



> Thierry Gidel

Dispositifs numériques support au travail collaboratif

Le cas de la Halle Numérique de l'UTC



> #Numéro 2
> Littératie numérique
> Communications orales rédigées
> CRI - Complexité, Réseaux et Innovation (Costech-UTC)
> Design - > Education et technologie - > Littératie numérique - > Sociologie du travail et des professions

Références de citation

Gidel, Thierry. "Dispositifs numériques support au travail collaboratif. Le cas de la Halle Numérique de l'UTC", 5 mai 2019, mäj 0000, *Cahiers COSTECH*<http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article80>

Résumé

De nombreux auteurs ont montré comment les outils numériques pouvaient nous enfermer dans la page. Les écrans de nos dispositifs numériques peuvent véritablement faire écran avec les autres. Dans ce contexte, comment faire évoluer ces technologies et leurs usages pour faciliter le travail collaboratif ? Comment améliorer la créativité et la résolution de problème en équipe ? Comment augmenter les capacités individuelles et collectives ?

Les courants de recherche sur le travail coopératif assisté par ordinateur (TCAO), *Computer-*

Supported Cooperative Work (CSCW) (Restrepo et al. 2010 ; Schmidt et Bannon 1992 ; Shen et al. 2002 ; Tse et al. 2008) s'intéressent notamment à ces questions.

L'université de technologie de Compiègne, et plus précisément le laboratoire COSTECH (EA 2223), a développé entre 2008 et 2015 un projet de table tactile interactive et une plateforme intelligente de conception¹ (Jones, Kendira, et al. 2011). Ce projet a donné naissance à la startup Ubikey®, créée en juillet 2015². Les recherches ont permis de mettre en évidence que remplacer la multiplicité des écrans individuels par une zone de travail numérique, commune et collaborative, favorisait des échanges plus riches et plus nombreux. Le laboratoire COSTECH a par ailleurs conçu à partir de 2015 une plateforme de recherche et d'enseignement appelée Halle Numérique³ qui dispose d'environnements techniques tactiles innovants (tables et tableaux tactiles de grande dimension) munis de logiciels adaptés qui peuvent être combinés à des instruments individuels (tablettes tactiles, smartphones). Cette Halle Numérique est un outil au service de la recherche et des enseignants. Elle est adaptée à une pédagogie par projet et offre un cadre de travail collaboratif et multi-utilisateur. Des lieux-ressources tels que cette plateforme Halle Numérique se développent aujourd'hui pour conduire des démarches collectives pour la résolution de problèmes, la conception, les séances de créativité ou de marketing stratégique.

L'ensemble de ces expériences a montré les potentialités et les limites de ces dispositifs. Cela ouvre différentes perspectives de recherche et de nouveaux questionnements. Notamment, comment favoriser l'apprentissage du et par le travail collaboratif ? Comment développer des pratiques pédagogiques collaboratives instrumentées avec les technologies numériques tactiles, inspirées de formes de travail de type « projet » ?

Aussi, ces nouveaux dispositifs questionnent le travail collaboratif au sein d'équipes distribuées. Comment conserver des interactions symbiotiques lorsqu'une partie de l'équipe est distante ? Comment favoriser une attention conjointe et une intentionnalité partagée afin de donner un sentiment de présence des personnes éloignées nécessaire au bon déroulement des séances de conception ?

De nouveaux projets de recherche vont explorer ces problématiques.

1- Le travail collaboratif médié par les outils numériques

Depuis l'invention de l'écriture, nous avons pu externaliser nos connaissances pour les transmettre, passant d'une transmission orale à une transmission écrite. Les inventions du papier, puis de l'imprimerie et plus récemment d'internet ont permis d'accélérer ce processus. Ces technologies nous ont aussi conduits à un enfermement dans la « page ». De nombreux auteurs (Serres 2015 ; Turkle 2011, 2015 ; Vial 2013) ont montré comment ces outils numériques modifient notre perception et influencent notre manière de communiquer. Les écrans de nos dispositifs numériques peuvent véritablement faire écran avec les autres.

Dans ce contexte, comment faire évoluer ces technologies et leurs usages pour faciliter le travail collaboratif ? Comment améliorer la créativité et la résolution de problème en équipe ? Comment augmenter les capacités individuelles et collectives ? Comment favoriser l'apprentissage du et par le travail collaboratif ? Comment développer des pratiques pédagogiques collaboratives instrumentées avec les technologies numériques tactiles, inspirées de formes de travail de type « projet » ?

2- De nouveaux dispositifs numériques permettant une interaction simultanée de plusieurs personnes

Notre hypothèse de travail est qu'en proposant des surfaces de travail partagées (figure 1), nous pourrions combiner les avantages de l'externalisation de la pensée par l'écriture ou le dessin tout en conservant la communication orale en face à face et les croisements perceptifs associés.



Figure 1 : Dispositif constitué d'une table interactive et d'un tableau interactif.

Le passage d'un écran personnel à un écran partagé correspond à un véritable changement de paradigme, en particulier lorsqu'il s'agit d'une surface horizontale (Scott et Carpendale 2006 ; Shen et al. 2009). Cela aussi bien au niveau technique : tous les outils actuels, ordinateurs, tablettes, Smartphones, sont basés sur des systèmes d'exploitation conçus pour n'être utilisés que par une seule personne ; qu'au niveau humain : nous devons réapprendre à collaborer avec ces dispositifs.

C'est pourquoi nous avons dû inventer de nouveaux dispositifs (matériels et logiciels) et de nouvelles façons de conduire des séances de travail collaboratif. Notre système technique a d'abord pris la forme d'une table de travail interactive multi-utilisateur (Coldefy et Louis-dit-Picard 2007) et multipoints (Pinelle et Gutwin 2008) puis a été associée à un tableau interactif et à une suite logicielle adaptée facilitant l'interaction entre participants.

3- La conception préliminaire collaborative

3.1- Phase critique de la conception de produits ou services

Pour mener à bien cette recherche, nous nous sommes concentrés sur la phase de conception préliminaire collaborative d'artefacts technologiques, qui, aujourd'hui, n'est pratiquement pas instrumentée. Or,

d'après les études, l'impact de cette phase sur les coûts et les décisions stratégiques est particulièrement important (MacLeamy 2004 ; PMI 2017). Si le processus de conception de produits est aujourd'hui bien décrit d'un point de vue théorique sous forme d'un ensemble de modèles (Le Masson, Hatchuel, et Weil 2014 ; Pahl et al. 2007 ; Suh 2001 ; Ulrich et Eppinger 2004), ces modèles ne permettent cependant pas une instrumentation. De plus, de nouvelles approches, basées sur le paradigme du « design thinking », viennent compléter les modèles existants et préconisent une circulation méthodologique (Brown 2009 ; Dym et al. 2005 ; Gero 1999). Ces dernières se basent sur les résultats récents dans le domaine des sciences cognitives pour proposer des approches permettant de mieux comprendre les activités de conception préliminaire collaboratives. Ces activités de conception préliminaire peuvent être assimilées à des processus de résolution de problème en équipe.

