiques, isolées du projet, ou intégrées dans des projets différents dans d'autres ateliers de fabrication. Le compromis avec une telle approche est qu'elle nécessite de capturer des informations sur le contexte de chaque activité, ce qui ajouterait une charge de travail pour les *makers* lors de la capture. Une solution serait alors d'automatiser la capture de certaines informations sur les activités de fabrication et leur contexte [54], mais cela risquerait de générer un nombre colossal de données. Une direction de recherche est alors d'étudier la manière dont un système pourrait traiter ces différentes données capturées et mettre à disposition des *makers* les données les plus pertinentes en fonction de son ou ses objectifs ou de laisser des données capturées automatiquement "expirer" (et donc être supprimées) si elles ne sont pas consultées dans un certain délai après leur capture.

Enfin, une dernière direction de recherche est d'explorer les objectifs, défis et solutions apportés par d'autres domaines, comme par exemple ce que l'on peut trouver dans l'industrie [81], dans l'art [45] ou dans les laboratoires de recherche [64, 65]. Par exemple dans le contexte industriel, la création de ressources est nécessaire à la gestion de cycles produits (PLM) et à la tracabilité pour s'assurer de la qualité des produits et améliorer la conception [16]. Le paradigme de l'"Industrie 4.0" est en partie basé sur la création et l'utilisation de données issues de processus afin d'assurer cette tracabilité, utilisant différents outils comme l'Internet des objets (IoT) ou les Systèmes Cyber-Physiques (CPS), des ordinateurs équipés de capteurs et d'actionneurs, embarqués dans les chaînes de production [33]. Des concepts de représentation des processus tels que les jumeaux numériques (Digital Twin) [29] dans le domaine de la manufacture ou le Building Information Modeling (BIM) dans le domaine de la construction [18], les ontologies [19, 48] sont des champs de recherches très actifs. Le domaine industriel s'intéresse aussi aux formes d'apprentissage dans l'organisation et à la manière dont les outils de capture de données peuvent supporter cet apprentissage [5, 20]. Ainsi, le domaine de l'industrie constitue un champs à explorer par ses objectifs qui semblent chevaucher ceux identifiés dans cet article, ainsi que les défis et outils développés dans le contexte industriel.

9 REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-17-CE33-0001).

RÉFÉRENCES

- [1] Mina Akhavan. 2021. Third Places for Work : A Multidisciplinary Review of the Literature on Coworking Spaces and Maker Spaces. In *New Workplaces—Location Patterns, Urban Effects and Development Trajectories*, Ilaria Mariotti, Stefano Di Vita, and Mina Akhavan (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 13–32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63443-8_2 Series Title : Research for Development.
- [2] Yazan A. M. Barhoush, Jørgen Falck Erichsen, Heikki Sjöman, Georgi V. Georgiev, and Martin Steinert. 2019. Capturing Prototype Progress in Digital Fabrication Education. *Proceedings of the Design Society : International Conference on Engineering Design 1*, 1 (July 2019), 469–478. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.50> Publisher : Cambridge University Press.
- [3] Gökçe Elif Baykal, Maarten Van Mechelen, Marie-Louise Wagner, and Eva Eriksson. 2021. What FabLearn talks about when talking about reflection — A systematic literature review. *International Journal of Child-Computer Interaction 28* (June 2021), 100256. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100256>

5. <https://www.omanual.org>

- [4] Marja Gabrielle Bertrand and Immaculate Kizito Namukasa. 2022. Maker Education : Assessment, Documentation, and Sharing With a Wider Community. *International Journal of Online Pedagogy and Course Design (IJOPCD)* 12, 3 (2022), 1–12. <https://doi.org/10.4018/IJOPCD.304083> Publisher : IGI Global.
