



**HAL**  
open science

# Les technologies tangibles et ludiques appliquées à l'apprentissage de la conception architecturale et à la conception participative

Claire Petetin

## ► To cite this version:

Claire Petetin. Les technologies tangibles et ludiques appliquées à l'apprentissage de la conception architecturale et à la conception participative. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Saclay, 2021. Français. NNT : 2021UPASK009 . tel-03509088

**HAL Id: tel-03509088**

**<https://theses.hal.science/tel-03509088>**

Submitted on 4 Jan 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les technologies tangibles et ludiques appliquées  
à l'apprentissage de la conception architecturale  
et à la conception participative

*Tangible and playful technologies applied to  
architectural design learning and participatory design*

**Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay**

Ecole Doctorale N° 578, Sciences de l'homme et de la société (SHS)

Spécialité de doctorat : Architecture et Aménagement

Unité de recherche : Laboratoire de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles

Référent: École Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles

**Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay**

**le 12 avril 2021, par**

**Claire PETETIN**

**Composition du jury**

**M. Rémi Rouyer**

Architecte, Professeur, Ecole Nationale d'Architecture de Nancy

**M. Daniel Siret,**

Architecte, Ingénieur de recherche du ministère de la Culture, HDR.

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes - Laboratoire AAU

**M. Cédric Plessiet**

Maître de conférences à ATI. HDR,

Université Paris 8 Département ATI

**MME. Annalisa Viati Navone**

Architecte, Historienne de l'architecture, Professeure HDR,

Université Paris-Saclay GS Humanités et Sciences du Patrimoine

**MME. Aurélie De Boissieu**

Architecte, Maîtresse de conférences, Docteur en architecture,

Professeure associée

Université de Liège Faculté d'Architecture

**Président du jury**

**Rapporteur**

**Rapporteur**

**Examinatrice**

**Examinatrice**

**Direction de Thèse**

**MME Nadia Hoyet**

Architecte, Professeure HDR

**Directrice de Thèse**





## Remerciements

Je remercie avec une très grande reconnaissance, ma directrice de thèse Nadia Hoyet. Si j'ai pu mener à terme ce long travail, c'est grâce à son encadrement scientifique précieux et sa disponibilité. Ce travail de thèse a été une élaboration difficile et vertigineuse, avec des moments de doutes et de dérives. Nadia Hoyet a su m'accompagner durant toutes ces années avec une bienveillance constructive.

Je remercie Anne Queguiner pour son travail de relecture, et Lucile Affre pour la réalisation de la mise en forme finale.

Je remercie les membres de mon jury qui ont accepté de participer à l'évaluation et à la validation de ma recherche : Annalisa Viati-Navone, Daniel Siret, Aurélie de Boissieu, Cédric Plessiet, Rémi Rouyer.

Ce travail de thèse s'est construit au fil des rencontres avec de nombreuses personnes qui ont eu une oreille attentive et bienveillante lorsque j'exposais les prémices de mon projet de recherche. Je dois beaucoup à leur écoute sensible, qui m'a permis de consolider mes intuitions. Je tiens à remercier tout d'abord, avec une pointe de tendresse et d'admiration, Odile Fillion, initiatrice de *Transarchitecture*, à qui je dois beaucoup. Je remercie avec une pointe de fierté, Christine Buci-Glucksman qui m'a « immortalisée » (j'emploie son terme), dans son ouvrage « *L'esthétique du temps au Japon. Du zen au virtuel* », en décrivant notre promenade amicale au parc de la Destinée réversible<sup>(1)</sup>, conçu par Madeline Gins et Shusaku Arakawa. Je remercie également, avec une infinie reconnaissance, Jean-Christophe Aguas, Jeanne Quéheillard, Caroline Coureau, Steven Hearn, avec qui j'ai eu la chance de travailler et qui m'ont enrichie de leurs connaissances. Je remercie mes partenaires de l'école nationale supérieure d'architecture de Versailles, Gilles Paté, Valérie Knochel, Peter OBrien, Martial Marquet, Thomas Charil, Xavier Tiret, Lucile Affre, Julien Guachadoat, Antonin Fourneau, Vincent Roudaut, Aurélie de Boissieu, Pierre Antoine, Stéphane Berthier, Klass de Rycke, Gilles Ebersolt, Richard Scoffier, Jean-François Coulais, Fabien Duchène, Élisabeth Lemercier, David Malaud.

---

1 Parc « Reversible Destiny » situé à Yoro, au Japon ouvre en 1995. Projet conçu par l'architecte Madeline Gins and Shusaku Arakawa.

Je remercie le laboratoire doctoral de l'école nationale supérieure d'architecture de Versailles, son équipe, et tout particulièrement ses directrices, Catherine Bruant, puis Nathalie Simonot. Je remercie l'école nationale supérieure d'architecture de Versailles où j'ai plaisir à enseigner, son directeur Jean-Christophe Quinton, et toute l'équipe administrative aux commandes de cette belle institution. Je remercie avec une tendresse bienveillante, mes étudiants qui m'apportent tant d'enthousiasme à enseigner, grâce à laquelle cette recherche n'aurait pas pu exister.

# Sommaire

<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>10</b>
1. <i>Problématique</i>	10
2. <i>Genèse</i>	10
2.1 <i>Pratique professionnelle en "conception participative"</i>	11
2.2 <i>L'influence de l'informatique sur la conception participative et ludique</i>	13
2.3 <i>L'atelier pédagogique bricolages numériques</i>	15
2.4 <i>L'atelier SocialMachine</i>	18
3. <i>Structure du corpus d'étude et contexte</i>	18
3.1 <i>Les jeux d'architecture à l'ère de l'innovation sociale</i>	19
3.2 <i>L'innovation numérique produite par les utilisateurs</i>	23
3.3 <i>L'hypothèse de la recherche</i>	24
3.4 <i>Le format tangible</i>	24
4. <i>Une approche chronologique en trois grandes époques</i>	26
<b>PREMIÈRE PARTIE :</b>	
<b>L'origine des interfaces tangibles à la croisée des disciplines de l'architecture, de l'informatique et des sciences de l'éducation : l'émergence des blocs tangibles transmédia.</b>	<b>32</b>
<b>CHAPITRE 1 : Les premiers outils informatiques dans l'architecture</b>	<b>33</b>
1.1 <i>Le photocopieur xérographique</i>	33
1.2 <i>Tensions et controverses autour de l'outil informatique dans le champ de l'architecture</i>	36
1.3 <i>L'utilisateur, entre « GUI » et « TUI »</i>	37
1.4 <i>L'architecte « artisan » ou le transfert d'une culture à une autre</i>	39
1.5 <i>Le dessin assisté par ordinateur (CAD, CAAD, DAO ...)</i>	40
1.6 <i>La disparition des TUI dans la conception architecturale</i>	40
<b>CHAPITRE 2 : Architecture participative et outils numériques.</b>	<b>43</b>
2.1 <i>Contexte social et politique : la machine comme instrument de libération des usagers</i>	44
2.2 <i>La conception participative assistée par ordinateur et l'apprentissage de l'utilisateur non expert</i>	46
2.3 <i>Le développement des premières interfaces tangibles (GUI) utilisateurs dans le domaine de l'intelligence artificielle.</i>	47
2.4 <i>La pensée computationnelle et l'apprentissage.</i>	48

2.5 Les premiers TUI de l'avant-garde architecturale et les anti-architectes. . . . .	48
---	----

**CHAPITRE 3 : Les premières tentatives expérimentales . . . . . 50**

3.1 Expérimentations préliminaires au MIT . . . . .	50
3.2 Les grammaires de formes et la simplification du langage de représentation de l'architecture. .51	
3.3 Le modèle de Friedrich Frœbel : déclinaisons multiples d'une théorie vers des outils de conception. . . . .	53
3.4 Le modèle Stiny : théories computationnelles et jeux froebéliens au service de l'enseignement de l'architecture. . . . .	63
3.5 Le Flatwriter de Yona Friedman : des outils donnés aux futurs habitants peuvent concevoir son habitation. . . . .	75
3.5.1. Genèse : l'architecture mobile et la ville spatiale. . . . .	76
3.5.2. La méthode des « boutons et des ficelles » . . . . .	78
3.5.3. La transition « des boutons et ficelles » en générateur de plans. . . . .	79
3.5.4. Le Flatwriter, mode d'emploi. . . . .	83
3.5.5. La valeur pédagogique du Flatwriter . . . . .	88
3.6. Le Modèle de Nicholas Negroponte (Seek Machine) . . . . .	89
3.7. Les prototypes tangibles de John et Julia Frazer : l'héritage des premiers protagonistes. . . . .	96
3.7.1. La pensée cybernétique et l'influence de Gordon Pask . . . . .	97
3.7.2. Les premières expérimentations . . . . .	99
3.7.3. La société Autographic . . . . .	101
3.7.4. Architecture expérimentale : Cédric Price et Le Generator (1976-80). . . . .	106
3.7.5. Intelligent Physical Three dimensional Modelling Systems . . . . .	111
3.7.6. Le modèle Segal : l'autoconstruction assistée par l'ordinateur. . . . .	115
3.7.7 Modélisation physique intelligente . . . . .	117
3.7.8. L'écriture informatique . . . . .	118
3.7.9. Le constructeur universel . . . . .	119
Conclusion du chapitre . . . . .	126

**CHAPITRE 4: Éducation et interfaces tangibles: Le rôle majeur de Seymour Papert. . . . 128**

4.1 De l'architecture vers l'éducation des enfants. . . . .	128
4.2 L'outil pédagogique de Seymour Papert . . . . .	130
4.3 Logo et turtle, premières interfaces tangibles orientées objet. . . . .	137
4.4 La première brique de construction tangible.. . . .	139
4.5 Évolution du langage de programmation : LogoBlocks . . . . .	140
4.6 LOGO Mindstrom, Partenariat avec LEGO. . . . .	142
Conclusion de la première partie . . . . .	143

## DEUXIÈME PARTIE :

### **Du virtuel au tangible : Convergences entre l'architecture et le jeu de construction. . . . . 144**

#### **CHAPITRE 1 :La révolution transmédia . . . . . 146**

1.1 Le web et la révolution transmédia . . . . .	146
1.2 La combinaison des médias . . . . .	146
1.3 Convergences collaboratives et médias hybrides . . . . .	147
1.4 L'architecture dans le cyberspace et l'espace médiatique en 3 dimensions. . . . .	148
1.5 Émergence d'une utopie sociale . . . . .	148
1.6 Dématérialiser l'architecture dans le cyberspace . . . . .	149
1.7. Alphaworld : jeu de simulation urbaine dans le cyberspace . . . . .	150
1.8 Convergence entre l'architecture et les jeux vidéo dans l'informatique . . . . .	157
1.9 Représentation de l'espace et mécanisme ludique . . . . .	158
1.10 SimCity et Christopher Alexander . . . . .	162

