

LA CONCEPTION AVEC DES TECHNOLOGIES EMERGENTES

Ce chapitre porte aborde l'impact de la technologie mobilisée en conception, c.-à-d. des interactions tangibles sur tables interactives, sur l'activité future en classe, sur le processus de conception global et sur les caractéristiques des choix de conception.

Dans un premier temps, les spécificités techniques de la technologie sont présentées, ainsi que des exemples d'applications existantes. Les modalités d'interactions propres aux interactions tangibles sur tables interactives sont discutées, en lien avec leur intérêt pour des activités d'enseignement et d'apprentissage.

Au regard de ces caractéristiques, de celles du projet Tactileo plus globalement et des limites actuelles à l'intégration des TICE, l'intérêt de définir conjointement une application tangible et ses usages futurs est ensuite discuté. Une décomposition de cet artefact à concevoir est alors proposée afin d'outiller les analyses empiriques concernant les choix de conception.

Dans la troisième partie de ce chapitre, l'impact du caractère émergent de la technologie sur le processus de conception est abordé. La question des besoins de futurs utilisateurs vis-à-vis de ce type de technologie peu mature et peu connue y apparaît prépondérante.

Enfin, la dernière partie s'appuie sur les connaissances plus génériques concernant les processus de conception afin d'offrir une vision globale de ces processus. Elle vise à outiller la formalisation du processus en caractérisant les choix de conception selon leur niveau d'abstraction afin d'étudier par la suite les processus d'innovation et d'intégration associées à ces différents niveaux.

1 Les tables interactives et les interfaces tangibles

1.1 Présentation générale

Les tables interactives sont des dispositifs informatiques qui peuvent être caractérisés par leur forme de table avec un écran large et horizontal qui détecte des interactions tactiles multiples

(Kubicki, 2011). Elles ont pour principe général de permettre des interactions collectives sur de grandes surfaces qui affichaient différents médias (Benko, Morris, Brush & Wilson, 2009).

Kubicki (2011) différencie 3 types principaux de tables : celles qui sont uniquement tactiles et qui permettent à l'utilisateur d'interagir avec des objets virtuels ; celles qui lui permettent d'interagir en manipulant des objets tangibles, réels, qui sont reconnus par les tables interactives ; et les mixtes qui supportent à la fois les interactions tactiles et tangibles. Dans la suite de ce document, nous nous intéresserons à ce dernier type de table interactive.

Les interfaces tangibles ont émergé dans les années 90, en particulier grâce aux travaux de : Fitzmaurice, Ishii & Buxton (1995) sur une « *Graspable Interface* », permettant de manipuler des objets numériques avec des cubes de bois ; et ceux Ishii et Ullmer (1997) sur les « *Tangible Bits* » qui ont posé les fondations pour les travaux ultérieurs sur les interactions tangibles. Il s'agissait initialement d'étudier l'utilisation d'objets réels pour donner une forme physique à des informations numériques et permettre une manipulation plus directe d'un système numérique.

Le concept de manipulation directe, centrale dans les interactions tangibles, a émergé dans les années 80 et se définit par deux dimensions (Hutchins, Hollan & Norman, 1985) :

- La correspondance entre une manipulation d'entrée et ce qu'affiche le dispositif numérique, par exemple l'articulation entre une souris et le pointeur à l'écran (*articulatory directness*) ;
- la correspondance sémantique entre la représentation virtuelle (*la métaphore*) et son référent dans le monde réel, comme l'icône de la corbeille (*semantic directness*).

Les interfaces tangibles favorisent une plus forte correspondance à ces deux niveaux que le couple clavier-souris habituel. Elles offrent également une plus grande diversité que les interfaces tactiles grâce aux formes des objets tangibles et à leur manipulation.

Par définition, les interfaces tangibles englobent un grand nombre d'interfaces homme-machine. Shaer & Hornecker (2010) décrivent quatre types interfaces homme-machine qui peuvent être reliés au champ des interactions tangibles : les dispositifs ambiants, les interfaces « *embarquées* » ou « *incarnées* » (Embodied User Interfaces), les interfaces de type « *réalité augmentée tangible* » et les interfaces tangibles sur table interactive. Ullmer, Ishii & Jacob (2005) distinguent trois types d'interfaces : des surfaces interactives sur lesquels sont

manipulés des objets tangibles, des interfaces qui contraignent les interactions possibles avec leurs objets tangibles et des assemblages de blocs modulaires connectés (voir Figure 4).

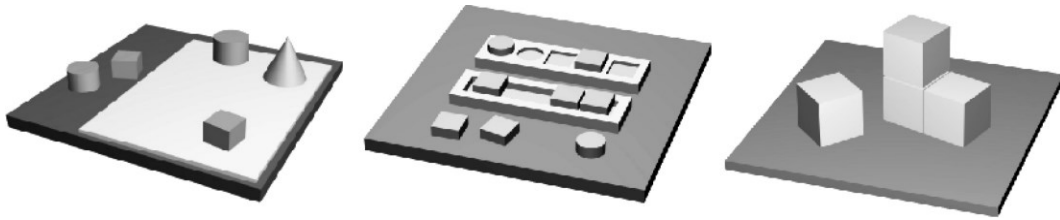


Figure 4. Exemple de taxinomie pour les interfaces tangibles (Ullmer & al., 2005, p. 83)

Dans la suite de ce document, nous nous intéresserons uniquement aux interfaces qui proposent de manipuler des objets tangibles sur l'écran d'une table interactive comme les exemples de la figure 5. Fishkin (2004) donne une définition large des interfaces tangibles en les décomposant en trois parties : un événement *d'entrée* (1), typiquement la manipulation physique d'un objet, est détecté par le *système* (2), dont l'état est alors modifié, et qui renvoie un événement en *sortie* (3), un *feedback*, qui correspond à un changement des propriétés d'un objet, par exemple l'affichage d'images sur l'écran.