3.2- États intermédiaires de représentation

Les projets de recherche TATIN (Table Tactile Interactive) puis TATIN-PIC (Plateforme Intelligente de Collaboration) ont permis d'instrumenter le processus de conception à l'aide de nouveaux outils de collaboration : table et tableau interactifs. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les modèles existants, nous avons construit des scénarios d'utilisation et nous avons conçu les dispositifs techniques permettant de jouer ces scénarios.

En effet, nous savons que la mise en place d'équipes pluridisciplinaires pour la conception de produits implique un travail collaboratif. Pour progresser dans la conception et coordonner leur travail, ces équipes conçoivent et manipulent des objets intermédiaires :

- états intermédiaires de représentation du produit : Dessins, maquettes, prototypes virtuels ou physiques, concepts, fonctions, idées, etc. (Darses 1997) ;
- états intermédiaires de représentation du projet : Besoins, marchés, utilisateurs, clients, plannings, risques, tâches, coûts, réglementation, etc. (Gidel, Gautier, et Duchamp 2005 ; Shen et al. 2002).

Ces états intermédiaires de représentation permettent aux membres de l'équipe de partager des informations, de s'accorder sur une vision, des

objectifs, et sont un support pour la prise de décision (Rogers, Lim, et Hazlewood 2006 ; Tory et Staub-French 2008 ; Tse 2007). Ils contribuent au processus de conception collaborative : de l'idée au produit/service, en passant par le concept, la preuve du concept, le prototype, etc.

Une communauté internationale active réalise des recherches dans ce domaine connu sous le nom de CSCWD (Computer Supported Collaborative Work in Design) (Guerra et al. 2013 ; Kruger et al. 2004 ; Shen, Hao, et Li 2008).

3.3- Processus de résolution de problème en équipes interculturelles

Aujourd'hui, le travail collaboratif de la phase de conception préliminaire (par opposition au travail individuel entre les réunions) implique généralement des équipes d'environ six personnes et se déroule souvent autour d'une table de réunion ou d'un tableau. Il consiste en des séances de travail où les acteurs manipulent les états intermédiaires évoqués précédemment (très souvent limités à une représentation 2D sur un support papier ou support écran) et produisent des données sur support papier (Post-it, paperboard). Ces travaux font appel à l'expertise et la mémoire des participants concernant les projets antérieurs, l'état de l'art ou de la concurrence dans le domaine concerné.

Les nombreux logiciels et systèmes d'informations disponibles pour produire et manipuler ces états intermédiaires de représentation ont généralement été conçus pour n'être utilisés que par une seule personne (Dietz et Leigh 2001 ; Forlines et Lilien 2008) et souffrent d'un manque d'interopérabilité. C'est le cas des logiciels de la chaîne numérique (XAO, réalité virtuelle) et des logiciels de créativité, d'analyse de la valeur, de gestion de projet, des risques, des connaissances, de l'ergonomie, etc. L'utilisation des dispositifs actuels en mode collaboratif est donc très limitée. Il serait certes possible de mettre ces acteurs en réseau, chacun face à un écran, mais cela nuirait beaucoup aux interactions directes entre personnes et à la créativité nécessaires lors de ces phases.

Les informations qui doivent être partagées, en plus des échanges verbaux, existent sous des formes diverses : listes, tableaux, dessins, graphiques, images, textes, diagrammes, etc. Ces informations peuvent être conçues spécifiquement pour le projet de conception pendant les séances de conception collaboratives, provenir de travaux réalisés individuellement entre les séances ou de bases de données existantes.

Chacune de ces informations a des propriétés spécifiques (mode de représentation, couleurs, formes, positions, etc.). Les séances de conception sont généralement pilotées par un animateur qui provoque une alternance de phases de foisonnement et des phases de focalisation (Millier 2002, 2011).

Il y a donc, pendant les séances de conception, des activités de production individuelle et des mises en commun, parfois associées à des discussions et génération d'idées. Cela permet le foisonnement, la divergence. Il y a aussi des activités de négociation, décisions. Cela permet la focalisation, la convergence, le figeage permettant la progression dans la conception. C'est pourquoi nous préférons parler de *travail globalement collaboratif* (Tucker, Gidel, et Fluckiger 2019), en distinguant 5 modes d'interactions : le travail individuel, la communication, la coordination, la coopération et la collaboration (Tucker, Gidel, et Villemonteix 2018). Chacun de ces modes représente un différent niveau de complexité sociale : les 3 premiers représentent les modes de bases, sans lesquels il serait impossible de progresser vers la coopération et/ou la collaboration. Le travail individuel fait référence aux moments où une personne se retire du groupe afin de réfléchir et de construire ses idées (Teasley et Roschelle 1995) ou également de réaliser une tâche qui lui a été confiée. La communication désigne « la transmission d'un message d'un point à un autre via un canal de communication » (Shannon 1948). Ce mode d'interaction permet aux individus d'introduire de nouvelles informations dans le groupe. C'est un point de départ pour construire une vision partagée du problème (Teasley et Roschelle 1995). Celui-ci peut apparaître sous la forme d'une prise de parole, d'une note écrite ou même d'une présentation formelle. La coordination sera utilisée pour décrire le travail qui permet l'organisation des activités (événements, comportements, tâches et actions) afin qu'elles s'alignent et se synchronisent (Baker 2015). En tant que telle, la coordination peut être utilisée pour structurer, organiser ou diviser des tâches afin de faciliter le travail en coopération. La coopération implique la division planifiée des rôles et des responsabilités dans le but d'accomplir une tâche déterminée. Le travail lui-même se produit à un niveau individuel ou en sous-groupe, via les tâches qui ont été confiées à chaque personne, suivies de leur recombinaison (Baker 2015 ; Dillenbourg 1999). Nous incluons la confrontation et négociation lors de cette recombinaison de travail dans ce mode d'interaction. La collaboration implique la co-production et la co-élaboration de la totalité des tâches, qui sont accomplies par tous les participants pour atteindre

leur objectif commun (Baker 2015 ; Teasley et Roschelle 1995). Une collaboration réelle peut améliorer l'intelligence collective et les capacités de résolution de problèmes (Woolley et al. 2010). La collaboration implique que différents acteurs partagent un même objectif et de mêmes objets alors même que ces objets sont en cours de construction. Aussi, les acteurs réunis pour travailler sur la résolution d'un problème, la conception d'un produit, d'un *business model* ou d'une stratégie proviennent de métiers, entreprises et parfois de pays différents. Cette interculturalité peut complexifier les échanges et nécessite une prise en compte particulière si l'on veut arriver à une réelle collaboration.