- [5] Jacob Brix. 2017. Exploring knowledge creation processes as a source of organizational learning : A longitudinal case study of a public innovation project. *Scandinavian Journal of Management* 33, 2 (2017), 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2017.05.001>
- [6] Daragh Byrne and Marti Louw. 2020. Tools with Histories : Exploring NFC-Tagging to Support Hybrid Documentation Practices and Knowledge Discovery in Makerspaces. *HCI International 2020 – Late Breaking Papers : Interaction, Knowledge and Social Media 12427* (2020), 51–67. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60152-2_4
- [7] Scott Carter, Matthew Cooper, John Adcock, and Stacy Branham. 2014. Tools to support expository video capture and access. *Education and Information Technologies* 19, 3 (Sept. 2014), 637–654. <https://doi.org/10.1007/s10639-013-9276-6>
- [8] Scott Carter, Pernilla Qvarfordt, Matthew Cooper, and Ville Mäkelä. 2015. Creating Tutorials with Web-Based Authoring and Heads-Up Capture. *IEEE Pervasive Computing* 14, 3 (July 2015), 44–52. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2015.59>
- [9] Ricky Chen, Mychajlo Demko, Daragh Byrne, and Marti Louw. 2021. Probing Documentation Practices : Reflecting on Students' Conceptions, Values, and Experiences with Documentation in Creative Inquiry. In *Creativity and Cognition (CC '21)*. ACM, Virtual Event Italy, 1–1. <https://doi.org/10.1145/3450741.3465391> event-place : Virtual Event, Italy.
- [10] Peter Dalsgaard and Kim Halskov. 2012. Reflective design documentation. In *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference on - DIS '12*. ACM Press, Newcastle Upon Tyne, United Kingdom, 428. <https://doi.org/10.1145/2317956.2318020>
- [11] Dale Dougherty. 2012. The Maker Movement. *Innovations : Technology, Governance, Globalization* 7, 3 (July 2012), 11–14. https://doi.org/10.1162/INOVA_00135
- [12] Michael D. Dzandu and Buddhi Pathak. 2021. Diy laboratories, their practices, and challenges – a systematic literature review. *Technology Analysis & Strategic Management* 33, 10 (2021), 1242–1254. <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1968373> Publisher : Routledge_eprint : <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1968373>
- [13] Árni Már Einarsson. 2021. Sustaining Library Makerspaces : Perspectives on Participation, Expertise, and Embeddedness. *The Library Quarterly* 91, 2 (April 2021), 172–189. <https://doi.org/10.1086/713050> Type : Article.
- [14] Árni Már Einarsson and Morten Hertzum. 2021. Me-to-We Design : How Can a Makerspace Nurture the Building of a Collaborative Community? In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2021*, Carmelo Ardito, Rosa Lanzilotti, Alessio Malizia, Helen Petrie, Antonio Piccinno, Giuseppe Desolda, and Kori Inkpen (Eds.). Vol. 12932. Springer International Publishing, Cham, 702–711. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85623-6_39 Series Title : Lecture Notes in Computer Science.
- [15] Omid Ettehadhi, Fraser Anderson, Adam Tindale, and Sowmya Somanath. 2021. Documented : Embedding Information onto and Retrieving Information from 3D Printed Objects. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445551>
- [16] Yixiong Feng, Yuliang Zhao, Hao Zheng, Zhiwu Li, and Jianrong Tan. 2020. Data-driven product design toward intelligent manufacturing : A review. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 17, 2 (March 2020), 1729881420911257. <https://doi.org/10.1177/1729881420911257> Publisher : SAGE Publications.
- [17] D. Fields. 2021. Communicating about computational thinking : understanding affordances of portfolios for assessing high school students' computational thinking and participation practices. *Computer Science Education* 31, 2 (2021), 224–258. <https://doi.org/10.1080/08993408.2020.1866933>
- [18] Godfred Fobiri, Innocent Musonda, and Franco Muleya. 2022. Reality Capture in Construction Project Management : A Review of Opportunities and Challenges. *Buildings* 12, 9 (Sept. 2022), 1381. <https://doi.org/10.3390/buildings12091381> Number : 9 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [19] Alvaro Luis Fraga, Marcela Vegetti, and Horacio Pascual Leone. 2020. Ontology-based solutions for interoperability among product lifecycle management systems : A systematic literature review. *Journal of Industrial Information Integration* 20 (2020), 100176. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100176>
- [20] Michail N. Giannakos, Patrick Mikalef, and Ilias O. Pappas. 2022. Systematic Literature Review of E-Learning Capabilities to Enhance Organizational Learning. *Information Systems Frontiers* 24, 2 (April 2022), 619–635. <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10097-2> Company : Springer Distributor : Springer Institution : Springer Label : Springer Number : 2 Publisher : Springer US.