En 2009, une grande diversité de tables interactive avait vu le jour (Kubicki, 2011) et de nombreuses idées d'applications ont été proposées, principalement dans le cadre de travaux de recherche. Plusieurs auteurs ont tenté de rendre compte des différents usages possibles sur table interactive, avec interaction tangible ou non (voir par exemple Benko, Morris, Brush & Wilson, 2009 ; Chaboissier, 2012 ; Scott, Grant & Mandryk, 2003), dont voici une liste non exhaustive :

- pour des activités bureautiques ou de dessin, avec des tables de dessin numériques (p. ex. Active Desk [Fitzmaurice, Ishii & Buxton, 1995]) ;
- pour le divertissement, avec par exemple des logiciels vidéo-ludiques (p. ex. PlayAnywhere [Wilson, 2005]) ou des applications musicales multi-joueurs (p. ex. reacTable [Jordà, Geiger, Alonso & al., 2007]) ;
- pour les activités créatives (p. ex. Buisine, 2007) ;
- pour la visualisation et l'investigation d'environnements complexes : metaDESK (Ullmer & Ishii, 1997) ;

- pour l'apprentissage (Dillenbourg & Evans, 2011), par exemple l'expérimentation augmentée en chimie (p. ex. Sensetable [Patten, Ishii, Hines & al., 2001]) ou en optique (p. ex. Price, Falcão, Sheridan & al., 2009) ;
- pour le travail collaboratif (p. ex. Price & al., 2009) ;
- en conception créative (p. ex. en brainstorming [Buisine, 2007]) ;



Figure 5. Exemples d'interfaces tangibles : *TViews* (Mazalek, 2006) ; Price & al. (2009) ; *ReacTable* (Jordà & al., 2007) ; *Active Desk* (Fitzmaurice & al., 1995)

Ces exemples laissent suggèrent des tables interactives et les objets tangibles pourraient être pertinents dans des activités telles que les situations d'enseignement et d'apprentissage. Ces dernières impliquent en effet plusieurs utilisateurs dont l'activité est par moment dirigée vers un même objet. Un dispositif technique qui servirait à la fois de support à la collaboration et à la visualisation collective présente donc, a priori, un intérêt.

1.2 Les tables interactives et les interfaces tangibles, des technologies émergentes

Les tables interactives et les interfaces tangibles peuvent être qualifiées de *technologies émergentes* définies par (Kjeldskov, 2003, cité par Anastassova, 2006, p. 17) :

- un caractère novateur, une avancée technologique importante, partiellement réalisée ou en devenir ;
- des usages peu clairs et peu différenciés ;

- plusieurs limites qui en ralentissent l'application massive ;
- une promesse de transformation du contexte économique et social dans lequel elle sera introduite.

D'après la description qui a été faite des technologies mobilisées, c.-à-d. des tables interactives et des objets tangibles, nous pouvons dire qu'elles répondent à ces critères. En effet, ces technologies, sans être très récentes, apparaissent novatrices dans les interactions qu'elles proposent. Les exemples d'usages que nous avons cités (p. ex. bureau augmenté, investigation d'environnements complexes, brainstorming ou divertissement) constituent des pistes d'usages peu stabilisés qu'il faut développer davantage pour que ces technologies puissent être déployées plus largement. Le prix des tables interactives actuelles (plusieurs milliers d'euros) présente la principale limite à leur déploiement massif. À cela s'ajoute le manque de maturité des techniques de détection des interactions tangibles, p. ex. les tables interactives à détection optique sont peu utilisables dans des environnements très lumineux. Enfin, s'il est difficile de discuter des éventuelles transformations du contexte économique, il est en revanche probable et souhaitable que les tables interactives aient un impact sur les modalités de travail collectif (p. ex. Price & al., 2009).

Au regard de notre objet de recherche, l'effet de ce caractère émergent des tables interactives sur le processus de conception doit être étudié. Il peut en effet impacter les améliorations des activités d'enseignement et d'apprentissage, l'intégration de ces technologies dans ces activités et donc, indirectement, sur les apprentissages des concepteurs.

1.3 Cadres théoriques sur les interactions tangibles

Avec le développement des interfaces tangibles, des cadres de travail et des taxinomies ont été proposées afin d'outiller les chercheurs dans la conception et dans l'étude des usages de ces interfaces (p. ex. Fitzmaurice, Ishii & Buxton, 1995 ; Ullmer & Ishii, 2000 ; Van Den Hoven & Eggen, 2004). Une caractéristique récurrente de ces travaux, propre aux interfaces tangibles, renvoie à la notion de *manipulation directe* (Hutchins & al., 1985), c.-à-d. le couple *manipulation physique/correspondance sémantique*.

Parmi les travaux ayant un lien avec la manipulation directe, Koleva, Benford, Hui & al. (2003) ont défini la notion de *continuum de cohérence* (cf. Figure 6). Celui-ci permet de caractériser le lien entre un objet physique et un objet virtuel, c'est à dire, dans quelle mesure des objets physiques et virtuels peuvent être perçus comme la même chose. Les auteurs proposent plusieurs propriétés pour situer une interface tangible sur le continuum, en

particulier sur les similarités dans l'interaction (p. ex. littérale lorsque le déplacement d'un objet physique provoque le déplacement de l'objet virtuel associé) ou l'exclusivité du lien (c.-à-d. si un objet peut être associé à un seul objet virtuel ou à plusieurs).

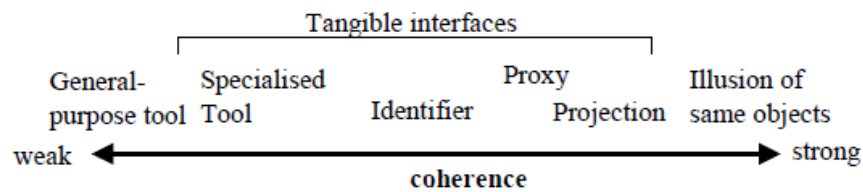


Figure 1: TUI categories along the coherence continuum

Figure 6. Continuum de cohérence d'une interface tangible (Koleva & al., 2003, p. 47)

De façon similaire, Fishkin (2004) propose de définir le *degré de tangibilité* d'une interface d'après deux dimensions : la personnification (*embodiment*) et la métaphore. La personnification concerne principalement le couplage entre une entrée et une sortie, selon qu'elles soient confondues ou distinctes. La notion de métaphore peut être décrite par l'analogie entre l'action d'un utilisateur et l'effet qu'aurait cette même action dans le monde réel. L'auteur en distingue deux types : la *métaphore de nom*, qui porte sur l'analogie entre les propriétés de l'objet tangible et des objets du monde réel, et la *métaphore de verbe* qui a trait à la correspondance l'acte manipulation et avec des actions de tous les jours.