3.4- Protocole expérimental d'une recherche technologique

Plusieurs expérimentations ont été réalisées afin d'évaluer les dispositifs. Nous avons commencé par faire des évaluations comparatives. L'objectif était d'identifier les points communs et les divergences entre une séance « papier-crayon » et une séance en environnement numérique. Par exemple, réaliser une séance de brainstorming (figure 2).



Figure 2 : Études comparatives « papier » vs. numérique

Ces expérimentations ont donné lieu à des analyses ethnographiques complétées par des analyses des vidéos des séances (figure 3). Ces vidéos ont été codées à l'aide du logiciel ANVIL afin de pouvoir comparer les temps de paroles, la production des idées, les prises de décision, les échanges (questions, réponses, envoi d'information écrite ...), les croisements perceptifs (regards, déictiques...).

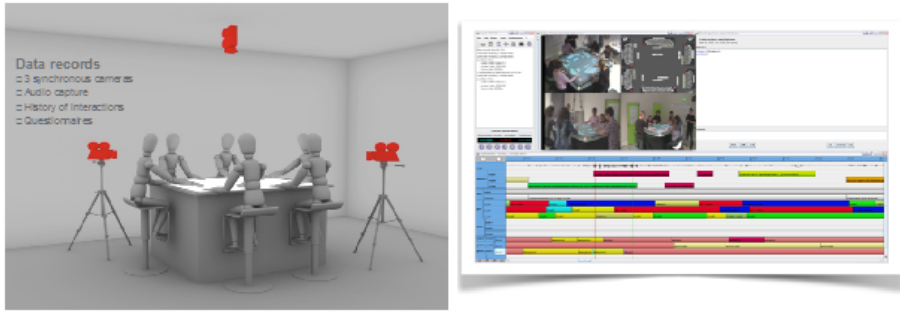


Figure 3 : Captation vidéo pour l'analyse des séances.

Plusieurs séries d'expérimentations ont été réalisées depuis 2008 jusqu'à aujourd'hui. Nous avons commencé par l'analyse d'un brainstorming réalisé autour d'une table au cours d'une séance (Burgaud, Mougenot, et Gidel 2009 ; Jones, Lenne, et al. 2011 ; Kendira et al. 2010, 2011 ; Lehoux et al. 2010 ; Moulin et al. 2011). À l'occasion de cette expérimentation, nous avons observé 8 groupes de 6 participants qui ont chacun fait deux brainstormings sur des sujets différents en croisant les sujets et les configurations (figure 2). Nous avons proposé un protocole de recherche permettant de comparer les configurations traditionnelles (papier-crayon) à des environnements numériques (Gidel, Guerra, et Vezzetti 2014 ; Guerra et al. 2016) puis nous avons poursuivi les expérimentations jusqu'à arriver à l'observation de projets complets de conception comprenant plusieurs activités, réalisées sur plusieurs séances en passant par des observations d'activités de planification réalisées sur deux séances utilisant table et tableau (figure 4) (Guerra et al. 2012, 2013, 2014 ; Guerra, Gidel, et Vezzetti 2015).



Figure 4 : Les différentes expérimentations.

Cette série d'expérimentations a aussi été rendue nécessaire, car les dispositifs ont évolué fortement au cours de ces années de recherche. En effet, nous postulons une coévolution des méthodologies de travail collaboratif et des dispositifs selon une posture *énactive* (Stewart, Gapenne, et Paolo 2010) avec une approche de la technologie comme anthropologiquement constitutive (Steiner 2010 ; Stiegler 1998). Les systèmes techniques soutiennent et favorisent le travail collaboratif en amplifiant les capacités cognitives individuelles et collectives. Selon les approches de l'analyse de l'activité humaine qui prennent en compte l'environnement social et technique de celle-ci, les artefacts utilisés (tables et tableaux numériques, tablettes) dépassent leur simple fonction d'aide, transforment les tâches et modifient cognitivement leur résolution. Les systèmes techniques qui sont développés ne sont pas de type « système expert », qui ferait le travail « à la place » des participants aux sessions de travail. Le rôle primordial de l'Homme dans le travail collaboratif est au cœur de nos recherches.

Nous postulons aussi une approche cognitiviste non-computationaliste (Lenay et Steiner 2010) qui justifie l'utilisation d'états intermédiaires de représentation pour formaliser ses propres idées et les partager avec les membres de l'équipe. En effet, de la même manière qu'il est souvent nécessaire d'écrire une équation pour la résoudre nous avons besoin de ces états intermédiaires de représentation externalisés pour formaliser et faire co-évoluer les problèmes et solutions de conception.

C'est pourquoi nous avons au cours de ces années de recherche adopté une démarche de type recherche-conception (*Design Science Research*) (Hevner 2007 ; Hevner et al. 2004 ; Pascal 2012), en associant les parties prenantes dès le début du processus de conception. Cette démarche peut se combiner avec les approches préconisées dans la *Design Research Methodology*, DRM (Blessing et Chakrabarti 2009 ; Blessing, Chakrabarti, et Wallace 1992, 1995 ; Reich 1995 ; Wallace et Blessing 2000). C'est donc une démarche de recherche-conception centrée utilisateurs qui a été mise en œuvre. Elle s'inscrit dans le cadre des recherches technologiques conduites à l'UTC où le développement des dispositifs techniques prend une part importante dans le processus de production de connaissances, c'est le « faire pour comprendre » de la recherche technologique (Lenay et al. 2014). C'est pourquoi cette recherche a été conduite en mode *agile* afin de garder des degrés de liberté dans la définition et l'évolution du cahier des charges du logiciel et du matériel pour permettre de faire des ajustements en cours de projet.

C'est cette démarche qui a permis de faire co-évoluer les dispositifs techniques et leurs usages.

3.5- Résultats théoriques et pratiques

Les recherches ont montré que les surfaces horizontales (tables) étaient favorables aux phases de foisonnement, de créativité, de divergences, confirmant les travaux d'autres chercheurs (Bachl et al. 2011 ; Fleck et al. 2009 ; Hartmann et al. 2010 ; Hilliges et al. 2007 ; Kruger et al. 2004 ; Rogers et Lindley 2004 ; Shen et al. 2009). Les surfaces verticales (tableaux), favorisent quant à elles, les phases de focalisation, de prise de décision, de convergence, de mise en commun, tri et organisation des idées.