#### **CHAPITRE 2 : Recherches dans le monde de l'éducation : De l'importance des objets tangibles. . . . . 164**

2.1 Le paradoxe de l'immatérialité : les interfaces tangibles (TUI) contre le monde virtuel des jeux . . .	164
2.2 La prise en main tangible du jeu . . . . .	166
2.3 Réaction au diktat du jeu vidéo et informatique éducative. . . . .	167
2.4 Le matériau de manipulation numérique . . . . .	169
2.5 Le Computational Building Block : . . . . .	170
2.6 L'Open source et l'éducation : . . . . .	171
2.7 L'influence de Frazer : du modèle Segal au Computational Building Block . . . . .	172
2.8 La brique LEGO® et le MIT Médialab : . . . . .	174
2.9 Le Tangible Media Group : . . . . .	176
2.10 Les modes d'interaction haptique : . . . . .	185

## TROISIÈME PARTIE :

### **Mouvements Hacker et Maker : Alternative de la fabrication . . . . . 189**

#### **CHAPITRE 1 : Fabrication numérique et mutation sociale . . . . . 193**

1.1 Le neo maker : un double mouvement . . . . .	194
1.2 Bricolage, DIY : origine du mouvement . . . . .	198
1.3 Contre-culture et idéologie Hacker . . . . .	201

<b>CHAPITRE 2 : Outils et dispositifs à l'ère de la révolution maker . . . . .</b>	<b>201</b>
2.1 <i>Le fablab . . . . .</i>	.201
2.2 <i>La fabrication numérique à portée de mains : L'imprimante 3D . . . . .</i>	.202
2.3 <i>L'open hardware et la génération arduino . . . . .</i>	.203
<b>CHAPITRE 3 : La révolution maker et la contre-culture éducative . . . . .</b>	<b>212</b>
3.1 <i>Les enfants makers . . . . .</i>	.212
3.2 <i>Le mouvement STEAM . . . . .</i>	.213
3.3 <i>Les jeux éducatifs du STEAM. . . . .</i>	.219
3.4 <i>Jeux de construction et Interfaces tangibles d'aide à la conception . . . . .</i>	.224
3.5 <i>Les artistes et les designers sur le chemin des dispositifs de conception tangible . . . . .</i>	.227
3.6 <i>Le mouvement neo-Frœbelienne : le retour du langage de forme élémentaire dans les dispositifs de conception ludiques et éducatifs. . . . .</i>	.256
<b>CONCLUSION . . . . .</b>	<b>265</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE . . . . .</b>	<b>278</b>
<b>ICONOGRAPHIE . . . . .</b>	<b>298</b>





# INTRODUCTION

## *1. Problématique*

Cette recherche s'intéresse au transfert des outils de modélisation et de représentation de l'architecture vers des méthodes de conception inclusives, sur le modèle de l'interactivité ludique. Il s'agit d'étudier les convergences et les points de contact potentiels entre les outils de formalisation des projets architecturaux et urbains, et les interfaces de jeux numériques et tangibles. Nous faisons l'hypothèse que le recours à ces artefacts et aux processus qui y sont associés permettra à l'individu de demain et notamment l'architecte de ne plus être en situation de dépendance face à la technologie, et qu'il sera en capacité de maîtriser cognitivement l'environnement hyperconnecté dans lequel il évolue, ainsi que sa relation au monde.

## *2. Genèse*

Peu avant les années 2000, l'accès à la culture digitale commence tout juste à pénétrer dans les sphères de la création. Cette époque est marquée par l'effervescence de l'imaginaire créatif induit par la découverte des potentialités de l'informatique. Pour de nombreux jeunes architectes, l'utilisation de l'outil informatique ne pouvait pas se réduire à la seule pratique de logiciels d'aide à la conception. Ils refusaient l'idée d'un outil renforçant la performance de la « spécialité » du métier, qualifiant d'utilitaire cette informatique qui risquait d'amplifier le cloisonnement entre la culture architecturale et les autres disciplines de la création, comme l'art, le design, le cinéma, le graphisme ... Ces dernières, plus poreuses et spéculatives, abordaient la révolution informatique

en embrassant toutes ses dimensions, formelles et esthétiques, mais aussi sociales, politiques, voire utopiques.

Ainsi, en marge des pratiques professionnelles où l'« architecte maître d'œuvre » fait figure de star sur la scène des nouveaux médias, un certain nombre d'architectes ont expérimenté un cheminement conceptuel emprunté aux disciplines connexes, spéculatives et désinhibées de l'avant-garde artistique. Ils y assument ces nouvelles influences qui contribuent à élargir les limites de leur discipline. Ils testent les nouvelles ressources offertes par les technologies informatiques, en particulier dans l'univers de la création vidéo ludique qui immerge du Web.

Cette thèse s'inscrit dans le prolongement de ce type de démarche, que nous avons expérimentée dès le milieu des années 90, au sein d'une pratique professionnelle d'une part et d'enseignement d'autre part.

## *2.1 Pratique professionnelle en « conception participative »*

Cette thèse s'inscrit dans la continuité d'une longue pratique professionnelle engagée dans la conception participative, débutée au milieu des années 1990, époque marquée, par l'effervescence de l'imaginaire créatif induit par l'arrivée de l'informatique. Cette pratique s'est développée au fil du temps dans différents contextes qui nous ont permis d'expérimenter une pratique architecturale et urbaine, complexe et multiple, qui avait pour objectif d'accompagner les citoyens dans le cadre de projets collaboratifs pour les aider à s'impliquer activement dans les processus de projets publics.

### *Années 90 : expérimentations hybrides*

Pour construire cette trajectoire d'architecte située souvent en dehors des cadres conventionnels, nous avons côtoyé les milieux de l'art contemporain, en œuvrant dans le cadre de manifestations culturelles, d'expositions, ou de biennales d'art dans l'espace public. Ces contextes constituaient des opportunités nous habilitant en quelque sorte à nous extraire légitimement des contingences opérationnelles pour créer des projets à mi-chemin entre l'architecture, le design, le graphisme, l'art. Ceux-ci étaient reliés à l'enjeu de la participation citoyenne, et parfois à la "résistance citoyenne". Sous différentes formes ou concepts, nous expérimentons cette notion complexe, en déplaçant le rôle traditionnel de l'architecte prescripteur vers celui de soutien des intérêts des usagers contre les décisions unilatérales des maîtres d'ouvrages, des pouvoirs publics, ou parfois celles des autres architectes. La plupart du

temps nos projets s'inscrivaient dans des situations pathologiques de crise urbaine, d'enclavement social, de conflits territoriaux, de précarités domestiques. Nous concevions des dispositifs permettant aux usagers de trouver des moyens d'actions pour faire valoir leurs droits. Sans être des projets d'architecture à proprement dit, ceux-ci abordaient cette discipline avec des dispositifs appropriables par les usagers, aux formats multiples (conception d'objets ou d'espaces, projets manifestes, installations dans l'espace public, expositions, ateliers pédagogiques, ... ). Nous abordions les enjeux de l'architecture et de l'urbanisme, par détournement de nos propres outils et méthodes de conception, vers ceux de l'art ou du design.

Nous avons été alternativement identifiés comme des artistes, des graphistes, des médiateurs, des pédagogues, des agitateurs, ... par le public et par les institutions culturelles avec lesquels nous travaillions. Nous étions identifiés comme tels par les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvres « officiels » qui nous laissaient parfois une certaine place dans les processus de projet, tant que nous étions utiles pour pacifier les tensions, ou pour faciliter le dialogue entre les différentes parties prenantes : en quelque sorte dès que nous oeuvrions dans le sens de la concertation.

La courte temporalité dans laquelle s'inscrivaient les dispositifs participatifs que nous mettions en oeuvre avait l'avantage de placer les différentes parties prenantes dans des situations particulières, sans but défini, sans finalité, où tout le monde s'autorisait à expérimenter des chemins de traverses ; où chacun "jouait le jeu" sans risquer de perdre son pouvoir ou son ambition. Dans ce sens, les dispositifs participatifs fabriquaient une "potentialité conviviale" qui instituait en quelque sorte un dialogue dans lequel chaque acteur acceptait de changer de point de vue, de se mettre à la place de l'autre et de se projeter différemment.

### *Années 2000 : conception participative institutionnalisée*

Dans les années 2000, avec le développement institutionnel de la « politique de la Ville », les enjeux de la participation ont pris un tournant dans les politiques publiques du renouvellement urbain, incitant les maîtrises d'ouvrage publiques à inclure des programmes de participation du public en amont des processus de projets architecturaux et urbains. Ces programmes devaient se généraliser en priorité dans le cadre de projets de rénovation des grands ensembles construits dans les années 1960 (GPRU par exemple). L'architecture participative et l'urbanisme participatif, ont pris alors un certain essor, idéologique et pratique, qui a permis l'émergence de nouveaux concepts interdisciplinaires. Des commandes publiques spécifiques étaient attribuées à des plasticiens, des graphistes, des paysagistes, des designers, parfois à des urbanistes et plus rarement à des architectes. Finalement, les enjeux de l'architecture participative ou de l'urbanisme participatif ont permis d'élargir le débat sur l'implication citoyenne en intégrant d'autres disciplines et d'autres pratiques que

l'architecture dans les processus de projet.

Ainsi, en tant qu'architectes déjà expérimentés dans les enjeux de la participation, ce tournant « institutionnel » nous a mené vers d'autres modes opératoires, aux côtés des institutions publiques, dans le cadre des programmes de préfiguration participative et artistique de projets d'aménagements urbains et architecturaux, commandités par les Maîtres d'ouvrages .

## 2.2 L'influence de l'informatique sur la conception participative et ludique.

Notre pratique professionnelle a coïncidé avec les débuts de l'accès à la culture digitale qui commençait tout juste à pénétrer les sphères de la création. Pour les jeunes architectes que nous étions, à l'aube de leur carrière, l'utilisation de l'outil informatique ne devait pas se réduire à la pratique des logiciels d'aide à la conception. Nous refusions en effet l'idée d'un outil qui n'aurait que renforcé la performance de notre spécialité. Nous pensions que l'informatique utilitaire risquait d'amplifier le cloisonnement entre notre culture et les autres disciplines de la création, comme l'art, le design, le cinéma, le graphisme ... Ces dernières, plus poreuses et spéculatives, abordaient la révolution informatique en embrassant toutes ses dimensions, formelles, esthétiques, sociales, politiques, utopiques. En marge des pratiques professionnelles où l'« Architecte Maître d'Œuvre » faisait figure de star sur la scène des nouveaux médias, notre cheminement plus expérimental dérivait vers les disciplines connexes de l'avant-garde artistique, qui influençaient déjà notre discipline, et contribuaient à élargir ses limites . Avec une naïveté assumée, nous testions, les nouvelles ressources qu'offraient les technologies informatiques en particulier dans l'univers de la création vidéo ludique et du web.