Pour les situations d'apprentissage, Price & al. (2009) ont proposé un cadre d'analyse dédié aux situations d'apprentissage avec des interfaces tangibles. Les auteurs identifient plusieurs dimensions pour caractériser une interface tangible (Figure 7). Trois paramètres principaux apparaissent particulièrement importants pour notre démarche de conception : la *localisation* d'une représentation numérique associée à un objet tangible (séparées, adjacente ou embarquées), la *dynamique* d'affichage entre ces mêmes éléments, c.-à-d. le lien entre une information virtuelle et un objet tangible au cours de sa manipulation, et la *correspondance*, c.-à-d. les métaphores choisies au niveau physique ou virtuel.

Ces éléments présentent un intérêt pour caractériser une interface tangible et mettent l'accent sur les caractéristiques particulières de ce type d'interface, p. ex. les choix de représentation de l'information et les manipulations possibles. Cependant, ils informent peu sur l'effet de ces caractéristiques sur l'apprentissage, en particulier concernant les questions liées aux métaphores utilisées (Fishkin, 2004 ; Price & al. 2009), qui ont été prépondérantes dans notre

activité de conception. Néanmoins, au regard des choix possibles pour ces différentes caractéristiques, les travaux décrits plus haut présentent un intérêt en conception d'interface tangible pour orienter et articuler les échanges autour de ces éléments clés.

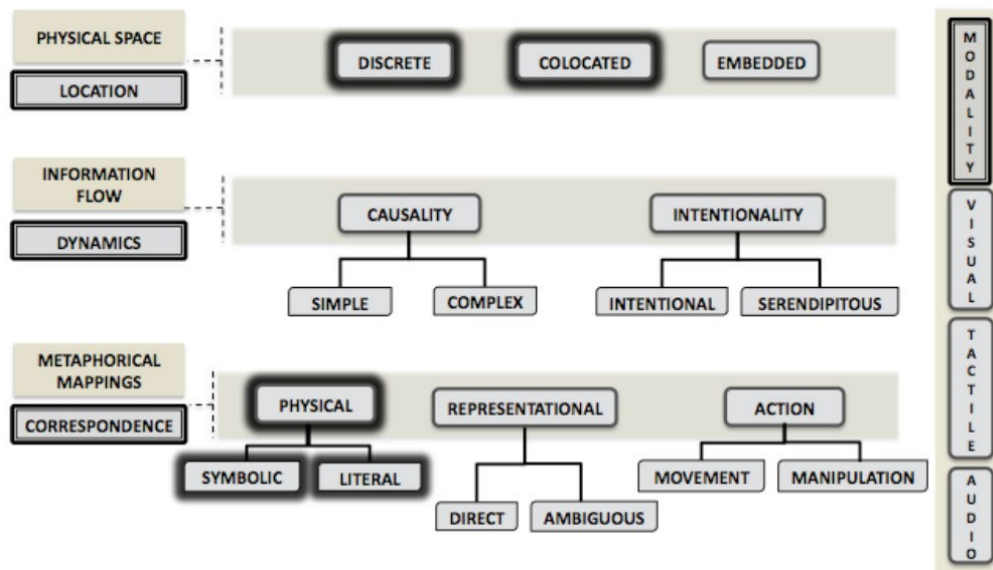


Figure 7. Cadre d'analyse des interactions tangibles pour l'apprentissage de Price & al. (2009, p. 85)

1.4 Les rôles de la manipulation physique dans l'apprentissage

De nombreuses études ont porté sur l'intérêt de la manipulation d'objets physique pour l'apprentissage. Salehi, Schneider & Blickstein (2014) suggèrent par exemple que la manipulation physique pourrait avoir un effet positif sur la compréhension des élèves par rapport à des formes d'interaction plus classique, c.-à-d. clavier/souris, dans le cas d'une application de simulation scientifique.

La manipulation d'objets physiques concrets peut favoriser la compréhension dans des tâches symboliques par rapport à l'utilisation de représentations plus abstraites (O'Malley & Fraser, 2004). Papert (1980) a notamment constaté chez des enfants qu'ils avaient des connaissances profondes et implicites construites à partir de leur expérience sensorimotrice et que la manipulation d'un autre « corps » favoriserait l'explicitation de ces connaissances.

De plus, la manipulation physique pourrait également permettre de libérer des ressources cognitives qui pourraient être allouées au traitement d'informations pertinentes du domaine étudié. D'une part, l'organisation et la manipulation spatiale d'objets permettraient à un élève

de garder une trace visuelle et immédiate de ses actions (Manches & O'Malley, 2012). D'autre part, les actions motrices pourraient également aider à « *alléger* » la cognition par des actions non directement orientées vers la tâche permettant d'économiser des ressources cognitives qui seraient alors allouées à la tâche de mémorisation (Goldin-Meadow, Nusbaum, Kelly & al., 2001)

Enfin, dans des contextes plus ludiques (jeu de puissance 4, jeu d'échecs ou jeu vidéo Tetris), Kirsh & Maglio (1994) ont distingué deux types d'action physique : les actions orientées directement vers l'atteinte d'un but, c'est-à-dire les actions *pragmatiques* et les actions *épistémiques*, qui ont pour but de mettre au jour des informations « cachées » ou difficiles à traiter en l'état. Les objets tangibles pourraient favoriser ces actions épistémiques, ce qui réduirait par exemple le coût cognitif d'une projection mentale (Esteves, van den Hoven & Oakley, 2013) et favoriserait les démarches par essais-erreurs. Dans ce sens, Schneider & Blickstein (2015) soutiennent que des tâches exploratoires collectives autour d'applications tangibles donneraient de meilleurs résultats que des approches plus classiques basées sur une leçon suivie d'une tâche pratique dans les disciplines scientifiques.