- [21] Pauline Gourlet, Louis Eveillard, and Ferdinand Dervieux. 2016. The Research Diary, Supporting Pupils' Reflective Thinking during Design Activities. In *Proceedings of the 15th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '16*. ACM Press, Manchester, United Kingdom, 206–217. <https://doi.org/10.1145/2930674.2930702>
- [22] Pauline Gourlet, Sarah Garcin, Louis Eveillard, and Ferdinand Dervieux. 2016. DoDoc : a Composite Interface that Supports Reflection-in-Action. In *Proceedings of the TEI '16 : Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '16*. ACM Press, Eindhoven, Netherlands, 316–323. <https://doi.org/10.1145/2839462.2839506>
- [23] Bruna Goveia da Rocha, Janne Spork, and Kristina Andersen. 2022. Making Matters : Samples and Documentation in Digital Craftsmanship. In *Sixteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '22)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3490149.3502261>
- [24] Sabine Hielscher and Adrian Smith. 2014. *Community-Based Digital Fabrication Workshops : A Review of the Research Literature*. SSRN Scholarly Paper ID 2742121. Social Science Research Network, Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2742121>
- [25] Margaret Honey and David E. Kanter. 2013. Introduction Design, Make, Play : Growing the Next Generation of Science Innovators. In *Design, Make, Play*. Routledge, New York, USA.
- [26] Nathaniel Hudson, Benjamin Lafreniere, Parmit K. Chilana, and Tovi Grossman. 2018. Investigating How Online Help and Learning Resources Support Children's Use of 3D Design Software. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Montreal QC Canada, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173831>
- [27] Derek Van Ittersum. 2014. Craft and Narrative in DIY Instructions. *Technical Communication Quarterly* 23, 3 (July 2014), 227–246. <https://doi.org/10.1080/10572252.2013.798466>
- [28] Tomasz Jaskiewicz, Ingrid Mulder, Samuel Verburg, and Bob Verhij. 2018. LEVERAGING PROTOTYPES TO SUPPORT SELF-DIRECTED SOCIAL LEARNING IN MAKERSPACES. In *DS '93 : Proceedings of the 20th International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE 2018)*, Dyson School of Engineering, Imperial College, London. 6th - 7th September 2018. the Design Society, London, 430–435. <https://www.designsociety.org/publication/40796/LEVERAGING+PROTOTYPES+TO+SUPPORT+SELF-DIRECTED+SOCIAL+LEARNING+IN+MAKERSPACES>
- [29] David Jones, Chris Snider, Aydin Nassehi, Jason Yon, and Ben Hicks. 2020. Characterising the Digital Twin : A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 29 (May 2020), 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
- [30] Andreina Yulis San Juan and Yumiko Murai. 2022. Turning frustration into learning opportunities during maker activities : A review of literature : Frustration in Makerspaces. *International Journal of Child-Computer Interaction* 33 (2022), 100519. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100519>
- [31] Anna Keune and Kylie Pepler. 2017. Maker Portfolios as Learning and Community-Building Tools Inside and Outside Makerspaces. In *Computer-Supported Collaborative Learning Conference, CSCL (CSCL, Vol. 2)*. Philadelphia, PA : International Society of the Learning Sciences, Philadelphia, Pennsylvania, US, 545–548. <https://repository.isls.org/handle/1/279> Publisher : Philadelphia, PA : International Society of the Learning Sciences.
- [32] Anna Keune, Kylie Pepler, and Maggie Dahn. 2022. Connected portfolios : open assessment practices for maker communities. *Information and Learning Sciences* 123, 7/8 (Jan. 2022), 462–481. <https://doi.org/10.1108/ILS-03-2022-0029> Publisher : Emerald Publishing Limited.
- [33] Cristina Orsolin Klingenberg, Marco Antônio Viana Borges, and José Antônio Valle Antunes Jr. 2019. Industry 4.0 as a data-driven paradigm : a systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management* 32, 3 (June 2019), 570–592. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0325> Publisher : Emerald Publishing Limited.
- [34] R. Kurti, Debby L. Kurti, and L. Fleming. 2014. The Philosophy of Educational Makerspaces Part 1 of Making an Educational Makerspace. *Teacher Librarian* 41, 5 (June 2014), 8.