L'arrivée massive d'internet marqua un changement technologique profond des modes d'interactions humaines et sociales. Ces bouleversements nourrissaient notre imaginaire de nouvelles possibilités d'invention de notre propre métier dans cette nouvelle société en réseau qui se profilait . Avec la communication démocratique du web, nous supposions que la société aurait bientôt accès à notre savoir et qu'inversement, nous pouvions de nous rapprocher d'elle: la communication de l'architecture devait être inclusive, ouverte à la collaboration. Nous devions inventer les outils de cette forme de participation qui permettraient de transmettre notre savoir-faire.

Par le prisme du jeu, nous recherchions une légitimité à nous immerger au sein de la société civile, pour agir et défendre avec elle ses propres intérêts contre l'autoritarisme des experts (Maitres d'œuvres) ou des décideurs (maitres d'ouvrage).

Nous interrogeons ainsi le rôle des outils de co-conception dans les processus participatifs, leurs formats, leurs objectifs, leurs caractéristiques.

Pour cela, nous concevions des projets d'outils collaboratifs et des projets de jeux, pour accompagner les processus de transformation des territoires en tension par la conception participative. Le prétexte du jeu, à travers sa forme, sa matérialité, ses règles, sa jouabilité, sa temporalité, fournissait un moyen particulièrement efficace pour faire travailler ensemble les différents acteurs qui se confrontaient au sein d'un processus de projet (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, habitants, associations locales.) Les dispositifs ludiques que nous proposons n'avaient pas pour objectif que d'instaurer une distance critique et positive entre les participants, en fournissant des outils de dialogue momentanément décontextualisés par rapport aux enjeux réels. Ces jeux donnaient par exemple l'occasion d'invertir les rôles et les intérêts que chaque joueur devait défendre. Se mettre à la place de l'autre, changer de points de vue et de positionnement permettait d'apaiser les tensions ou de les identifier. En réalité le processus du jeu, malgré sa légèreté parfois juvénile, orientait déjà le projet en donnant à voir des situations inattendues qui pouvaient potentiellement nourrir les décisions à venir.

Dans la "Maison valise", présentée dans l'exposition Living in Motion (2000) organisée par Vitra Design Museum, c'est l'esthétique enfantin et l'échelle du jouet type « Maison Barbie », qui servait de média critique. Le format de représentation était une maquette au 1/10e, de couleur rose, articulée et manipulable, de sorte que le public pouvait laisser son imaginaire jouer avec différents scénarios d'habitabilité comme il l'aurait fait avec une maison de poupée. En réalité la Maison valise était une « utopie activiste » d'habitat mobile hyper connecté qui visait à montrer comment occuper illégalement et librement les délaissés urbains du centre de Berlin. Dans un même registre, mais à échelle 1, les micro-architectures mobiles « Paracity » étaient conçues comme un jeu de construction modulaire géo-localisé, constitué d'une vingtaine de pièces habitables, de 20 m<sup>3</sup> chacune. Installées dans le centre de Vienne pour la Biennale d'Architecture et de Design (2006), en libre d'accès durant 2 mois, les pièces de Paracity visaient à créer des situations expérimentales de convivialité dans le contexte conflictuel d'un quartier enclavé en cour de rénovation.

Dans d'autres cas la pratique du jeu offrait une opportunité pour rendre visible les intérêts de pouvoir en lien avec la spéculation foncière: Réalisé dans le cadre de la biennale d'art « Imaginez demain » (2009), le jeu de rôle UrbanXgame s'installait dans la friche vacante de l'ancienne caserne Niel à Bordeaux, ouverte temporairement au public pour la biennale. Durant plus d'une décennie, cette friche avait été occupée alternativement par des collectifs d'artistes, des communautés de Rom et des réfugiés qui y cohabitaient difficilement; puis elle avait attiré les convoitises très controversées des experts : maîtres d'ouvrage, promoteurs, urbanistes, architectes, paysagistes. UrbanXgame faisait rejouer ensemble et in situ tous ces acteurs avec

un jeu en réalité augmentée remettant en scène les discordes et les polémiques.

Réalisé dans le cadre de projets de rénovation urbaine des grands ensembles construits dans les années 1960 (Cité de Chènevères à Saint-Ouen l'Aumône, et Cité des Courtilières à Pantin), « SecondTimeZoneTerritoiries » ( 2000) était un outil de modélisation urbaine et architecturale sous la forme d'un jeu vidéo en mode MMOG (massivelymultiplayer online), entièrement conçu par les habitants, enfants et adultes. Ce jeu/outil permettait de spatialiser les relations sociales, intergénérationnelles; de construire de nouvelles convivialités dans un but participatif. En outre, tous les habitants pouvaient accéder à cette représentation et la transformer, moyennant une petite formation préalable en modélisation 3D, dispensée dans une association locale au pieds des immeubles d'habitation, ou dans les écoles du quartier. En transformant le cadre bâti et les espaces publics de manière parfois onirique, il était même possible de créer des projets utopiques, d'ajouter des bâtiments, de changer les fenêtres sur les façades des immeubles, de construire sur les toits, d'aménager les espaces publics en forêts tropicales ou en pistes de ski, ou même de transformer l'intérieur de son domicile. Tout cela pouvait être montré en temps réel à l'ensemble de la société. Grâce à cette interface de jeu, les habitants ont pu exposer leurs projets lors de l'exposition Biozone au Forum Culturel du Blanc-Mesnil, organisé par la direction de la Culture du Conseil Général de Seine Saint-Denis

Proposés dans le cadre de la requalification architecturale et urbaine de la Cité Campagne Lévêque à Marseille, les jeux « Vues d'ici » ( 2013), étaient calqués sur les outils de conception architecturale que les architectes utilisent couramment, mais adaptés aux non experts. Pour pouvoir participer efficacement aux projets, les habitants apprenaient préalablement à concevoir des maquettes afin de visualiser et communiquer leurs idées. En réalité, le principe du « Lego » était utilisé comme base de matériau de conception des maquettes, mélangé à d'autres matériaux plus ordinaires ( papier , carton...) Les briques de Lego, pour la plupart, étaient modélisées "sur mesure", puis imprimées en 3D dans un fablab temporaire installé au pied d'un immeuble d'habitation. Ainsi, dans ce lieu temporaire étaient organisés des ateliers d'architecture assez proches de ceux dispensés dans les écoles d'architecture. En revanche, la méthode employée pour mettre en scène les représentations en maquettes sur une grande table s'inspirait aussi de la pratique psychanalytique jungienne du "jeu des sables" qui consiste à favoriser l'émergence de l'imaginaire individuel.

### *2.3 Pratique pédagogique à l'ENSAV*

En continuité de ces travaux expérimentaux conduits dans le cadre de projets professionnels, dans lesquels la formation basée sur le jeu était centrale, nous avons pu mettre en place des modules d'enseignement interdisciplinaire destinés à

explorer des pistes de conception spéculative et empirique, hybridant les disciplines de l'art et du design avec celle de l'architecture, en nous appuyant sur les ressources informatiques.

### *L'atelier pédagogique Bricologies numériques*

Il y a une dizaine d'années, l'École Nationale supérieure d'architecture de Versailles a entrepris d'équiper ses locaux de machines à commande numérique, permettant ainsi aux étudiants d'accéder à des outils performants pour la réalisation de leurs maquettes.

Parallèlement à cette installation, nous avons proposé un module d'enseignement en cycle Licence, destiné à initier les étudiants à une approche critique de leurs propres pratiques des outils de conception (l'ordinateur, l'écran, la souris, les programmes et leurs interfaces, les découpes ou d'impression numériques...) et de la production des objets de représentation (maquettes, dessins...).

Avec l'atelier « Bricologies numériques », nous proposons d'inventer d'autres outils technologiques, d'autres machines de conception de projet, plus intuitifs, voire ludiques, en renouant avec la manualité, le corps, la sociabilité, en s'amusant, sans but prédéfinis. Pour cela, les étudiants ont puisé dans un large registre de matériaux ou d'objets numériques pour imaginer de nouveaux dispositifs d'élaboration. Ils ont appris les rudiments de l'électronique et quelques bases de programmation codée pour créer toutes sortes d'expérimentation, en opérant dans les murs de l'école et en questionnant leur quotidien d'étudiants en architecture.

Exemples de projets conçus dans cet atelier : - Détournement des vibrations des traceurs, transformées en « énergie de conception » pour produire automatiquement des plans sans auteur - Un babyfoot reconverti en machine à dessiner des projets à quatre joueurs - un logiciel qui modélise automatiquement en 3D une conversation orale entre plusieurs étudiants, grâce à des capteurs corporels, des micros, et des programmes syntaxiques - Une installation interactive qui permet à l'utilisateur de fabriquer des modèles d'architecture en dansant - un hélicoptère miniature radiocommandé par une manette de jeu pour dessiner en 3D directement dans l'espace - un logiciel d'écriture automatique de textes descriptifs adaptables à n'importe quel projet d'architecture - la récupération des « clics » des souris de



l'atelier informatique comme nouveau matériau de conception .

Les étudiants ont appris à construire eux-mêmes leur première imprimante 3D, puis à recycler les vieux traceurs de l'école devenus obsolètes, en les démontant pour réinventer d'autres outils de fabrication. En d'autres termes, presque tous les équipements de l'Ecole ont servi de prétexte pour jouer librement avec les outils et les matériaux, et permettre aux étudiants d'être en mesure de concevoir des processus de projets expérimentaux et inédits.

## *2.4 L'atelier SocialMachineClub*

Dans la continuité de l'atelier Bricologies numériques nous avons mis en place, depuis 2014, en cycle master l'enseignement SocialMachineClub. Celui-ci s'inscrit dans la filiation du mouvement maker, de la culture du « libre accès », de la démocratisation des processus de fabrication. Il interroge la place de l'architecte dans la nouvelle société qui se profile. L'atelier aborde aussi les enjeux de la conception participative. Il explore les logiques de transmission ouverte des modèles, de leur reproductibilité, de leur appropriation par la société civile, ainsi que les nouvelles formes de collaboration entre les architectes et les citoyens qui en découlent. Il vise à ouvrir un nouveau terrain d'exploration dans le domaine de la conception architecturale participative, en interrogeant les modalités de l'implication citoyenne et le rôle de l'architecte dans ce nouveau contexte.