Ainsi, la manipulation physique des objets tangibles peut jouer un rôle dans l'apprentissage des élèves. Néanmoins, les études présentées ici renvoient à des utilisations de ces objets en situation réelle. Elles informent peu la conception en elle-même, car la façon dont les utilisateurs manipuleront les objets (leurs objectifs, la nature épistémique ou pragmatique des actions, etc.) est difficile à anticiper.

1.5 Les activités collectives avec des tables interactives

Les études décrites plus haut portent pour la plupart sur l'activité individuelle d'élèves en situation d'apprentissage. Cependant, les interactions tangibles sur table interactive pourraient présenter un intérêt pour les activités collectives. Ainsi, dans ses travaux sur l'environnement de programmation tangible *LOGO*, Papert (1980) soutient que l'explicitation du raisonnement d'un élève par la manipulation physique d'objets réels lui permet d'en prendre conscience, mais également de l'exprimer verbalement et physiquement, ce qui le rend « *visible* » pour lui et pour d'autres. Par ailleurs, pour Sluis, Weevers, Schijndel & al. (2004), la collaboration entre des enfants autour d'une table interactive serait naturelle du fait de la forme du dispositif et des modes de communication verbale et non-verbale qu'il offre. Kubicky, Lepreux & Kolski (2011) ont quant à eux observé un grand nombre d'interactions et d'échanges entre des

élèves et leur enseignant autour d'une application tangible sur table interactive dédiée à l'apprentissage et à la reconnaissance des couleurs pour de jeunes enfants.

Dans le champ du travail collaboratif assisté par ordinateur, ou CSCW (pour Computer Supported Collaborative Work), des travaux rendent compte du potentiel des tables interactives. Plusieurs auteurs suggèrent que ce type d'outil serait bénéfique pour les performances et la motivation en situation de collaboration (p. ex. Buisine, Besacier, Aoussat & al., 2012) et qu'il favoriserait une participation plus équitable et plus coordonnée des utilisateurs (Rogers, Lim, Hazlewood & al., 2009).

1.6 Recommandations pour la conception de TICE avec des tables interactives

Dans le domaine de l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur, ou CSCL pour Computer Supported Collaborative Learning, plusieurs études ont porté sur les tables interactives (Dillenbourg & Evans, 2011). Scott & al. (2003) ont par exemple proposé des recommandations pour la conception de dispositifs d'apprentissage pour favoriser la collaboration autour d'une table interactive. D'après les auteurs, la technologie devrait :

- favoriser les interactions interpersonnelles, dans la mesure où elles sont au cœur de la collaboration ;
- permettre des transitions fluides entre les activités sur la table interactive ;
- faciliter les transitions entre travail individuel et travail en groupe ;
- assurer une bonne intégration des sous-tâches collaboratives autour du dispositif dans l'activité d'apprentissage de façon plus globale ;
- permettre l'utilisation d'objets sur la table, à la fois des objets tangibles et non tangibles tels que les cahiers ;
- fournir un accès partagé aux objets physiques et numériques, tels que les objets tangibles et les éléments affichés à l'écran, pour focaliser l'activité collaborative et faciliter la prise d'information de l'ensemble du groupe sur un élément spécifique ou un ensemble d'éléments ;
- permettre des interactions, quelle que soit la position des élèves autour de la table interactive, en particulier concernant l'orientation des éléments de l'interface ;

- prendre en compte les actions simultanées selon le type d'activité attendue des élèves : en parallèle, séquentielle, indépendante ou hiérarchisé par différents rôles.

Plus largement, Dillenbourg & Evans (2011) ont proposé un cadre d'analyse de l'activité basé sur quatre *cercles d'interaction* correspondant au niveau de granularité de l'activité d'apprentissage avec des tables interactives :

- le premier niveau correspond aux interactions utilisateur système et considère l'activité individuelle. Il renvoie notamment aux points abordés haut sur les représentations et les interactions individuelles ;
- le deuxième niveau porte sur les interactions entre élèves autour d'une table interactive, en particulier au sein d'un groupe d'élèves ;
- le troisième niveau s'intéresse à l'*orchestration de la classe*, décrite par Dillenbourg et Jermann (2010) comme l'influence globale de la technologie sur les pratiques d'enseignement au niveau de la classe ;
- le dernier niveau est le plus large et fait référence au contexte dans lequel sont utilisées les tables interactives, p. ex. un contexte plus ou moins formel, voire proche du jeu.

Ces deux travaux mettent en avant l'intérêt de considérer les interactions d'élèves ou d'enseignants autour d'une table interactive et avec des objets tangibles d'un point de vue global. En effet, pour qu'une telle technologie soit mobilisée avec efficacité dans un dispositif d'enseignement et d'apprentissage, les concepteurs doivent tenir compte des facteurs qui influencent ces activités. En particulier, les interactions sociales, c'est-à-dire les échanges entre élèves ou les interactions élèves-enseignant, et la gestion de la classe intégrant la technologie, ou *orchestration*, doivent être abordées en conception.

1.7 Synthèse sur les tables interactives pour l'enseignement et l'apprentissage

Les éléments conceptuels présentés dans les parties précédentes montrent que les tables interactives et les interactions tangibles peuvent présenter un intérêt dans des activités d'enseignement et d'apprentissage (p. ex. la manipulation physique, la collaboration entre utilisateurs). Ils outillent également l'intervention en soulevant des points clés à discuter lors en conception de formation avec ce type de technologie (p. ex. les représentations associées aux éléments de l'interface tangible et les différents niveaux des activités d'enseignement et d'apprentissage à prendre en compte).