- [35] Stacey Kuznetsov and Eric Paulos. 2010. Rise of the expert amateur : DIY projects, communities, and cultures. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Extending Boundaries - NordiCHI '10*. ACM Press, Reykjavik, Iceland, 295. <https://doi.org/10.1145/1868914.1868950>
- [36] Andrew G. Lee, H. Culver Boldt, Karl C. Golnik, Anthony C. Arnold, Thomas A. Oetting, Hilary A. Beaver, Richard J. Olson, and Keith Carter. 2005. Using the Journal Club to Teach and Assess Competence in Practice-based Learning and Improvement : A Literature Review and Recommendation for Implementation. *Survey of Ophthalmology* 50, 6 (2005), 542–548. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2005.08.002>
- [37] Lindsay Lindberg, Deborah Ann Fields, and Yasmin B. Kafai. 2020. STEAM Maker Education : Conceal/Reveal of Personal, Artistic and Computational Dimensions in High School Student Projects. *Frontiers in Education* 5 (2020), 0. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00051>
- [38] Thomas Ludwig, Oliver Stickel, Alexander Boden, Volkmar Pipek, and Voker Wolf. 2015. Appropriating Digital Fabrication Technologies – A comparative study of two 3D Printing Communities. In *iConference 2015 Proceedings*. iSchools, Newport Beach, California, USA, 13.

- [39] Debora Lui, Deborah Fields, and Yasmin Kafai. 2019. Student Maker Portfolios : Promoting Computational Communication and Reflection in Crafting E-Textiles. In *Proceedings of FabLearn 2019 (FL2019)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 10–17. <https://doi.org/10.1145/3311890.3311892>
- [40] Anu Maatta and Peter Troxler. 2011. Developing open & distributed tools for Fablab project documentation. In *Proceedings of the 6th Open Knowledge Conference, OKCon 2011, Berlin, Germany, June 30 & July 1, 2011 (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 739)*, Sebastian Hellmann, Philipp Frischmuth, Sören Auer, and Daniel Dietrich (Eds.). CEUR-WS.org, Berlin, Germany, 5.
- [41] J Marsh, K Kumpulainen, B Nisha, A Velicu, A Blum-Ross, D Hyatt, SR Jónsdóttir, R Levy, S Little, G Maruster, and others. 2021. Makerspaces in the Early Years : A Literature Review. University of Sheffield. A MakeY Project, 2017.
- [42] Adam Stark Masters. 2018. How Making and Maker Spaces have Contributed to Diversity and Inclusion in Engineering : A [non-traditional] Literature Review. In *CoNECD 2018 - Collaborative Network for Engineering and Computing Diversity Conference*. ASEE Conferences, Crystal City, Virginia, 13. <https://peer.asee.org/how-making-and-maker-spaces-have-contributed-to-diversity-and-inclusion-in-engineering-a-non-traditional-literature-review>
- [43] Shannon Mersand. 2021. The State of Makerspace Research : a Review of the Literature. *TechTrends* 65, 2 (March 2021), 174–186. <https://doi.org/10.1007/s11528-020-00566-5>
- [44] Iván Sánchez Milara, Georgi V. Georgiev, Jani Ylioja, Onnur Özöduru, and Jukka Riekkilä. 2019. "Document-while-doing" : a documentation tool for Fab Lab environments. *The Design Journal* 22, sup1 (April 2019), 2019–2030. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1594926>
- [45] Anna Maarit Mäkelä and Nithikul Nimkulrat. 2011. Reflection and Documentation in Practice-led Design Research. *Nordes* 4 (March 2011), 9. <https://archive.nordes.org/index.php/n13/article/view/98> Number : 4.
- [46] Lora Oehlberg, Wesley Willett, and Wendy E. Mackay. 2015. Patterns of Physical Design Remixing in Online Maker Communities. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 639–648. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702175>
- [47] Kevin M. Oliver, Jennifer K. Houchins, Robert L. Moore, and Chuang Wang. 2021. Informing Makerspace Outcomes Through a Linguistic Analysis of Written and Video-Recorded Project Assessments. *International Journal of Science and Mathematics Education* 19, 2 (Feb. 2021), 333–354. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10060-2>
- [48] J. Neil Otte, Dimitris Kiritsi, Munira Mohd Ali, Ruoyu Yang, Binbin Zhang, Ron Rudnicki, Rahul Rai, and Barry Smith. 2019. An ontological approach to representing the product life cycle. *Applied Ontology* 14, 2 (Jan. 2019), 179–197. <https://doi.org/10.3233/AO-190210> Publisher : IOS Press.
- [49] Sofia Papavaslopoulou, Michail N. Giannakos, and Letizia Jaccheri. 2017. Empirical studies on the Maker Movement, a promising approach to learning : A literature review. *Entertainment Computing* 18 (Jan. 2017), 57–78. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2016.09.002>
- [50] Kylie Peppler and Sophia Bender. 2013. Maker Movement Spreads Innovation One Project at a Time. *Phi Delta Kappan* 95, 3 (Nov. 2013), 22–27. <https://doi.org/10.1177/003172171309500306>
- [51] Kylie Peppler and Anna Keune. 2019. "It helps create and enhance a community" : Youth motivations for making portfolios. *Mind, Culture, and Activity* 26, 3 (July 2019), 234–248. <https://doi.org/10.1080/10749039.2019.1647546> Type : Article.