L'enjeu est donc de questionner les modes de fabrication du projet, à travers le renouvellement des codes de représentation et des processus de mise en forme pour les rendre discutables, manipulables, par le prisme du jeu. Ainsi, depuis quelques années les étudiants élaborent des prototypes d'outil de conception architecturale jouable, en inventant de nouveaux langages formels, tactiles, tangibles, colorés, en mélangeant des objets plastiques et des objets numériques ou électroniques. Ils créent des dispositifs d'apprentissage à la conception architecturale pour tous les publics et tous les âges, sous forme de jeux de construction à grande échelle en détournant des matériaux manufacturés « grand public », des jeux d'assemblages géométriques à partir de pièces moulées aux couleurs acidulées, des jeux d'initiation à la modélisation de projets d'architecture ou d'urbanisme, des machines pour fabriquer des jeux, des jeux de plateau ou de stratégie collaborative , des représentations architecturales jouables à partir des jouets pour enfants recyclés. Chaque projet aborde de manière différente la notion de jeu comme moyen de transmettre une culture complexe en simplifiant les codes formels. Le jeu, comme processus générateur de créativité, est donc un mode de partage de la conception, pour augmenter les capacités narratives, pour intégrer d'autres points de vue dans l'élaboration des projets, pour générer des



scénarios que l'architecte n'aurait pas pu imaginer.

### *3. Structure du corpus d'étude et contexte*

Les recherches réalisées dans le cadre de cette thèse tendent à explorer ces nouvelles complexités conceptuelles induites par une utilisation libre, ouverte et ludique des outils technologiques, en interrogeant leurs origines dans les pratiques architecturales autant que pédagogiques.

Le corpus d'études s'est structuré en fonction de deux réalités dont les éléments ont été mis en regard tout au long de la recherche :

Rôle des jeux d'architecture à l'ère de l'innovation sociale

Appropriation de l'innovation numérique par les utilisateurs.

Ces deux paradigmes, marqueurs d'innovation chacun dans leurs domaines, offrent des modèles de représentation qui ont servi de fils directeurs dans le cheminement de notre démonstration. Ils se sont imposés comme vecteurs structurants de sa complexité.

#### *3.1 Les jeux d'architecture à l'ère de l'innovation sociale*

Les architectes ont souvent pensé la procédure de conception du projet comme un jeu et nombre d'entre eux ont eu recours à la création de jeux dans leur pratique conceptuelle. Cependant la notion de jeu comme méthode de création n'a jamais été véritablement reconnue comme une composante épistémologique des sciences de la conception architecturale. Dans le passé, les architectes ont bien été tentés par la structure du jeu comme matrice de formalisation des idées et des intuitions, en empruntant les notions de règles et de matériaux ludiques pour redélimiter l'espace de projection (fig.1), en y intégrant des paramètres de variabilités aléatoires, formelles, techniques, sociales, numériques, politiques, etc. Certains architectes ont créé des outils ludiques pour élaborer des dynamiques dialectiques dans la conception programmatique<sup>(1)</sup>; d'autres ont eu recours à l'interactivité ou à l'ingéniosité du jeu pour négocier avec leurs partenaires, ou au langage ludique pour éduquer le public

<sup>1</sup> Migayrou, F. (2014). Bernard Tschumi, Architecture : Concept & Notation. Centre Pompidou. 52-53

à la controverse.

Les écoles d'architecture ont souvent été les terrains de jeu de prédilection pour tester les potentialités du jeu dans les méthodes d'apprentissage (fig.2). Pendant des décennies, la métaphore du jeu dans la pratique architecturale a bien été présente, évoluant dans différents contextes au contact avec d'autres disciplines, comme celles de l'art, du design, de l'écriture littéraire, du graphisme, et d'autres courants de pensée en lien avec les sciences ludiques, la philosophie, l'anthropologie, les sciences de l'éducation, les sciences sociales et politiques jusqu'aux théories de la cybernétique et néo-cybernétique.

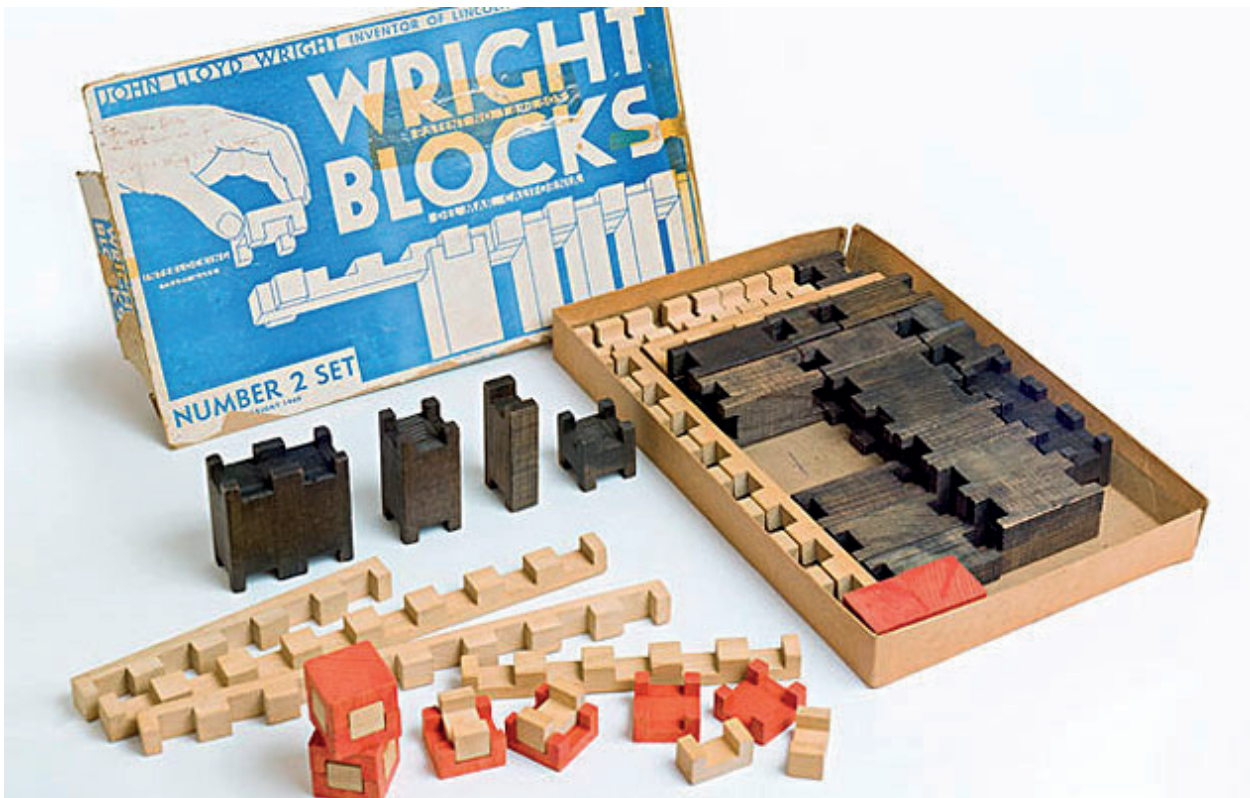
Mais il n'existe pas pour autant une posture ludique, véritablement revendiquée et identifiée dans la discipline de l'architecture, dont on pourrait trouver des points de comparaison avec certains mouvements artistiques ou dans la pratique du design, à la recherche de nouveaux territoires de liberté d'expression. Dans le champ de l'architecture, le langage et l'esthétique ludiques n'ont jamais été qu'un phénomène marginal, rarement étudié, analysé, encore moins théorisé, car rapidement relégués au rang du divertissement donc de l'inutilité, ou à l'opposé, du manifeste abstrait sans possibilité de concrétisation dans la réalité économique et sociale. Si l'idée du jeu comme moyen de conception n'a été jusqu'à présent ni une préoccupation ni une opportunité pour l'architecte, la conception et la pratique du jeu d'architecture reprennent leur place aujourd'hui au sein d'une société marquée par la transition sociale et numérique.

### *3.2 L'innovation numérique produite par les utilisateurs*

Les technologies numériques ouvertes et créatives<sup>(2)</sup> sont les outils de la transition numérique basée sur la libre circulation des connaissances, et le libre partage des innovations technologiques. Leur développement fait le pari que la société civile ou le « pouvoir latéral » peut prototyper les outils de la transition de la 3e révolution industrielle<sup>(3)</sup> en modifiant l'organisation des gouvernances et des services. C'est le paradigme de l'innovation par les utilisateurs, la suite logique du Web collaboratif qui a démocratisé les outils de partage de fichiers, d'édition, de création, puis a permis le développement des réseaux sociaux pour des millions d'utilisateurs. Il est lié à l'essor des logiciels libres qui s'intègrent dans le champ de l'innovation ouverte, et il promeut en même temps une plus grande démocratisation du modèle d'économie

2 Visible entre autres par l'essor du label « Fablab », le développement des technologies créatives et ouvertes englobe le web collaboratif 2.0, le mouvement open data, les logiciels et programmations informatiques libres, le prototypage rapide, la fabrication numérique ..., et prône l'attitude des « makers » via le « Do It Yourself » et « Do It With Others ».