De plus, d'après les recommandations pour la conception d'interfaces tangibles pour la formation, l'artefact global à concevoir devrait intégrer à la fois la technologie, c.-à-d. l'application tangible à concevoir, et les caractéristiques de l'activité d'enseignement future (cf. la notion de *cercles d'interaction*). Cela permettrait de répondre aux difficultés actuelles d'intégration des TICE évoquées précédemment (p. ex. Artigues, 1998 ; Karsenti, Peraya & Viens, 2002). La partie 2 propose de caractériser l'artefact à concevoir afin d'y intégrer l'ensemble de l'activité des enseignants instrumentée par une application tangible.

En outre, à l'exception des travaux en CSCL (p. ex. Dillenbourg & Evans, 2011 ; Scott & al. 2003) peu de résultats stabilisés et réutilisables directement en conception ont été relevés. Cela s'explique par le caractère émergent des tables interactives et à leur manque de maturité. Ces propriétés soulèvent également des questions sur les caractéristiques des processus de conception sur ce type de technologie auxquelles la partie 3 tente de répondre.

2 Construction conjointe d'un artefact et de ses usages

2.1 L'artefact et ses usages comme objets de l'activité de conception

2.1.1 La notion d'artefact

Darses & Falzon (1996) distinguent deux types d'activité de conception : celles qui portent sur des artefacts matériels et celles qui concernent la génération de dispositifs symboliques ou abstraits. Le terme artefact désigne un produit ou un phénomène créé ou transformé par l'homme pour être utilisé dans des activités finalisées. Il peut donc être de différentes natures, par exemple matérielle, cognitive, psychologique ou sémiotique (Rabardel, 1995 ; Bourmaud, 2006).

À partir de cette définition, Visser (2009, p. 11) indique qu'une activité de conception « consiste à spécifier un artefact, à partir de spécifications de départ qui indiquent — en général de façon ni explicite, ni exhaustive — les fonctions à remplir par l'artefact, ainsi que les besoins et buts qu'il doit satisfaire étant données certaines conditions (exprimées par des contraintes) ». Dans la suite de ce document, nous reprenons cette définition en précisant que l'artefact à concevoir peut être de nature technique, symbolique ou abstraite. Il peut également correspondre à leur combinaison.

2.1.2 Conception d'un artefact et développement de l'activité

Les travaux de Béguin (2013) soulignent l'intérêt d'aborder en conception à la fois les caractéristiques d'un artefact en cours d'élaboration et l'activité future dans laquelle il doit s'intégrer. Il distingue notamment trois perspectives en conception : la *cristallisation*, la *plasticité* et le *développement*.

La *cristallisation* est la plus ancienne. Elle repose sur l'idée qu'un artefact « cristallise » une représentation ou un modèle de l'utilisateur futur et de son activité au travers des choix qui sont effectués lors de la conception. Ces choix reposent sur une vision « figée » de l'activité existante dans laquelle l'artefact doit être intégré en se basant sur des modèles du fonctionnement de l'Homme, par exemple anthropométriques, et de son activité. Cette perspective présente le risque que le résultat de la conception ne soit pas adapté ou qu'il soit source de difficultés pour les opérateurs par manque d'anticipation de son intégration dans la situation de travail cible.

La *plasticité* va plus loin soulignant que l'anticipation de l'activité future (Daniellou, 2004) est indispensable, mais qu'elle présente des limites en raison de la diversité et des formes de variabilité inhérentes à toute situation de travail. Elle préconise par conséquent la conception d'artefacts « plastiques », qui soient suffisamment souples pour offrir des marges de manœuvre aux utilisateurs face à ce qui n'aura pas été prévu en conception.

Enfin, le *développement* s'appuie sur les perspectives précédentes, mais insiste sur la dimension intrinsèque du travail réalisé par un opérateur. Ce dernier met en œuvre le produit de la conception en mobilisant des « manières de faire et de penser » qui résultent de constructions cognitives et culturelles. De plus, l'introduction d'un nouvel artefact change la nature de la tâche et nécessite donc de nouvelles formes d'actions. Celles-ci passent par le développement de nouvelles techniques à partir de celles dont il dispose ou par la modification ou l'adaptation des dispositifs à des constructions existantes. Ce double processus renvoie au concept de genèse instrumentale (Rabardel, 1995) défini dans le paragraphe suivant.

Pour Béguin (2013), les trois perspectives défendent l'idée que l'objet de la conception doit être double : définir les caractéristiques de l'artefact et celles de l'activité des opérateurs, qui sont en interaction. En effet, « la cristallisation souligne que l'activité de travail doit être modélisée en même temps les outils et les dispositifs techniques sont spécifiés. La « plasticité » argumente que l'efficacité des dispositifs ne repose pas uniquement sur les

décisions issues des bureaux d'étude, mais aussi sur l'activité en situation. Et le « développement » défend l'idée que l'activité se développe à la mesure du développement de l'outil.

Cette idée d'objet double de la conception n'est pas nouvelle, elle a notamment émergé dans les années 80 dans le domaine de l'informatique lorsque des chercheurs en Interactions Homme-Machine, ou *HCI (Human-Computer Interaction)*, ont commencé à discuter des limites de l'approche, dominante à l'époque en HCI, de la cognition vue comme un ensemble de processus de traitement de l'information, par analogies avec un système informatique. Norman (1980) a, en particulier, souligné que cette approche laissait de côté les autres aspects du comportement humain, les interactions interpersonnelles et avec l'environnement ou encore l'influence de la culture et de l'histoire du sujet. Par conséquent, des approches davantage liées à la théorie de l'activité ont émergé face à ces limites afin de prendre en compte non seulement l'artefact en lui-même, mais aussi le contexte dans lequel il est utilisé, avec ses dimensions finalisée, interpersonnelle, temporelle, socio-culturelle, développementale, etc. (Kaptelinin & Nardi, 2006). En résumé, comme Bannon et Bodker (1989, p. 24, notre traduction), « *l'objet d'étude doit être centré sur les usages, et non sur l'artefact [car] la cognition, telle qu'elle est vue par la théorie de l'activité, est socialement et historiquement située et contrainte par l'environnement physique dans laquelle elle a lieu* ».

Partant de ces résultats, un cadre théorique semble nécessaire pour appréhender plus en détail les caractéristiques de l'artefact à concevoir dans le cadre du projet Tactileo. Le cadre de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995) présente à ce titre un grand intérêt.