- [52] Chia Yi Quah and Kher Hui Ng. 2022. A Systematic Literature Review on Digital Storytelling Authoring Tool in Education : January 2010 to January 2020. *International Journal of Human-Computer Interaction* 38, 9 (May 2022), 851–867. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1972608> Publisher : Taylor & Francis eprint : <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1972608>
- [53] Finn Rieken, Thomas Boehm, Mareike Heinzen, and Mirko Meboldt. 2020. Corporate makerspaces as innovation driver in companies : a literature review-based framework. *Journal of Manufacturing Technology Management* 31, 1 (Jan. 2020), 91–123. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2019-0098> Publisher : Emerald Publishing Limited.
- [54] Clara Rigaud, Gilles Bailly, Ignacio Avellino, and Yvonne Jansen. 2022. Exploring Capturing Approaches in Shared Fabrication Workshops : Current Practice and Opportunities. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 6, CSCW2 (Nov. 2022), 391 :1–391 :33. <https://doi.org/10.1145/3555116>
- [55] Clara Rigaud, Yvonne Jansen, and Gilles Bailly. 2022. Automating Documentation Considered Harmful (Some of the Time). <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03808703>
- [56] David Roedl, Shaowen Bardzell, and Jeffrey Bardzell. 2015. Sustainable Making? Balancing Optimism and Criticism in HCI Discourse. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 22, 3 (June 2015), 1–27. <https://doi.org/10.1145/2699742>
- [57] Marco Savastano, Francesco Bellini, Fabrizio D'Ascenzo, and Eusebio Scornavacca. 2017. FabLabs as Platforms for Digital Fabrication Services : A Literature Analysis. In *Exploring Services Science*, Stefano Za, Monica Drăgoicea, and Maurizio Cavallari (Eds.). Vol. 279. Springer International Publishing, Cham, 24–37. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56925-3_3
- [58] Giustina Secundo, Pierluigi Ripa, and Roberto Cerchione. 2020. Digital Academic Entrepreneurship : A structured literature review and avenue for a research agenda. *Technological Forecasting and Social Change* 157 (2020), 120118. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120118>
- [59] Junhao Shan and Wei Wang. 2021. Making and sharing in asynchronous discussion : exploring the collaboration process in online maker community. *Interactive Learning Environments* 0, 0 (April 2021), 1–15. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1916764> Type : Article.
- [60] Gautam Sharma. 2021. The Makerspace Phenomenon : A Bibliometric Review of Literature (2012–2020). *International Journal of Innovation and Technology Management* 18, 03 (May 2021), 2150006. <https://doi.org/10.1142/S0219877021500061>
- [61] Kimberly Sheridan, Erica Rosenfeld Halverson, Breanne Litts, Lisa Brahm, Lynette Jacobs-Priebe, and Trevor Owens. 2014. Learning in the Making : A Comparative Case Study of Three Makerspaces. *Harvard Educational Review* 84, 4 (Dec. 2014), 505–531. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.brr34733723j648u>
- [62] Sohail Ahmed Soomro, Yazan A. M. Barhoush, Zhengya Gong, Panos Kostakos, and Georgi V. Georgiev. 2021. Tools for recording prototyping activities and quantifying corresponding documentation in the early stages of product development. *Proceedings of the Design Society* 1 (Aug. 2021), 3159–3168. <https://doi.org/10.1017/pds.2021.577> Publisher : Cambridge University Press.
- [63] Sohail Ahmed Soomro, Hernan Casakin, and Georgi V. Georgiev. 2022. A Systematic Review on FabLab Environments and Creativity : Implications for Design. *Buildings* 12, 6 (June 2022), 804. <https://doi.org/10.3390/buildings12060804> Number : 6 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [64] Jacob T Stanley and HJ Lewandowski. 2016. Lab notebooks as scientific communication : Investigating development from undergraduate courses to graduate research. *Physical Review Physics Education Research* 12, 2 (2016), 020129.