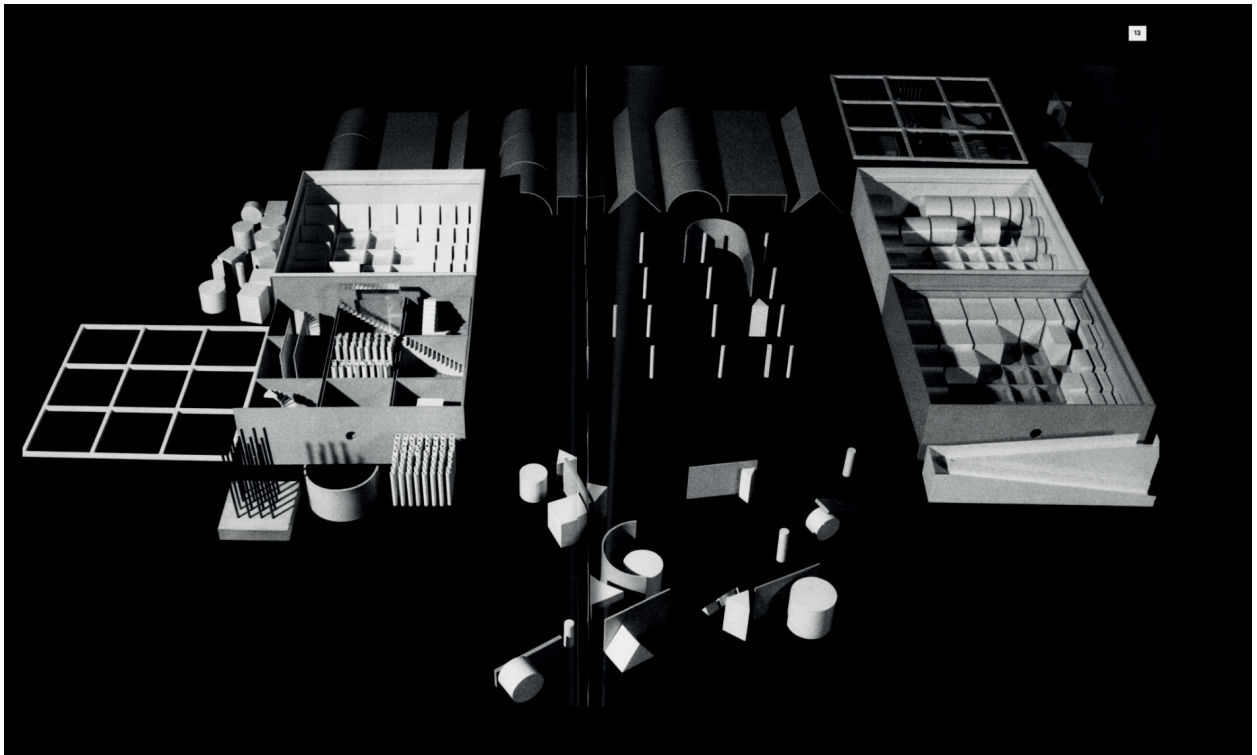
3 Rivkin, J. (1997). La fin du travail. La Découverte.



**(fig. 1) Wright Blocks, 1940**

**John Lloyd Wright, Architecte et concepteur de jeu de construction.**

*Jeu de construction conçu par l'architecte John Lloyd Wright, le fils de Frank John Lloyd Wright. John Lloyd Wright est l'inventeur de Lincoln Logs, Wright Blocks. J.Lloyd Wright a d'abord expérimenté la notion de standardisation dans la planification de ses ensembles de jeux de construction. Wright a cherché à adapter divers degrés de standardisation à la conception architecturale moderne.*



*(fig. 2) 9 Square Grid, 1976*

*Projet réalisé par Lorna McNeur, étudiant en première année d'architecture, School of architecture of the cooper union.*

*D'après le 9 square Grid de John Hedjuck.*

fondé sur la contribution sociale et la pollinisation des idées.

Les mouvements des technologies ouvertes se développent ainsi dans un contexte de crise systémique et de mutation des systèmes de valeurs : transition économique, écologique, éducative, politique et culturelle.

Il s'affirme avant tout à travers les notions d'interdisciplinarité, de convergence des compétences et des savoirs, et se développe à tous les niveaux de notre société, dans les sphères politiques et sociales, dans l'industrie, dans le développement durable des territoires, des villes, des quartiers, et dans les sphères domestiques. Caractérisées par une floraison de communautés de connaissances initiatrices d'usages, créatrices de fonctions et d'espaces, les technologies ouvertes font exister ensemble des innovations alternatives hétérogènes. Elles dessinent un monde où la diversité des contributeurs est mise à profit pour élaborer des stratégies de projet que les politiques publiques n'auraient pas pu imaginer ou mettre en œuvre.

Ce contexte en mutation provoque des ruptures dans la progression des savoirs. De nouvelles idées, de nouvelles représentations naissent. Il favorise un autre rapport entre la figure du citoyen amateur et celle de l'expert et établit une redistribution des jeux d'acteurs. Dans ce changement de paradigme, les experts architectes, urbanistes, paysagistes, garants d'un patrimoine complexe, ont à intégrer les outils de l'innovation sociale qui participent désormais au dessin de la nouvelle métropole. C'est une mutation des fonctions par la mutualisation des rôles qu'il s'agit de repenser. La question interroge alors autant les rôles des acteurs que les outils à adapter, afin de permettre à la nouvelle société d'exister pleinement<sup>(4)</sup>. Le virage technologique de la révolution numérique initie donc un changement majeur dans les méthodes de conception et de production de la ville ; un changement dans la manière de penser la culture inclusive des savoirs inhérents aux processus de conception. Celui-ci cible en priorité les enjeux de transmission, de pédagogie, de débat, de controverse, de mutualisation, de gestion de la complexité dans la mise en œuvre des projets, ce dans quelque contexte que ce soit.

Penser et créer dans cette transition numérique implique d'introduire de nouveaux outils accessibles par tous dans les pratiques de la conception de l'architecture et de l'urbanisme, des outils appropriables et transformables dans l'idéologie de l'open-culture. Leur invention donnera naissance à de nouveaux processus collaboratifs et

4 « Que fait-on quand on joue ? Si l'activité ludique est si mal comprise et si difficile à cerner, c'est parce qu'il ne suffit pas de dire que jouer, c'est ce que font ceux qui jouent à tel ou tel jeu ... Car on peut très bien pratiquer les jeux hors de tout esprit ludique. Et, symétriquement, il est parfaitement possible, et même souvent hautement recommandable, d'entretenir un rapport ludique à des activités réputées sérieuses. Il reste donc à caractériser dans toute sa généralité l'esprit du jeu. On défend ici l'hypothèse que l'esprit du jeu n'est pas autre chose que l'esprit du don déployé dans le registre ludique. Et réciproquement, peut-être. » Dans « L'esprit du jeu. Jouer, donner, s'adonner », Revue du MAUSS, n° 45, 2015, 240 p., Paris, La Découverte, ISBN : 9782707186195 (Notice publiée le 27 mai 2015, Alain Caillé)

de nouveaux leviers d'action pour accompagner le développement urbain de demain.

Aujourd'hui les professionnels de l'urbanisme, de l'architecture, du paysage, utilisent des outils et des méthodologies spécifiques pour concevoir les projets architecturaux et urbains qui leur permettent de communiquer et travailler ensemble selon des protocoles communs. Les représentations qu'ils produisent (maquettes, images 3D...) évoluent au fil des époques en fonction des outils, mais demeurent axées sur les codes lisibles par un cercle restreint d'acteurs qui sont « officiellement » les seuls à détenir la complexité des enjeux. Avec les technologies ouvertes et créatives, les « amateurs » détiennent « l'autre » partie de la complexité et du savoir, ainsi que des outils de co-conception que l'on retrouve du côté des transmédias et de leurs nouveaux contenus ludiques. Notre propos et notre hypothèse de travail ont pour but de mettre en convergence ces diverses réalités, qu'elles soient déjà installées ou encore émergentes.

### *3.3 L'hypothèse de la recherche*

L'hypothèse de la recherche porte sur le transfert des outils de modélisations et de représentations de l'architecture vers des méthodes de conceptions inclusives sur le modèle de l'interactivité ludique. Il s'agit d'étudier les convergences et les points de contact potentiels entre les outils de formalisation des projets architecturaux et urbains, et les interfaces de jeux éducatifs matériels et tangibles.

Ces points de contacts trouvent leur racine avec l'exploitation de la syntaxe formelle et structurelle des jeux de construction dans l'élaboration des premiers outils d'aide à la conception architecturale. Les sciences de l'informatique, de l'architecture, du jeu et de la pédagogie partagent ainsi la même histoire en se côtoyant intimement pendant les décennies qui ont vues arriver les premiers logiciels de dessin assisté par l'ordinateur. Nous montrons comment les jeux de construction Froebéliens à base de blocs, ont été à l'origine des premiers outils d'aide à la conception informatique, et ont contribué à créer une filiation conceptuelle entre les sciences de l'architecture et le mouvement de l'éducation alternative constructiviste qui a suivi l'évolution des technologies numériques.

Pour examiner le rôle de l'ordinateur et des interfaces numériques dans la production architecturale, il est nécessaire de se remémorer l'époque prolifique de l'arrivée de l'informatique dans les mains de l'architecte. Cela permet de comprendre la transition

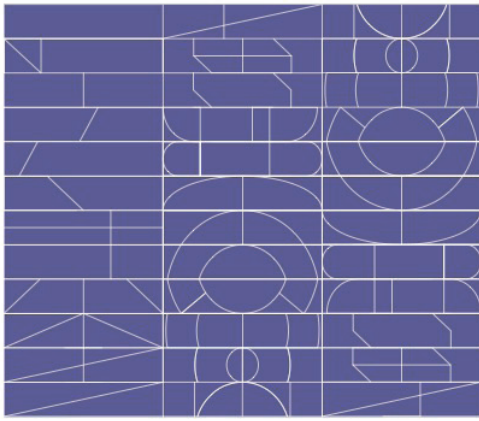


qui s'est opérée avant 1980, entre les pratiques manuelles de la conception et les pratiques assistées par l'ordinateur. Cette transition a fait naître des clivages qui sont à l'origine d'une contre-culture de l'outil de conception informatique dans les milieux scientifiques de l'Intelligence Artificielle et des Interfaces Homme-Machine. Les premières controverses ont créées une bifurcation idéologique opposant l'utilisation des interfaces graphiques (GUI) permettant d'automatiser partiellement la conception architecturale et les interfaces tactiles (TUI) favorisant le maintien de la pratique gestuelle au sein du processus créatif. Le travail de recherche vise à montrer comment cette contre-culture à qui l'on doit l'invention des TUI et de la modélisation à l'aide des Blocs Tangibles, à constituer le terreau d'une génération des jeux de construction tangibles éducatifs actuels que l'on peut qualifier d'outils d'aide à la conception.

### *3.4 Le format tangible*

La thèse s'intéresse à l'outil d'aide à la conception architecturale, éducatif, et convivial. La question qu'elle pose revient à l'enjeu du rôle l'architecte en tant que pédagogue s'adressant au non-sachant, et à sa capacité à transférer son savoir de concepteur, pour que le non-sachant puissent s'emparer du processus de conception de manière active, c'est à dire en apportant ses propres savoirs à l'architecte. Il s'agit donc pour l'architecte, d'être en mesure d'inventer des outils destinés à cette pratique du partage de l'acte de concevoir qui appartient d'ordinaire exclusivement à l'expert. L'hypothèse de la recherche se focalise sur l'outil de conception le plus élémentaire de l'architecte, la maquette préliminaire, celle que l'on construit sur une table, et qui consiste à organiser dans l'espace, de manière empirique et intuitive, les données collectées ou choisies selon des règles formelles, conceptuelles et contextuelles. Rendre le processus de conception partageable avec d'autres consiste à repenser la maquette préliminaire en facilitant sa maniabilité tout en maintenant la complexité du contenu. Ce processus peut être accessible par sa jouabilité tactile et simultanément complexe dans sa technicité, en associant un contenu narratif transmédia à la pratique tangible. L'interconnexion entre la forme plastique de la maquette et son contenu numérique est tangible à condition de maintenir au premier plan l'accessibilité par la manipulation intuitive et créative.