2.1.3 Intérêt de l'approche instrumentale pour l'étude des activités de conception

L'approche instrumentale (Rabardel, 1995) propose un cadre d'analyse de l'activité médiatisée d'un sujet en activité compatible avec les idées développées dans la partie précédente. Rabardel définit un *instrument* comme une entité mixte composée d'un artefact, ou d'une partie d'un artefact, et de schèmes qui « correspondent aux aspects invariants des actions pour des classes de situation connues » (Rabardel, 1995, p. 112). Ces schèmes sont composés de buts ou de sous-buts, d'invariants opératoires, de règles conditionnelles et de possibilités d'inférences (Vergnaud, 1991). Les instruments sont donc anthropocentrés, car les schèmes renvoient à l'activité finalisée du sujet et à l'objet de son activité, là où l'artefact technique est technocentré.

Les instruments sont construits au travers de *genèses instrumentales* (Rabardel, 1995) correspondant à un double mouvement de l'artefact et des schèmes. D'une part, il y a *instrumentalisation* lorsqu'un sujet enrichit les propriétés d'un artefact par rapport à celles initialement prévues par les concepteurs, par exemple en lui attribuant de nouvelles fonctions. D'autre part, on parle d'*instrumentation* lorsqu'il y a émergence ou évolution des schèmes d'utilisation du sujet. L'instrumentation renvoie à deux processus : l'*assimilation* lorsqu'un schème existant est appliqué à un nouvel artefact et l'*accommodation* lorsqu'un schème est transformé pour s'y adapter.

Les genèses instrumentales sont le fait du sujet dans l'usage (Bourmaud, 2006), c'est-à-dire que les instruments ne préexistent pas à leur usage. Cependant ces genèses instrumentales reposent sur les résultats de la conception initiale concernant les *fonctions constitutantes* de l'artefact, définies par les concepteurs, et les *modes opératoires prévus* par ces derniers. La conception se poursuit donc dans l'usage au travers de ces genèses instrumentales (Béguin, 2004). Folcher (2003) illustre cela en distinguant *conception pour l'usage* et *conception dans l'usage* : la première résulte d'une anticipation déficitaire ou limitée des concepteurs et la seconde correspond à la constitution des instruments dans le cadre des genèses instrumentales. Le modèle de la boucle de la conception rend compte de cette distinction dans un cycle de conception itératif (cf. Figure 8).

La phase de *conception pour l'usage* vise à définir les *fonctions constitutantes* et les *modes opératoires prévus*. Ces deux composantes renvoient au couple artefact-schèmes qui caractérise un instrument. Elles s'en distinguent cependant en ce qu'elles sont le fruit de l'anticipation des concepteurs. Lorsque le résultat de la conception est déployé en situation réelle, il peut faire l'objet de genèses instrumentales. Dans cette phase de *conception dans l'usage*, de nouveaux *schèmes d'utilisation* se construisent et l'artefact peut se voir attribuer de nouvelles fonctions : *les fonctions constituées*. Dans un processus itératif, ces résultats de la conception dans l'usage peuvent alors alimenter la conception afin de définir de nouvelles fonctions constitutantes et de prévoir des modes opératoires adaptés aux besoins des utilisateurs finaux.

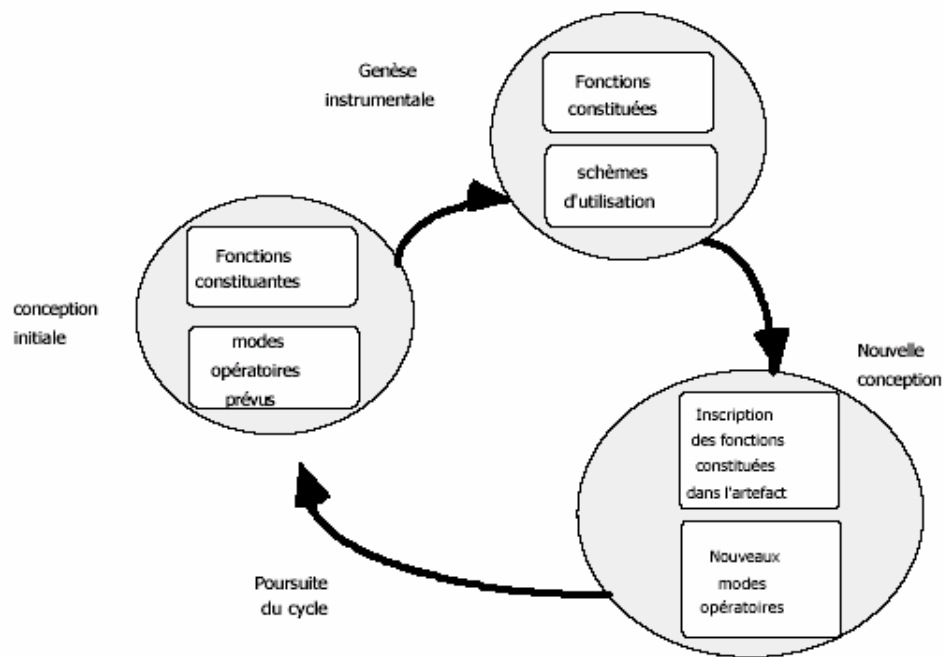


Figure 8. La boucle de la conception (Rabardel, 1995, p. 164)

L'intérêt du modèle de la boucle de la conception, pour notre étude, est de pouvoir caractériser les produits de la conception anthropocentrée en termes de *fonctions constitutantes* et de *modes opératoires prévus*. Pour reprendre la perspective des activités de conception comme activités de construction de représentations, les fonctions constitutantes et les modes opératoires prévus résultent de telles constructions.

Or, nous cherchons à analyser les enjeux de ces constructions, en termes d'innovation dans les pratiques enseignantes et d'intégration des solutions de conception dans ces pratiques. Pour cela, notre étude ne peut pas se limiter aux résultats finaux de la conception. Elle doit également prendre en compte l'évolution de ces constructions au fil de son déroulement. En cela, les *objets* intermédiaires de la conception peuvent rendre compte de l'évolution des représentations des concepteurs.