- [65] Aurélien Tabard, Juan-David Hincapié-Ramos, Morten Esbensen, and Jakob E. Bardram. 2011. The eLabBench : an interactive tabletop system for the biology laboratory. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '11*. ACM Press, Kobe, Japan, 202. <https://doi.org/10.1145/2076354.2076391>
- [66] Iremnur Tokac, Johan Philips, Herman Bruyninckx, and Andrew Vande Moere. 2021. Fabrication grammars : bridging design and robotics to control emergent material expressions. *Construction Robotics* 5, 1 (2021), 35–48. Publisher : Springer.
- [67] Cristen Torrey, Elizabeth F. Churchill, and David W. McDonald. 2009. Learning how : the search for craft knowledge on the internet. In *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI '09*. ACM Press, Boston, MA, USA, 1371. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518908>
- [68] Cristen Torrey, David W. McDonald, Bill N. Schilit, and Sara Bly. 2007. How-To pages : Informal systems of expertise sharing. In *ECSCW 2007*, Liam J. Bannon, Ina Wagner, Carl Gutwin, Richard H. R. Harper, and Kjeld Schmidt (Eds.). Springer London, London, 391–410. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-031-5_21
- [69] Jasper Tran O'Leary, Khang Lee, and Nadya Peek. 2021. A Grammar of Digital Fabrication Machines. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Yokohama Japan, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451829>
- [70] Peter Troxler and Harmen Zijp. 2013. A Next Step Towards FabML : A narrative for knowledge sharing use cases in Fab Labs. In *International Fab Lab Association, the 9th International Fab Lab Conference, Fab9*, Vol. 9. Citeseer, Yokohama, Japan, 11.
- [71] Tiffany Tseng. 2015. Making Make-throughs : Supporting Young Makers Sharing Design Process. In *Conference on Creativity and Fabrication in Education - Fablearn '15*. MIT, Stanford, CA, USA, 8.
- [72] Tiffany Tseng and Mitchel Resnick. 2014. Product versus process : representing and appropriating DIY projects online. In *Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems - DIS '14*. ACM Press, Vancouver, BC, Canada, 425–428. <https://doi.org/10.1145/2598510.2598540>
- [73] Tiffany Tseng and Mitchel Resnick. 2016. Spin : Examining the Role of Engagement, Integration, and Modularity in Supporting Youth Creating Documentation. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 996–1007. <https://doi.org/10.1145/2901790.2901868> event-place : Brisbane, QLD, Australia.
- [74] Leena Ventä-Olkkonen, Heidi Hartikainen, Behnaz Norouzi, Netta Iivari, and Marianne Kinnula. 2019. A Literature Review of the Practice of Educating Children About Technology Making. In *Human-Computer Interaction - INTERACT 2019*, David Lamas, Fernando Loizides, Lennart Nacke, Helen Petrie, Marco Winckler, and Panayiotis Zaphiris (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 418–441.
- [75] Shirin Vossoughi and Bronwyn Bevan. 2014. Making and Tinkering : A Review of the Literature.
- [76] Ron Wakkary, Markus Lorenz Schilling, Matthew A. Dalton, Sabrina Hauser, Audrey Desjardins, Xiao Zhang, and Henry W.J. Lin. 2015. Tutorial Authorship and Hybrid Designers : The Joy (and Frustration) of DIY Tutorials. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 609–618. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702550>

- [77] Vincent Wilczynski. 2015. Academic Maker Spaces and Engineering Design. In *2015 ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings*. ASEE Conferences, Seattle, Washington, 26.138.1–26.138.19. <https://doi.org/10.18260/p.23477>
- [78] Patricia Wolf and Peter Troxler. 2015. Look Who's Acting! : Applying Actor Network Theory for Studying Knowledge Sharing in a Co-Design Project. *International Journal of Actor-Network Theory and Technological Innovation (IJANTTI)*, 7(3) 7 (2015), 15–33. <https://doi.org/10.4018/IJANTTI.2015070102>
- [79] Patricia Wolf, Peter Troxler, Pierre-Yves Kocher, Julie Harboe, and Urs Gaudenz. 2014. Sharing is Sparing : Open Knowledge Sharing in Fab Labs. *Journal of peer production* 5, 1 (2014), 11.
- [80] Shanshan Yu. 2016. *Makerspaces as learning spaces : An historical overview and literature review*. Technical Report. University of Alberta Libraries. <https://doi.org/10.7939/R31T6Q>
- [81] D A Zakoldaev, A V Gurjanov, A V Shukalov, and I O Zharinov. 2019. The life cycle of technical documentation in the smart factory of Industry 4.0. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* 665, 1 (oct 2019), 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/665/1/012016>