De la même manière, la question de l'accessibilité se pose pour le non-expert qu'est l'architecte qui conçoit l'outil tangible. La technologie numérique, qui « agrmente » la conception doit être intuitive et créative, pour l'architecte non-sachant puisse se l'approprier librement. Dans cette démonstration, se côtoie donc une culture de l'expérimentation empirique, du bricolage, de la recherche de la simplicité matérielle, formelle et technologique, c'est à dire d'une technicité abordable, tant pour le concepteur que pour l'utilisateur, futur concepteur. Ce cheminement dresse les contours d'un format particulier, à mi-chemin entre la maquette physique et la maquette virtuelle, toutes deux générant une représentation distincte l'une de



Set de jeu de formes

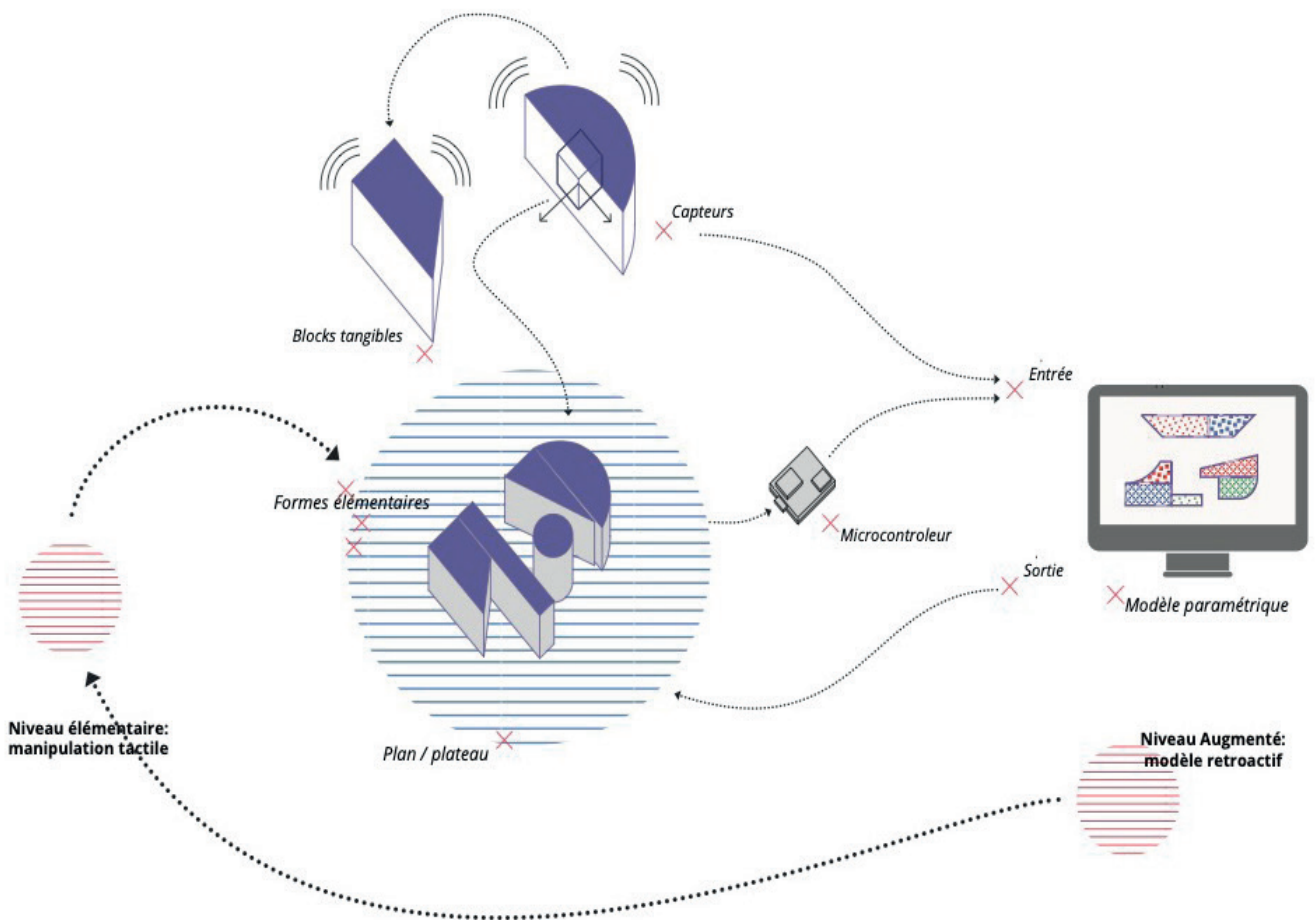
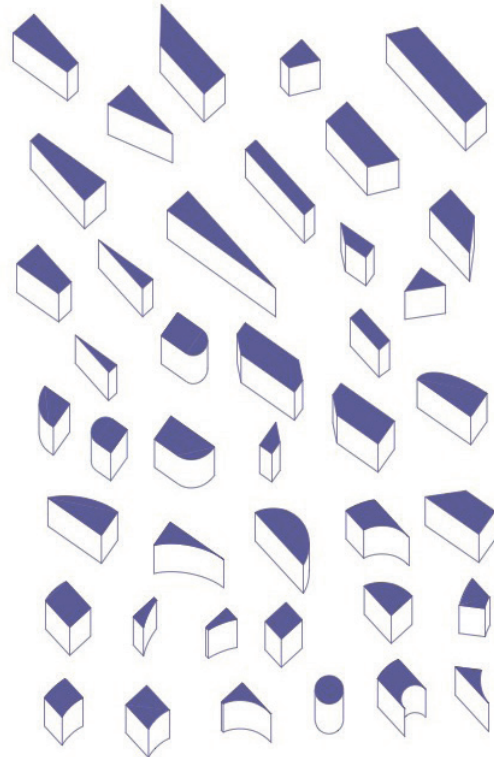


Schéma 1



l'autre mais se complétant. Le format dit « tangible » dont on parle ici cherche à s'affranchir du face à face avec l'écran, en reléguant sa présence ou son utilité en arrière-plan (**Schéma 1**).

Les outils d'aide à la conception participative et ludique en architecture et les dispositifs ludiques d'aide à la conception informatique sont étroitement reliés depuis l'arrivée de l'informatique dans la société civile. Leurs multiples interconnexions ont en commun leur parenté avec les jeux de construction et les jeux de plateau, comme modèles formelles, narratifs et procédurales. Cette parenté avec le jeu signifie que les enjeux de l'accessibilité se structurent autour de l'activité ludique comme possibilité d'apprentissage par le vecteur de la liberté créative et de la prise d'autonomie. En même temps, les enjeux de la liberté créative et la prise d'autonomie forment le terreau d'une contre-culture sociale qui prône pour l'existence d'un pouvoir citoyen plus actif face aux défis du monde contemporain. Il est donc question dans cette thèse d'une filiation qui découle en grande partie de l'impact des mouvements contre-culturels qui ont marqués l'évolution de l'informatique, de sa genèse jusqu'à nos jours, en particulier entre les outils d'aides à la conception participatifs et éducatifs dans l'architecture, et les outils d'aides à la conception tangible à destination des enfants. Dans les deux disciplines, de l'architecture et de l'informatique, le modèle du jeu de construction, dans sa forme traditionnelle (à partir des dons de Fröbel), est utilisé pour simplifier la « prise en main » de l'ordinateur par l'utilisateur, et pour faciliter l'accès à la complexité informatique et aux contenus numériques.

Les différentes parties et chapitres explorent et analysent, à travers ce format tangible, à la fois outil et jeu, les contextes dans lesquels il a été expérimenté ou produit. Ce format trace en quelque sorte un sillon qui draine avec lui un certain nombre de questions liées à la transmission conviviale des savoirs. Il est donc autant question de l'évolution de la technicité du format tangible, de sa plasticité, que des discours théoriques et idéologiques dans lesquelles il évolue dans différents contextes d'expérimentations, oscillant entre l'architecture, l'informatique ou le numérique, l'éducation (des enfants) (**schéma 2, 3**).

#### *4. Une approche chronologique en trois grandes époques*

Pour construire la démonstration, le rapport s'appuie sur les trois grandes périodes qui ont caractérisé l'évolution des technologies digitales et l'immersion des enjeux numériques dans les disciplines scientifiques de l'architecture et de l'éducation, puis l'apparition progressive de jeux éducatifs dédiés à l'apprentissage du code et de