Nous avons constaté que ces deux formes d'interactions (horizontale, table/verticale, tableau) sont complémentaires. La bascule de l'une vers l'autre peut améliorer la dynamique d'interaction et par conséquent le processus de conception et de formation à l'innovation.

Avec ces nouvelles technologies, les méthodes de conception préliminaire ainsi que le rôle de l'animateur doivent être pensés pour permettre la circulation entre les deux modes d'interaction et le travail.

Les recherches ont aussi montré que la répartition du temps de parole entre les individus participant à une session numérique était plus équitable que celles réalisées avec un support papier (Kendira et al. 2011). Ce constat, s'il est confirmé, peut laisser penser que l'environnement numérique diminue la problématique du « social loafing » qui conduit à la monopolisation de la parole par un ou quelques individus dans le groupe. Or, les recherches du *Center for Collective Intelligence* du *Massachusetts Institute of Technology* avec *Carnegie Mellon University* publiées dans *Science* (Woolley et al. 2010), précisent que lorsque la parole entre les participants d'un groupe de travail est bien répartie entre ses membres cela contribue à améliorer l'intelligence collective.

Un autre résultat des recherches que nous avons effectuées est lié au dispositif numérique lui-même. Le fait de passer de sessions papier aux sessions numériques fait gagner un temps précieux lors de l'arrêt et la reprise d'activité. En effet, dans une configuration traditionnelle, remettre en place les *brown-paper* et accéder aux données sur les *post-it* et *paperboard* peut être fastidieux. Le numérique facilite la manipulation des

données et de fichier tout en permettant la continuité numérique, c'est-à-dire l'accès aux informations produites par le groupe en dehors des réunions, lorsque les personnes sont à leur poste de travail.

Nous pensons enfin que le passage au numérique pourra faciliter la formation, la capitalisation et la réutilisation des informations relatives aux états intermédiaires de représentation du produit et du projet.

Cette recherche ayant été réalisée en collaboration avec des chercheurs de différentes disciplines, de nombreux autres résultats ont été produits dans les domaines de l'interaction Homme-machine (Human Computer Interaction, HCI), en particulier les interactions multimodales (touché, voix, ...) (Jones, Kendira, et al. 2011 ; Jones, Kendira, Moulin, et al. 2012 ; Kendira, Gidel, Jones, et Lenne 2013), multi-utilisateurs sur un même écran et multisurfaces (échanges table, tableau, tablettes) (Barthès et al. 2012 ; Jones, Kendira, Gidel, Moulin, Lenne, Barthès, et al. 2012) et de l'informatique, en particulier l'architecture et des systèmes à base d'agents (Barthès 2009 ; Jones, Kendira, Gidel, Moulin, Lenne, et Barthès 2012).

Enfin, il est important de noter que cette recherche a fait l'objet de plusieurs valorisations, aussi bien au niveau de production de brevet (Kendirra, Gidel, Jones, Moulin, et al. 2013), de contrats industriels que de la création de start-ups (Ubikey®, inTact®...).

4- Le déploiement : la Halle Numérique

4.1- Enseignements par projet en environnements numériques

Ces premiers résultats étant encourageants, un projet de déploiement de ces outils dans le cadre de la formation des élèves ingénieurs de Sorbonne Universités – Université de technologie de Compiègne (UTC) a été mis en œuvre.

Le projet Halle Numérique a permis le déploiement d'une pédagogie innovante par projet s'appuyant sur la mise en œuvre de cinq espaces numériques composés chacun d'une grande table et d'un tableau tactile⁴. Ce déploiement s'est fait dans un contexte de développement des plateformes technologiques au Centre d'innovation de l'UTC et la volonté dans le cadre des PIA (Projets d'Investissements d'Avenir) de doter les écoles et universités d'outils pédagogiques innovants et

performants, notamment pour le travail collaboratif en mode projet. Ce projet a pu être mené à bien, car une des start-ups issues du projet de recherche, Ubikey5, était en mesure de fournir le matériel et d'accompagner le développement logiciel.

Depuis 2000, l'UTC met en œuvre une pédagogie originale basée sur la réalisation de projets par des groupes de 4 à 6 étudiants. Les étudiants travaillent sur des cas pédagogiques et sur des projets réels fournis par les associations ou les industriels. Depuis 2006, dans le cadre du projet de création du centre d'innovation de l'UTC, des salles ont spécialement été conçues pour mettre en œuvre cette pédagogie. Nous avons d'abord utilisé des équipements traditionnels (*paper board*, tableau blanc, Post-it®). Nous avons ensuite équipé certaines de ces salles avec un ordinateur par box associé avec un écran à partir de 2007. Nous avons aussi testé d'autres équipements de type TBI (Tableau Blanc Interactif). À partir de 2009, les projets de recherche TATIN puis TATIN-PIC ont permis de tester et d'améliorer le concept d'une table et d'un tableau tactile connectés permettant le travail d'un groupe projet de 6 étudiants. Plusieurs séances de travail dans un environnement équipé d'une table tactile de grande dimension, couplée à un mur d'image tactile ont été réalisées. Des enseignants étaient partants pour expérimenter en environnement réel des cours de conception préliminaire, d'analyse de la valeur, de gestion de projet, de marketing stratégique, de veilles technologiques ou concurrentielles, de créativité, etc. Ces cours étaient auparavant réalisés dans le centre d'innovation de l'UTC en utilisant les traditionnels Post-it®, *brown paper* et *paperboard*.

Ces nouveaux outils numériques utilisant les avancées technologiques du tactile adaptés pour permettre le travail collaboratif en présentiel nécessitent un apprentissage et comme tous les nouveaux outils ils entraînent un questionnement des pratiques existantes. Le parti-pris du projet Halle numérique était d'intégrer progressivement ces outils numériques collaboratifs à des formations existantes utilisant déjà la pédagogie par projet. Ce processus se faisant selon une approche *énactive* de co-construction des outils numériques et de la pédagogie associée. C'est pourquoi nous sommes partis des pédagogies existantes que nous avons numérisées tout en sachant que l'introduction des nouveaux outils permettrait de faire évoluer les pratiques pédagogiques ainsi que les environnements numériques associés.

4.2- Des limites techniques et humaines

Le déploiement à grande échelle de ces dispositifs et la mise en place d'enseignements depuis le printemps 2016 ont permis de confirmer l'intérêt de ces approches, mais en ont aussi montré les limites.

Différentes limites techniques ont été identifiées. Je ne vais pas développer les limites dans cet article. Si je devais citer un exemple, je prendrais celui de la saisie clavier sur surface tactile. C'est une problématique bien connue des ergonomes : les claviers tactiles rendent la saisie difficile, notamment pour les utilisateurs habitués à taper avec leurs dix doigts. Plusieurs limites de ce type ont été identifiées et différentes solutions sont en cours de test.