2.2 Évolution et caractérisation de l'objet de la conception

2.2.1 Les *objets intermédiaires* de la conception

Les parties précédentes ont montré que le processus de conception doit avoir pour finalité de concevoir, d'une part, les fonctions constitutantes d'un dispositif technique et, d'autre part, les modes opératoires prévus des futurs utilisateurs avec cet artefact afin de transformer une

situation de travail donnée. Ce couple représente l'objectif productif de l'activité de conception. Il ne représente cependant pas le seul résultat de cette activité, car lorsque les concepteurs élaborent leurs représentations de « *l'objet à concevoir* », ils créent et mobilisent des artefacts immatériels (règlements, logiciels, modèles numériques) ou matériels (dessins techniques, textes, maquettes, prototypes).

Plusieurs auteurs, en sociologie notamment (p. ex. Jeantet, 1998), se sont intéressés à ces *objets intermédiaires* de la conception. Dans une enquête auprès de 120 réseaux de coopération scientifique, Vinck (1999) a par exemple relevé des objets intermédiaires de différentes natures : maquettes en carton ou en pâte à modeler, prototypes, pièces cassées, listings, copies d'écran, textes, échantillons, etc. Ils avaient plusieurs fonctions : la facilitation, l'induction, le rapprochement, l'empêchement, la dissuasion, etc. Pour Vinck (2009), ils participent : à la construction de compromis et de savoirs partagés entre les acteurs ; à l'orientation ou à l'explication de points de vue ; ou encore à la confrontation de points de vue. Mer, Jeantet & Tichkiewitch (1995) leur donnent deux grandes fonctions indissociables :

- ils servent à modéliser le futur artefact en donnant forme aux représentations construites par les concepteurs et en incarnant une partie de la situation avec laquelle ils sont en « conversation » ;
- ils sont des vecteurs de la coordination des concepteurs en tant que porte-parole de ses producteurs, car ils rendent compte du processus de sa construction. Ils diminuent leurs marges de divergence, ou peuvent servir de point de départ pour les divergences à venir.

En résumé, l'objet intermédiaire, de par sa nature hybride, s'inscrit dans une double temporalité : il représente le futur produit et, en même temps, le processus dont il est le résultat. Dans notre cas, les objets intermédiaires techniques peuvent correspondre à des maquettes, des objets tangibles, des contenus virtuels tels que des images, ou plus globalement des versions différentes d'un prototype de l'application tangible.

2.2.2 Les scénarios d'usage

Il est généralement aisé d'accéder aux fonctions constitutives des *propositions instrumentales* formulées en conception lorsqu'elles sont cristallisées dans un matériel, un logiciel, un document rédigé, un plan ou autre. Le dispositif technique qui les rassemble représente d'ailleurs le plus souvent un élément contractuel qui doit être transmissible au client au terme

d'un projet de conception. Pour les modes opératoires prévus, cela peut être plus difficile. En effet, ils renvoient aux anticipations des concepteurs sur les modalités de mise en œuvre des fonctions constitutives par les futurs utilisateurs. Néanmoins, certaines techniques de conception permettent de les relever, comme celles basées sur des *scénarios*. Elles proposent par exemple de tester des prescriptions existantes, ou d'en évaluer de nouvelles, dans une situation de travail donnée.

En conception d'interface homme-machine, la « *conception basée sur des scénarios* », ou *Scenario-Based Design* (Carrol, 2000 ; Rosson & Carrol, 2002), est largement répandue. Elle consiste à décrire comment des utilisateurs accomplissent leurs tâches et à en extraire les éléments caractéristiques afin de rédiger des scénarios d'usage correspondants. Ils sont composés de plusieurs éléments : une configuration de départ, c'est-à-dire un état initial du système homme-machine, des agents ou acteurs, qui ont chacun leurs objectifs, savoirs et savoir-faire ainsi que des outils à disposition, et une séquence d'actions ou d'événements qui mènent à un résultat et qui prennent en compte le contexte social de la situation simulée. Les concepteurs rédigent généralement plusieurs scénarios qui rendent compte de l'utilisation du futur système technique. Ces scénarios permettent alors d'anticiper l'usage qu'en feront les utilisateurs afin de guider la conception avec une vision globale de leurs tâches.

D'autres techniques telles que la *simulation organisationnelle* (Barcellini, Van Belleghem & Daniellou, 2013 ; Daniellou, Le Gal & Promé, 2014) reposent également sur l'utilisation de scénarios. Ils permettent aux concepteurs d'avoir une *approche de l'activité future*, définie par la prévision de l'espace des formes possibles de l'activité future (Daniellou, 2004). Les choix de conception qui en découlent correspondent alors à des modes opératoires compatibles avec des critères tels que la santé, la productivité ou le développement.

Ces deux exemples d'utilisation de scénarios en conception renvoient à l'élaboration conjointe des fonctions constitutives, d'une interface homme-machine ou d'un service, et des modes opératoires prévus. Dans les deux cas, les scénarios rédigés peuvent être vus comme des objets intermédiaires qui peuvent évoluer au fil de la conception. Cependant, leur utilisation ne s'oppose pas à l'innovation, car des nouveautés apparaissent en conception (Béguin & Rabardel, 2000) et ces dernières sont mises au service des besoins des futurs utilisateurs.

Une particularité des travaux de conception présentés dans ce document réside dans l'utilisation par les enseignants de *scénarios pédagogiques* pour planifier et gérer leur activité

d'enseignement (un exemple est donné dans le chapitre 5). Ces derniers ont été mobilisés pour la conception et ils ont fait l'objet de modifications en vue de transformer les pratiques professionnelles des enseignants en intégrant une application tangible. Les versions intermédiaires de ces scénarios peuvent donc rendre compte de l'évolution des représentations sur l'activité future, telle qu'elle est anticipée par les concepteurs, sous la forme d'hypothèses de conception.