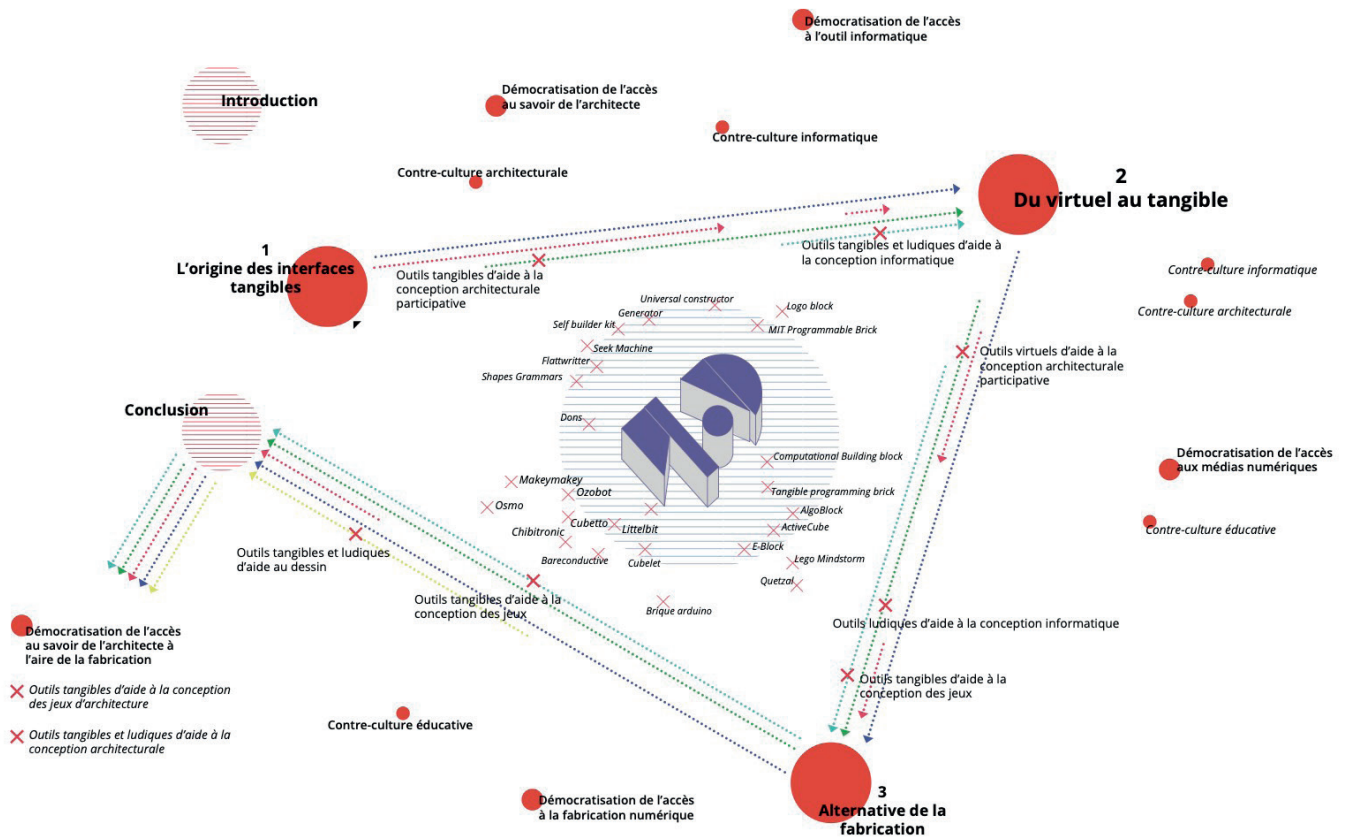


Schéma 2

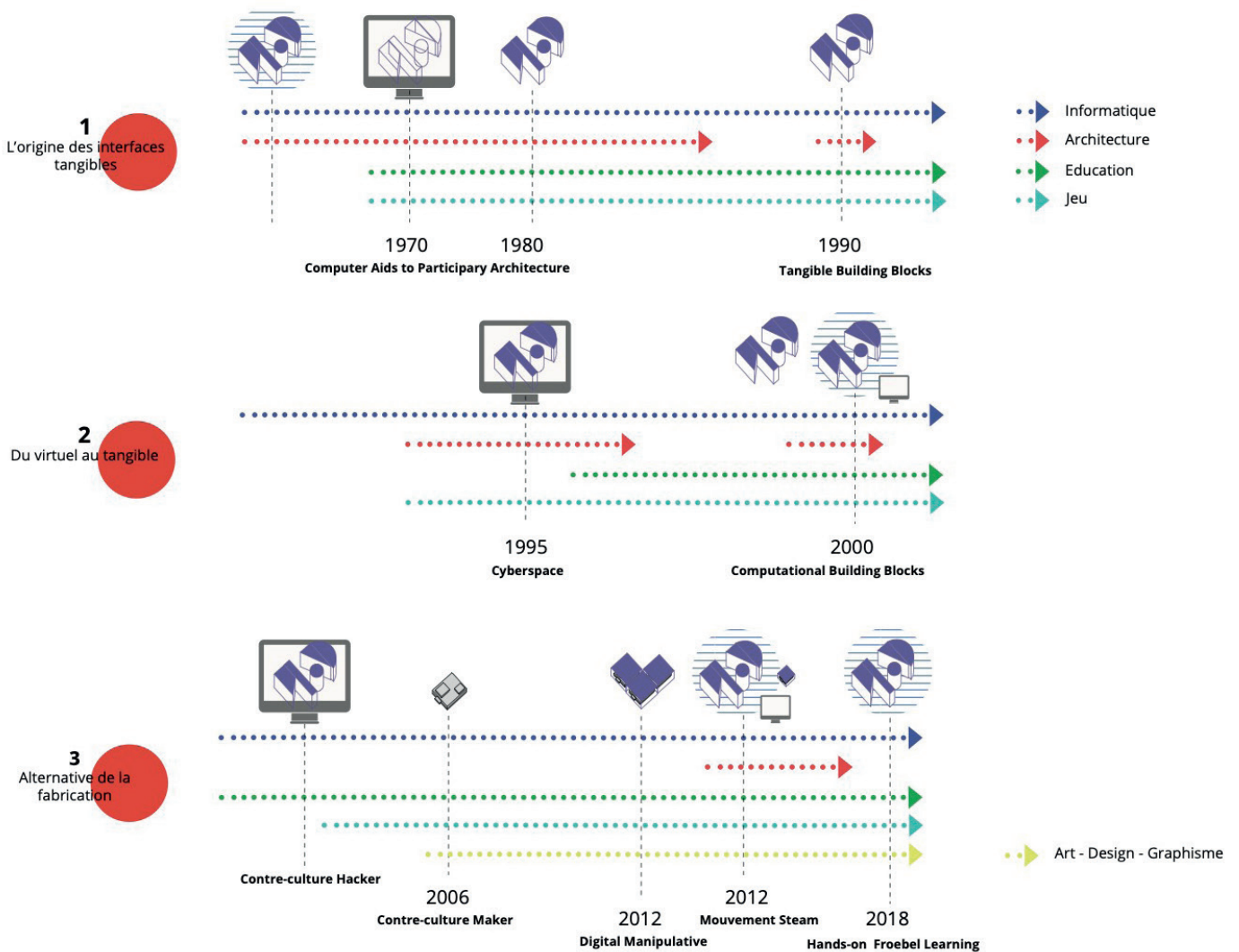


Schéma 3

l'électronique.

Influencée par les théories d'Ivan Illich, cette évolution tend à s'extraire du domaine exclusif du logiciel pour s'orienter vers des outils tangibles à mi-chemin entre les artefacts physiques (telle la maquette traditionnelle) et les artefacts immatériels (comme la maquette numérique). D'un point de vue idéologique, l'architecture a tenté de rapprocher l'expert et le profane, en prônant une « informatique conviviale et intuitive » comme levier pour faciliter la compréhension des processus de conception architecturaux, et les rendre partageables et appropriables par les futurs utilisateurs. La première partie montre comment apparaît, à partir des années 1960, une contre-culture de l'informatique, qui donnera naissance aux premières interfaces de conception participative à l'aide de blocs tangible à la manière des jeux de construction : les Computer-Aided Participatory Design . Ceux-ci sont développés de manière embryonnaire et expérimentale, dans les milieux universitaires dans les disciplines de l'architecture, de l'intelligence artificielle et des sciences de l'éducation.

La seconde partie aborde les enjeux de l'appropriation des technologies par les utilisateurs non experts à l'ère de l'immersion de la société dans l'informatique de la communication (TIC) qui fédèrent à nouveau la contre-culture des sciences de l'informatique, de l'architecture, de l'éducation contre les industries du matériel et des logiciels en prônant pour une plus grande implication des citoyens dans les processus d'expression et de création. Un nouveau tournant s'opère dans les réflexions sur la manière de transmettre, aux enfants, une culture critique de l'ordinateur qui fait désormais partie de leur quotidien. Ces réflexions font place à l'invention expérimentale d'une nouvelle famille d'interfaces de conception tangible conçue sur le modèle des jeux de construction, dédiée à l'apprentissage précoce de la programmation informatique. Privilégiant « la manualité intuitive qui participe au développement de l'imaginaire créatif » , ces jeux de construction tangible placent l'ordinateur en arrière-plan.

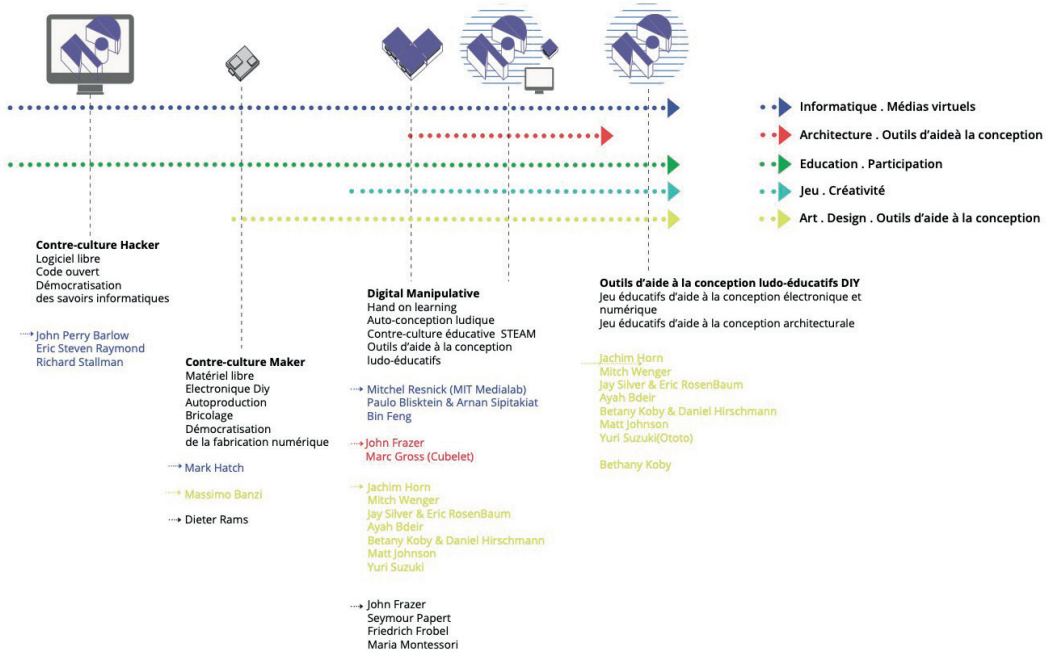
La troisième partie traite de l'accessibilité aux outils de fabrication numérique qui s'impose comme une idéologie culturelle, économique et politique. Il s'agit de permettre à la société civile de réagir contre l'omniprésence des produits numériques, qui aliènent la liberté d'agir des individus. La culture néo-maker fait place à l'invention de nouveaux processus de conception démocratiques, qui se focalisent en particulier sur les enjeux éducatifs. L'intégration de projets d'initiation à la programmation informatique dans l'éducation, l'apparition progressive de jeux éducatifs dédiés à l'apprentissage du code, la prolifération des microcomposants électroniques éducatifs, font resurgir les modèles embryonnaires imaginés presque un quart de siècle auparavant dans la recherche informatique , architecturale et