Des limites liées à la collaboration ont aussi été identifiées. Un inconvénient de ces dispositifs c'est qu'ils « obligent » à participer au travail collectif. En effet, dans beaucoup de réunions « classiques », chacun est assis « derrière » son ordinateur, autour d'une table, et peut passer des tâches collectives (participation active au travail commun) aux tâches individuelles (liées ou non à la réunion : recherches d'information sur internet ou rédaction d'un mail urgent, voir, discussions avec des amis sur les réseaux sociaux). Les réunions autour des dispositifs table-tableau ont quant à elles été pensées uniquement pour les phases de travail collaboratif en présentiel : même s'il est possible d'aller faire une recherche de documents personnels ou sur internet à partir du navigateur, les utilisateurs n'utilisent ces fonctionnalités que si elles contribuent au travail collectif. En effet, l'écran étant partagé, il ne viendrait pas à l'esprit des participants de débiter un tchat avec des amis ou consulter les dernières publications sur leurs réseaux sociaux. Aussi, les dispositifs actuels ne permettent pas d'intégrer facilement dans la réunion de personnes à distance. Par ailleurs, en fonction de la complexité des tâches à réaliser, certains participants peuvent penser, à juste titre parfois, qu'il serait plus rapide voir plus efficace de les effectuer seul. Par exemple, la recherche d'une solution à un problème pourrait être réalisée plus rapidement de manière individuelle. Or, indépendamment de la qualité de la solution qui serait identifiée, en résolution de problème en particulier, nous savons que l'intérêt du travail collaboratif n'est pas seulement la recherche d'une solution, mais c'est aussi d'obtenir l'adhésion des participants par la construction de cette solution qui permet l'appropriation par le collectif afin que la mise en œuvre soit facilitée. Certains participants, enfin, éprouvent des difficultés

à collaborer avec des personnes provenant d'horizon ou de disciplines différentes. Bien que ce type de difficultés existe déjà dans les réunions traditionnelles, l'utilisation des dispositifs numérique peut renforcer cette problématique ; les échanges étant plus intenses et mieux répartis entre les participants d'une session numérique.

Ces difficultés ouvrent différentes perspectives de recherche que nous allons développer ci-après.

5- Perspectives : apprentissage et travail à distance

L'éducation nationale a bien identifié l'importance du travail collaboratif, en particulier interdisciplinaire, pour la réussite des élèves. La question de l'acquisition des compétences et de l'apprentissage des méthodes de travail collaboratif est donc cruciale.

La circulaire de rentrée 2016 de l'éducation nationale rappelle que « *la scolarité constitue un parcours cohérent, où chaque discipline, chaque enseignement, s'inscrit dans une complémentarité avec les autres*⁶ ». La réforme du collège (approche curriculaire des contenus d'enseignement, échelle de référence concernant les attendus de fin de cycle, etc.), la mise en place du cycle 3 et des parcours exigent « *une coopération plus large et plus approfondie entre les enseignants des premier et second degrés*⁷ ». En effet, l'enquête PISA de l'OCDE a pointé l'importance de ces compétences et les lacunes de la France dans ce domaine (OECD 2017).

Parallèlement, se mettent en place des enseignements pratiques interdisciplinaires en collège⁸ (démarche projet, etc.), et un enseignement facultatif « Informatique et Création Numérique » (ICN) dont un des objectifs est de « *développer [l']autonomie [des élèves] et leurs capacités à mettre en œuvre une méthode de travail incluant la démarche de projet, le travail collaboratif et l'approche par essai-erreur* »⁹ (Projet de programme pour l'enseignement facultatif ICN).

Or, si les enseignants ont déjà des habitudes de travail collectif, celles-ci reposent essentiellement sur du partage de documents ou de ressources plutôt que sur un véritable travail collaboratif, au sens d'une « *collaboration entre pairs [permettant d'échanger et de partager des compétences pour mieux réussir un projet commun]* »¹⁰ (Grand dictionnaire de la langue française, Québec).

Celle-ci se heurte en effet souvent à des contraintes d'organisation, à des freins liés aux individus et à une absence des compétences nécessaires, l'enseignement étant souvent conçu comme un acte solitaire au sein de la classe. Par ailleurs, même si le travail en ilots et la pédagogie inversée se développent, les activités de classe relèvent encore souvent d'une exécution de tâches conçues par l'enseignant plutôt que d'une véritable démarche collaborative entre élèves. Les outils numériques disponibles, par ailleurs, sont souvent disparates et ne font pas ou peu « système ».

Comment accompagner les enseignants pour qu'ils s'approprient les démarches et outils collaboratifs et les utilisent avec leurs élèves ? De quels outils et équipements ont-ils besoin ? Quels changements ces pratiques collaboratives instrumentées induisent-elles dans la formation initiale et continue des enseignants, mais aussi dans l'organisation des espaces scolaires ? Quelle valeur ajoutée les instruments tactiles utilisés apportent-ils aux pratiques collectives de résolution de problèmes et quels sont les effets de ces pratiques avec ces instruments sur les apprentissages individuels ? Quels environnements de travail collectif basés sur les technologies tactiles concevoir et mettre en œuvre pour conduire les élèves à travailler collectivement et collaborer au profit d'apprentissages individuels ? Quels accompagnements, formation initiale et continue mettre en place pour favoriser l'appropriation et la mise en œuvre de ces démarches, souhaitées par les programmes et la réforme du collège ?

Un second axe de recherche que nous commençons à développer concerne le travail collaboratif médié par des dispositifs numériques au sein d'équipes interculturelles distribuées. Dans ce type de configuration, les participants utilisent différents supports pour collaborer au sein d'un même emplacement (par exemple une table et un tableau tactile) et entre plusieurs sites (par exemple un système de visioconférence). Il s'agit de technologies clés qui suscitent une demande importante de la part d'entreprises de l'industrie et des services qui souhaitent développer des produits à l'international, comme dans les secteurs de l'automobile ou de l'aéronautique.