Par ailleurs, nous avons vu que ces objets intermédiaires pouvaient être de nature différente selon qu'ils fassent référence aux fonctions constitutives (les caractéristiques d'une application tangible) ou aux modes opératoires prévus (les scénarios pédagogiques). Ces différences doivent être prises en compte dans l'analyse des hypothèses de conception, car elles renvoient à différents aspects de l'activité des enseignants et des élèves médiatisés par le résultat de la conception. La partie suivante traite de cette distinction.

2.2.3 Décomposition du dispositif de formation à concevoir

Nous avons vu que les activités de conception peuvent être vues comme des activités de construction de représentations concernant deux dimensions :

- un artefact technique, dans notre cas une application tangible composée de fonctions constitutives ;
- les usages qui en seront faits au travers des modes opératoires prévus pouvant être appréhendés grâce à des scénarios d'usages.

Cependant, ces deux dimensions apparaissent très générales en l'état. Afin de décomposer un artefact en cours de conception, Couix, (2012) décrit cinq dimensions, adaptées des travaux de Rasmussen (1986) sur les aspects cognitifs de la conception de systèmes d'interaction homme-machine :

- La dimension fonctionnelle décrit ce qu'un utilisateur pourra faire avec l'artefact ;
- La dimension physique décrit les composants de l'artefact en termes de forme, de taille ou de relations ;
- La dimension opérationnelle présente les performances attendues en termes d'efficacité, de fiabilité, de sûreté, etc. ;
- La dimension organisationnelle renvoie à des composantes telles que le nombre d'utilisateurs ou leur formation ;

- La dimension interactionnelle décrit les modalités d'interaction entre l'utilisateur et l'artefact.

Par ailleurs, dans sa synthèse sur l'analyse des besoins en conception, Couix (2012) distingue deux types d'approches : l'ergonomie des systèmes informatiques et des interfaces humain-machine et l'ergonomie des situations de travail. Si le bilan qu'il fait reprend principalement la terminologie de la première, c.-à-d. en termes d'*exigences* et de *spécifications*, il est intéressant de noter que dans la seconde, celles-ci sont nommées *prescriptions faibles* et *fortes* respectivement. La différence vient de l'objet de la conception qui porte alors sur une situation de travail dans son ensemble et notamment sur la tâche à concevoir, par le biais d'une prescription.

La notion de prescription présente un intérêt, car les scénarios pédagogiques s'y rattachent. L'adaptation des scénarios pédagogiques existants correspond en effet à une transformation de la situation de travail actuelle des enseignants et des élèves. Nous proposons donc d'ajouter une dimension prescriptive incluant les dimensions fonctionnelles, organisationnelles et opérationnelles précédemment définies. Elle renverrait alors principalement aux modes opératoires prévus par les concepteurs.

Nous proposons par conséquent de définir trois dimensions pour caractériser l'artefact à concevoir dans notre démarche de conception :

- **La dimension *prescriptive*** concerne les caractéristiques de la tâche relatives à l'exploitation de l'artefact en vue de mettre en œuvre les usages définis par les concepteurs. Il s'agit plus globalement des modalités offertes par les tables interactives et les interactions tangibles pour transformer l'activité d'enseignement existante. Dans notre cas, il s'agit des modifications des scénarios pédagogiques relatives à l'application tangible de simulation. Elles concernent par exemple le déroulement du cours, les consignes, le discours de l'enseignant ou les tâches des élèves, le matériel nécessaire et son articulation avec les tables interactive ou les objets tangibles, ainsi que l'organisation spatiale de la classe avec l'artefact ;
- **La dimension *interactionnelle*** porte sur les modalités d'interaction proposées à un utilisateur. Elle concerne, pour notre démarche de conception, des actions possibles de l'enseignant ou des élèves pour manipuler les objets tangibles ou modifier l'état de l'application tangible de simulation ;

- **La dimension *physique*** renvoie aux composants de l'artefact en termes de formes, de tailles ou de relations entre ces composants. Concernant l'application tangible de simulation, elle porte sur les propriétés physiques des objets tangibles et des images affichées sur l'écran de la table interactive ;

Les dimensions physiques et interactionnelles renvoient à la définition de Fishkin (2004) concernant les interactions dans laquelle il distingue un événement d'entrée (dimension interactionnelle) et un événement de sortie, c'est-à-dire un feedback (dimension physique). La dimension physique renvoie également aux représentations véhiculées par les éléments de l'interface, à destination des utilisateurs. À noter que nous ne prenons pas en compte la troisième partie de la définition de Fishkin concernant les traitements réalisés par le système, c'est-à-dire ce qu'il se passe entre un événement d'entrée et une réponse du système, car ils renvoient au développement logiciel. Celui-ci ne fait pas directement l'objet de spécification en conception participative, car elle porte davantage sur le comportement des éléments de l'interface.

Les dimensions interactionnelle et physique sont, a priori, fortement liées, car les objets tangibles présentent la particularité d'être à la fois des moyens d'action pour l'utilisateur et des vecteurs d'information, notamment de par leur forme. Elles sont cependant différenciées afin de distinguer les manipulations physiques qu'ils proposent et les représentations qu'ils peuvent véhiculer. Elles présentent en effet toutes les deux un intérêt potentiel en situation d'enseignement et d'apprentissage (Manche & O'Malley, 2012).

Ces trois dimensions prennent en compte à la fois les fonctions constitutives et les modes opératoires prévus : au niveau des interactions homme-machine pour les dimensions physique et interactionnelle ; au niveau de la tâche de l'enseignant pour la dimension prescriptive.

2.3 Bilan

Cette partie visait à montrer l'intérêt d'une approche anthropocentrée de la conception impliquant la prise en compte de l'activité des futurs utilisateurs. En conception de TICE, cette approche renvoie, selon nous, à un objet double de l'activité de conception : la définition des fonctions constitutives d'une l'application tangible et des modes opératoires prévus, au travers des scénarios pédagogiques des enseignants.

Nous avons également vu que les objets intermédiaires de la conception peuvent rendre compte de l'évolution de ces deux dimensions du dispositif à concevoir ainsi que des