En nous appuyant sur le concept de travail globalement collaboratif présenté précédemment, nous nous souhaitons mieux comprendre les différentes modalités de travail synchrone, asynchrone, localisée et distribuée et l'influence des dispositifs techniques numériques sur ces modalités de travail. Nous focalisons en particulier sur la notion

d'espaces de travail individuel, collectif, privé et public. Nous souhaitons identifier précisément et décortiquer les obstacles liés à la collaboration à distance. Les concepts d'attention jointe et d'intentionnalité partagée qui sous-tendent toute possibilité de réelle collaboration et qui sont étudiées au sein du laboratoire COSTECH seront mobilisés. Les défis qui découlent des problématiques précédentes et qui restent à relever pour atteindre une interaction symbiotique et une maîtrise des méthodes qui permettraient de faciliter une collaboration réelle au sein d'équipes distribuées sont nombreux. Comment faciliter la production individuelle de données sur des surfaces partagées, y compris leur mise en commun et la co-création de texte, de croquis, de dessins en temps réel et sur une même surface partagée localement et à distance ? Comment assurer la continuité numérique, la capitalisation et la réutilisation des données pour traiter à la fois les activités de collaboration synchronisées effectuées pendant une réunion, mais également les activités asynchrones telles que le travail individuel, la planification de réunion ou la préparation de procès-verbaux ? Comment donner un sentiment de présence des personnes éloignées (*awareness*) en favorisant l'attention conjointe (*joint attention*) et une intentionnalité partagée (*shared intentionality*) afin de s'assurer que les intentions des acteurs sont bien transmises aux personnes éloignées ? Comment deviner l'objet de l'activité des autres participants, mais également deviner ce que les autres comprennent de l'activité que je réalise et réciproquement ? Comment retrouver cette lisibilité des activités intentionnelles lorsque les acteurs sont distants ? Quels éléments des différentes activités ou les comportements significatifs sont les plus importants à connaître pour les différents acteurs afin de permettre une collaboration efficace et fluide ? Qu'est-ce qui doit être transmis, enregistré ou rejoué ? Les activités, les corps (yeux, bouche, visage, postures, etc.), les interactions interindividuelles... Tous ces éléments, naturellement présents dans les situations face à face, doivent maintenant être déconstruits, identifiés, modélisés, compris, enregistrés, transmis et diffusés aux différents sites via différents canaux pour que la collaboration puisse se faire. Pour réaliser ces recherches, il faut combiner des connaissances provenant de différents domaines de l'informatique, des sciences humaines et du génie industriel. Les sujets techniques et les problèmes d'interaction doivent être abordés simultanément. Les recherches technologiques que nous menons conduisant à la construction de systèmes techniques de collaboration à distance révèlent la multiplicité et la complexité des composants nécessaires à la création d'interactions interindividuelles faciles, fluides et efficaces. La production de connaissances, modèles,

théorie qui en résulte doit permettre de mieux appréhender la complexité des activités de collaboration.

Ces questions que nous nous proposons d'adresser lors de nos recherches futures doivent permettre de produire des modèles pour comprendre les processus de travail collaboratifs au sein d'équipes interculturelles distribuées et d'apprentissages des méthodes de travail collaboratifs. Cela doit favoriser la diffusion de pratiques de travail collaboratives et contribuer à la formation à ces pratiques.

6- Bibliographie

Bachl, Stefan, Martin Tomitsch, Karin Kappel, et Thomas Grechenig. 2011. « The Effects of Personal Displays and Transfer Techniques on Collaboration Strategies in Multi-touch Based Multi-Display Environments » édité par P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, et M. Winckler. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011* 6948:373-90.

Baker, Michael. 2015. « Collaboration in Collaborative Learning ». *Interaction Studies* 16(3):451-73.

Barthès, Jean-Paul. 2009. « OMAS - A flexible multi-agent environment for CSCWD ». P. 258-63 in *Computer Supported Cooperative Work in Design, 2009. CSCWD 2009. 13th International Conference on*.

Barthès, Jean-Paul, Alistair Jones, Atman Kendira, Dominique Lenne, Claude Moulin, et Thierry Gidel. 2012. « Ambiguity in Multimodal Interaction with Multi-touch Multi-user Graphics Tables ». P. 1-13 in *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*. Vol. 7467, *Lecture Notes in Computer Science*, édité par Y. Luo. Osaka, Japan.

Blessing, LTM, A. Chakrabarti, et KM Wallace. 1992. « Some issues in engineering design research ». in *Proceedings EDC/SERC Design Methods Workshop, The Open University UK*.

Blessing, Lucienne TM et Amaresh Chakrabarti. 2009. *DRM, a design research methodology*. Berlin, Germany : Springer.

Blessing, Lucienne TM, Amaresh Chakrabarti, et KMM Wallace. 1995. « A design research methodology ». P. 50–55 in *Proceedings of the 10th*

International Conference on Engineering Design (ICED'95). Vol. 23. Heurista.

Brown, Tim. 2009. *Change by Design : How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. New York : HarperBusiness.

Burgaud, David, Céline Mougnot, et Thierry Gidel. 2009. « Tables interactives : vers une aide à l'animation de séances de conception préliminaire collaborative ? » Marrakech, Maroc.

Coldefy, F. et S. Louis-dit-Picard. 2007. « DigiTable : an interactive multiuser table for collocated and remote collaboration enabling remote gesture visualization ». P. 1-8 in *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.

Darses, Françoise. 1997. « L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception ». *Ingénierie concourante : de la technique au social* 39–55.

Dietz, Paul et Darren Leigh. 2001. « DiamondTouch : a multi-user touch technology ». P. 219–226 in *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '01*. New York, NY, USA : ACM.

Dillenbourg, Pierre. 1999. « What Do You Mean by Collaborative Learning ? » P. 1-19 in *Collaborative-learning : Cognitive and Computational Approaches*. Oxford : Elsevier.

Dym, Clive L., Alice M. Agogino, Ozgur Eris, Daniel D. Frey, et Larry J. Leifer. 2005. « Engineering design thinking, teaching, and learning ». *Journal of Engineering Education* 94(1):103–120.

Fleck, Rowanne, Yvonne Rogers, Nicola Yuill, Paul Marshall, Amanda Carr, Jochen Rick, et Victoria Bonnett. 2009. « Actions speak loudly with words : unpacking collaboration around the table ». P. 189–196 in *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '09*. New York, NY, USA : ACM.

Forlines, Clifton et Ryan Lilien. 2008. « Adapting a Single-user, Single-display Molecular Visualization Application for Use in a Multi-user, Multi-display Environment ». P. 367–371 in *Proceedings of the Working*

Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '08. New York, NY, USA : ACM.

Gero, John S. 1999. « Constructive Memory in Design Thinking ». in *Architectural Science Review* 42 : 3-5.

Gidel, Thierry, Remy Gautier, et Robert Duchamp. 2005. « Decision-making framework methodology : an original approach to project risk management in new product design ». *Journal of Engineering Design* 16(1):1-23.

Gidel, Thierry, Andrea Luigi Guerra, et Enrico Vezzetti. 2014. « UP : A unified paradigm to compare computer-based and paper-based supporting tools for collective co-located preliminary engineering design activities ». in *Joint Conference on Mechanical, Design Engineering & Advanced Manufacturing*. Toulouse, France.

Guerra, A. L., T. Gidel, E. Vezzetti, et others. 2016. « Toward a common procedure using likert and likert-type scales in small groups comparative design observations ». Dubrovnik, Croatie.

Guerra, Andrea Luigi, Thierry Gidel, Atman Kendira, Enrico Vezzetti, et Alistair Jones. 2013. « Co-evolution of design tactics and CSCWD systems : Methodological circulation and the TATIN-PIC platform ». in *DS 75-9 : Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies, Vol. 9 : Design Methods and Tools, Seoul, Korea*.

Guerra, Andrea Luigi, Thierry Gidel, et Enrico Vezzetti. 2015. « Digital intermediary objects : the (currently) unique advantage of computer-supported design tools ». in *DS 80-5 Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15) Vol 5 : Design Methods and Tools-Part 1, Milan, Italy, 27-30.07. 15*.

Guerra, Andrea Luigi, Thierry Gidel, Enrico Vezzetti, Alistair Jones, et Dominique Lenne. 2014. « Conducting value engineering analysis around a computer supported cooperative work in design platform ». in *13th International Design Conference*. Croatia.

Guerra, Andrea Luigi, Thierry Gidel, Enrico Vezzetti, et Atman Kendira. 2012. « Co-evolution of design methods and CSCWD systems to improve

the preliminary design process ». P. 8 in. S. Servolo - Venice.

Hartmann, Björn, Meredith Ringel Morris, Hrvoje Benko, et Andrew D. Wilson. 2010. « Pictionary : Supporting Collaborative Design Work by Integrating Physical and Digital Artifacts ». P. 421–424 in *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '10*. New York, NY, USA : ACM.

Hevner, Alan R. 2007. « A Three Cycle View of Design Science Research. » *Scandinavian journal of information systems* 19(2).

Hevner, Alan R., Salvatore T. March, Jinsoo Park, et Sudha Ram. 2004. « Design Science in Information Systems Research ». *MIS Q.* 28(1):75–105.

Hilliges, Otmar, Lucia Terrenghi, Sebastian Boring, David Kim, Hendrik Richter, et Andreas Butz. 2007. « Designing for collaborative creative problem solving ». P. 137–146 in *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition*.

Jones, Alistair, Atman Kendira, Thierry Gidel, Claude Moulin, Dominique Lenne, et Jean-Paul Barthès. 2012. « Personal Assistant Agents and Multi-agent Middleware for CSCW ». P. 72-79 in *From the proceedings of the 16th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*. Wuhan, China.

Jones, Alistair, Atman Kendira, Thierry Gidel, Claude Moulin, Dominique Lenne, Jean-Paul Barthès, et Andrea Luigi Guerra. 2012. « Evaluating Collaboration in Table-centric Interactive Spaces ». in *AVI workshop on Designing Collaborative Interactive Spaces*. Capri, Italy.

Jones, Alistair, Atman Kendira, Dominique Lenne, Thierry Gidel, et Claude Moulin. 2011. « The TATIN-PIC project : A multi-modal collaborative work environment for preliminary design ». P. 154-61 in *Computer Supported Cooperative Work in Design, 2011 15th International Conference on*.

Jones, Alistair, Atman Kendira, Claude Moulin, Jean-Paul Barthès, Dominique Lenne, et Thierry Gidel. 2012. « Vocal Interaction in Collocated Cooperative Design ». P. 246-52 in *IEEE 11th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing*. Kyoto, Japan.

Jones, Alistair, Dominique Lenne, Atman Kendira, Thierry Gidel, Claude Moulin, et Jean-Paul Barthès. 2011. « Apprentissage autour d'une table interactive ». P. 36–44 in *Actes de l'Atelier "IHM avancées pour l'apprentissage" - EIAH 2011*, édité par A. Serna et S. George. Mons, Belgium.

Kendira, Atman, Thierry Gidel, Alistair Jones, et Dominique Lenne. 2013. « Verbal and nonverbal communication for evaluating interactive spaces. » P. 319–324 in *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Paris, France : ACM.

Kendira, Atman, Thierry Gidel, Alistair Jones, Dominique Lenne, Jean-Paul Bartès, et Claude Moulin. 2011. « Conducting Preliminary Design around an Interactive Tabletop ». P. 366-76 in *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design*. Vol. 2.

Kendira, Atman, Thierry Gidel, Alistair Jones, Claude Moulin, Dominique Lenne, et J. P... Barthes. 2013. « 'Procédé pour grouper des documents électroniques' relatif à des techniques de regroupement d'idée lors de séance de créativité sur écran tactile. »

Kendira, Atman, Alistair Jones, Guillaume Lehoux, Thierry Gidel, Stéphanie Buisine, et Dominique Lenne. 2010. « Project Tatin : creativity and collaboration during a preliminary product design session using an interactive tabletop ». P. 158-64 in. France, Bordeaux.

Kruger, Russell, Sheelagh Carpendale, Stacey D. Scott, et Saul Greenberg. 2004. « Roles of Orientation in Tabletop Collaboration : Comprehension, Coordination and Communication ». *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 13(5-6):501-37.

Le Masson, Pascal, Armand Hatchuel, et Benoit Weil. 2014. *Théorie, méthodes et organisations de la conception*. Presse des Mines.

Lehoux, Guillaume, Atman Kendira, Thierry Gidel, et Stéphanie Buisine. 2010. « Projet TATIN : Vers l'analyse de la créativité en phase de conception préliminaire collaborative autour d'une table interactive ». P. 267-77 in. Sousses, Tunisie.

Lenay, C. et P. Steiner. 2010. « Beyond the internalism/externalism debate : the constitution of the space of perception ». *Consciousness and*

Cognition (19):938-52.

Lenay, Charles, Pascal Salembier, Pierre Lamard, Yves-Claude Lequin, et Loïc Sauvee. 2014. « Pour une recherche technologique en sciences humaines et sociales ». *SHS Web of Conferences* 13:05001.

MacLeamy, Patrick. 2004. *Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation*. WP-1202.

Millier, Paul. 2002. *L'étude des marchés qui n'existent pas encore*. Editions d'Organisation.

Millier, Paul. 2011. *Stratégie et marketing de l'innovation technologique - 3^e édition: Lancer avec succès des produits qui n'existent pas sur des marchés qui n'existent pas encore*. Édition : 3^e édition. Dunod.

Moulin, Claude, Alistair Jones, Jean-Paul Barthès, et Dominique Lenne. 2011. « Preliminary Design on Multi-touch surfaces Managed by Multi-agent System ». *International Journal of Energy, Information and Communications* 2(4).

OECD. 2017. « PISA 2015 Collaborative Problem-solving Framework ». P. 131-88 in *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing.

Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen, et K. H. Grote. 2007. *Engineering Design A System Approach*. Springer Science and Business Media.

Pascal, Amandine. 2012. « Le design science dans le domaine des systèmes d'information : mise en débat et perspectives ». *Systemes d'information management* Volume 17(3):7-31.

Pinelle, David et Carl Gutwin. 2008. « Evaluating Teamwork Support in Tabletop Groupware Applications Using Collaboration Usability Analysis ». *Personal and Ubiquitous Computing* 12(3):237-54.

PMI. 2017. *PMBOK® Guide*. Project Management Institute ; Sixth Edition.

Reich, Y. 1995. « The Study of Design Research Methodology ». *Journal of Mechanical Design* 117(2A):211.

Restrepo, Tomas, Natalia Arbelaez, Dominique Millet, et Thierry Gidel. 2010. « Improvement of CSCW software implementation in NPD : the CAM mechanism for a better adoption by users ». *Int. J. Learning and Change* 4(4):281-99.

Rogers, Y., Youn-Kyung Lim, et W. R. Hazlewood. 2006. « Extending tabletops to support flexible collaborative interactions ». P. 8 pp.- in *First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006. TableTop 2006*.

Rogers, Yvonne et Siân Lindley. 2004. « Collaborating around Vertical and Horizontal Large Interactive Displays : Which Way Is Best ? » *Interacting with Computers* 16(6):1133-52.

Schmidt, Kjeld et Liam Bannon. 1992. « Taking CSCW Seriously ». *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 1(1):7-40.

Scott, S. D. et S. Carpendale. 2006. « Guest Editors' Introduction : Interacting with Digital Tabletops ». *IEEE Computer Graphics and Applications* 26(5):24-27.

Serres, Michel. 2015. *Petite Poucette*. Humensis.

Shannon, C. E. 1948. « A Mathematical Theory of Communication ». *Bell System Technical Journal* 27(3):379-423.

Shen, Chia, Neal B. Lesh, Frederic Vernier, Clifton Forlines, et Jeana Frost. 2002. « Sharing and Building Digital Group Histories ». P. 324–333 in *Proceedings of the 2002 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '02*. New York, NY, USA : ACM.

Shen, Chia, Kathy Ryall, Clifton Forlines, Alan Esenther, Frédéric D. Vernier, Katherine Everitt, Mike Wu, Daniel Wigdor, Meredith Ringel Morris, Mark Hancock, et Edward Tse. 2009. « Collaborative Tabletop Research and Evaluation ». P. 1-17 in *Interactive Artifacts and Furniture Supporting Collaborative Work and Learning, Computer-Supported Collaborative Learning Series*, édité par P. Dillenbourg, J. Huang, et M. Cherubini. Boston, MA : Springer US.

Shen, Weiming, Qi Hao, et Weidong Li. 2008. « Computer supported collaborative design : Retrospective and perspective ». *Computers in*

Industry 59(9):855-62.

Steiner, Pierre. 2010. « Philosophie, technologie et cognition. Etats des lieux et perspectives ». *Intellectica* 53(1):7-40.

Stewart, John Robert, Olivier Gapenne, et Ezequiel A. Di Paolo. 2010. *Enaction : Toward a New Paradigm for Cognitive Science*. MIT Press.

Stiegler, Bernard. 1998. *Technics and Time : The Fault of Epimetheus*. Stanford University Press.

Suh, Nam P. 2001. *Axiomatic Design : Advances and Applications*. Oxford University Press.

Teasley, Stephanie et Jeremy Roschelle. 1995. « Constructing a Joint Problem Space : The Computer as a Tool for Sharing Knowledge ». in C. O'Malley (Ed.), *Computer-supported collaborative learning*. New York : Springer-Verlag.

Tory, Melanie et Sheryl Staub-French. 2008. « Qualitative Analysis of Visualization : A Building Design Field Study ». P. 7:1–7:8 in *Proceedings of the 2008 Workshop on BEyond Time and Errors : Novel evaluation Methods for Information Visualization, BELIV '08*. New York, NY, USA : ACM.

Tse, Edward. 2007. « Multimodal Co-located Interaction ». The University of Calgary.

Tse, Edward, Saul Greenberg, Chia Shen, Clifton Forlines, et Ryo Kodama. 2008. « Exploring true multi-user multimodal interaction over a digital table ». P. 109–118 in *Proceedings of the 7th ACM conference on Designing interactive systems - DIS '08*. Cape Town, South Africa.

Tucker, Andrea, Thierry Gidel, et Cédric Fluckiger. 2019. « Designing Physical-Digital Workspaces to Support Globally Collaborative Work ». in *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED 19) 5-8 august 2019, Delft, The Netherlands*.

Tucker, Andrea, Thierry Gidel, et François Villemonteix. 2018. « Apprendre à collaborer : l'utilisation des tables tactiles pour les projets pédagogiques ». P. 11 in. Budapest, Hongrie.

Turkle, Sherry. 2011. *Alone Together : Why We Expect More from Technology and Less from Each Other*. Paperback first published. New York, NY : Basic Books.

Turkle, Sherry. 2015. *Reclaiming conversation : the power of talk in a digital age*. New York : Penguin Press.

Ulrich, Karl T. et Steven D. Eppinger. 2004. *Product Design and Development*. McGraw-Hill/Irwin.

Vial, Stéphane. 2013. *L'être et l'écran : Comment le numérique change la perception*. Presses Universitaires de France.

Wallace, Ken M. et Lucienne T. M. Blessing. 2000. « Observations on Some German Contributions to Engineering Design In Memory of Professor Wolfgang Beitz ». *Research in Engineering Design* 12(1):2-7.

Woolley, Anita Williams, Christopher F. Chabris, Alex Pentland, Nada Hashmi, et Thomas W. Malone. 2010. « Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups ». *Science* 330(6004):686-88.

1 <http://www.utc.fr/tatin/TATIN/PROJECT.html>

2 <http://ubikey.fr>

3 <http://halnum.utc.fr/HN/HalNum.html>

4 <http://halnum.utc.fr/HN/HalNum.html>

5 <http://ubikey.fr>

6 http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=100720

7 idem

8 <http://www.education.gouv.fr/cid86831/college-mieux-apprendre-pour-mieux-reussir.html>

9

<http://www.education.gouv.fr/cid89179/projet-de-programme-pour-un-enseignement-d-exploration-d-informatique-et-de-creation-numerique.html>

10

<http://eduscol.education.fr/numerique/dossier/archives/travail-apprentissage-collaboratifs/de-quoi-parle-t-on/notion-collaboratif>