---

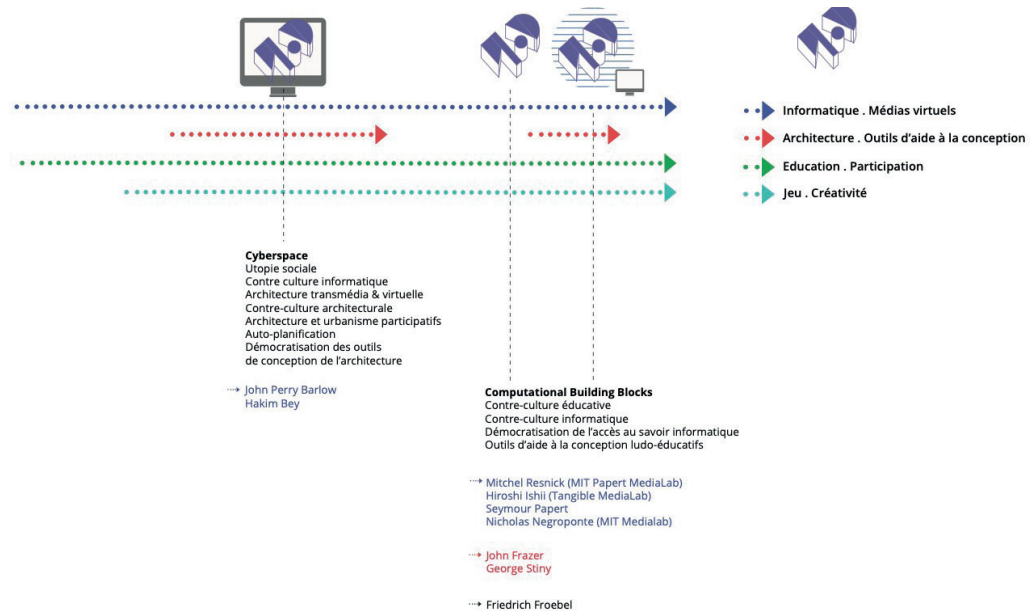
5 Sennett, R. (2010). Outils d'éveil. Ce Que Sait La Main (Sciences - Sciences Humaines). Albin Michel. 285

6 En particulier au IA Lab et au MediaLab du MIT.

**3**  
Alternative de la fabrication



**2**  
Du virtuel au tangible



**1**  
L'origine des interfaces tangibles

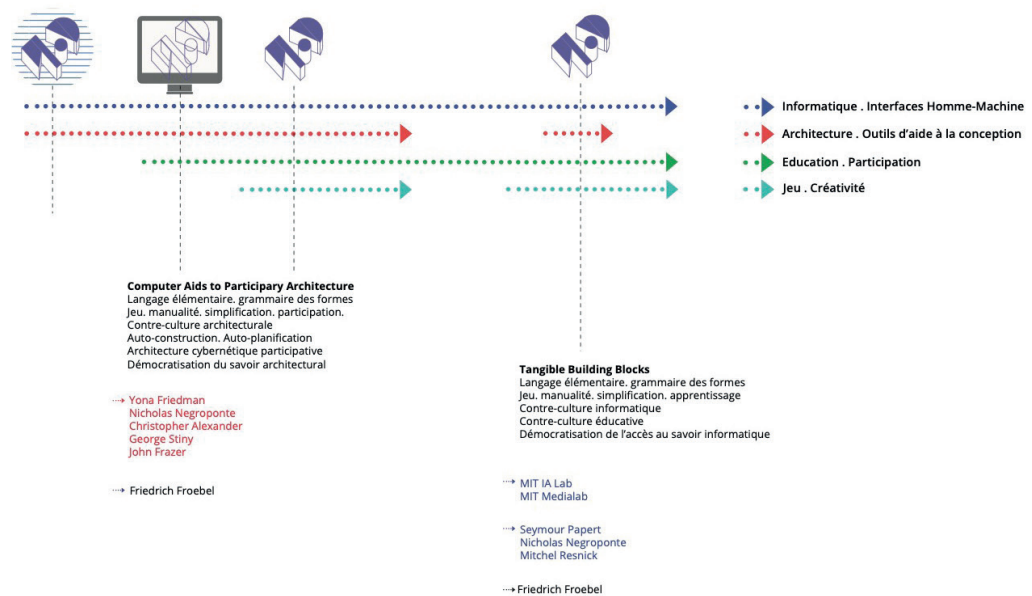


Schéma 4,5,6

# PREMIÈRE PARTIE :

## L'origine des interfaces tangibles à la croisée des disciplines de l'architecture, de l'informatique et des sciences de l'éducation : l'émergence des blocs tangibles transmédia.

Cette première partie s'intéresse à la relation complexe entre utilisateur et technologies numériques, dans un ensemble comprenant la machine-ordinateur avec ses interfaces graphiques et tangibles. L'articulation entre le *hardware* de la machine et les interfaces de visualisation et de préhension tactile, s'avère complexe et paradoxale dès l'arrivée de l'informatique dans les années soixante. Elle fait le creuset des réflexions et des tensions qui s'opèrent d'abord dans le milieu du design et de l'architecture, puis dans celui de l'éducation populaire et du jeu, autour de l'humanisation de l'outil<sup>(8)</sup> et de sa démocratisation. Cette partie s'intéresse directement à l'articulation que l'on identifie par le terme « d'interface », qui permet d'instaurer une symbiose entre les capacités cognitives, sensorielles et émotionnelles de l'homme, et les capacités de la machine dotée d'une autre intelligence dite artificielle. Cette nouvelle confrontation entre l'homme et la machine est à l'origine des premiers outils de conception tangibles : Les blocs tangibles transmédias.

---

8 Simondon, G., Hart, J., & Deforge, Y. (2001). *Du mode d'existence des objets techniques*. Aubier.



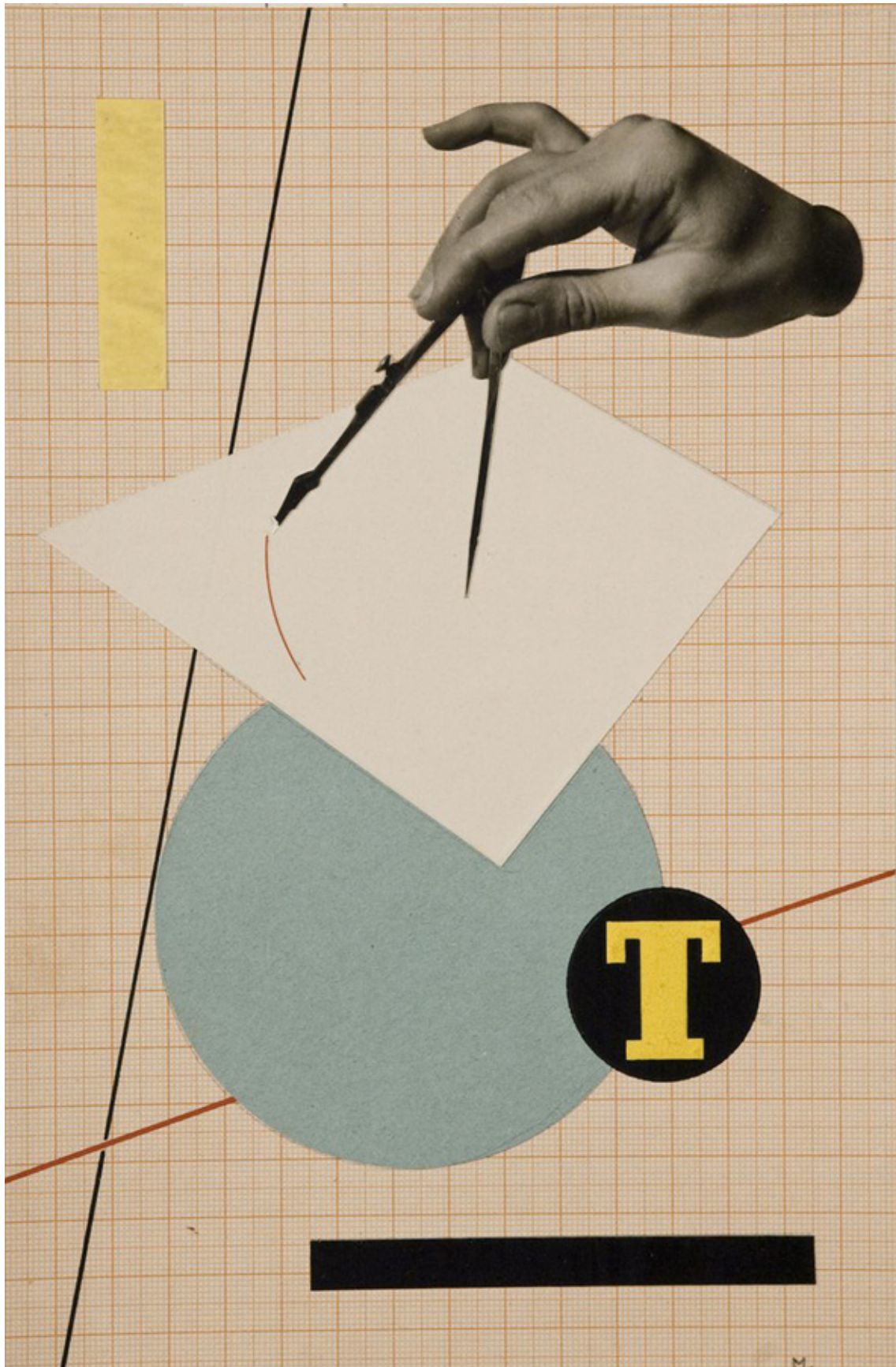
## CHAPITRE 1 :

## Les premiers outils informatiques dans l'architecture

Le chapitre qui suit est une investigation non exhaustive dans l'histoire de l'informatisation de l'architecture qui s'intéresse à la substitution des outils artisanaux et analogiques par les interfaces numériques. Il s'agit de révéler comment l'émergence des interfaces utilisateurs dans le milieu de l'architecture est à l'origine des interconnexions entre la discipline architecturale et l'innovation ludique dans le domaine des médias tangibles. Les pratiques architecturales ont en effet subi d'importantes modifications sur les plans techniques depuis l'arrivée des technologies numériques, mais on oublie souvent que certaines technologies développées pour faciliter le travail des architectes ont aussi affecté d'autres champs disciplinaires.

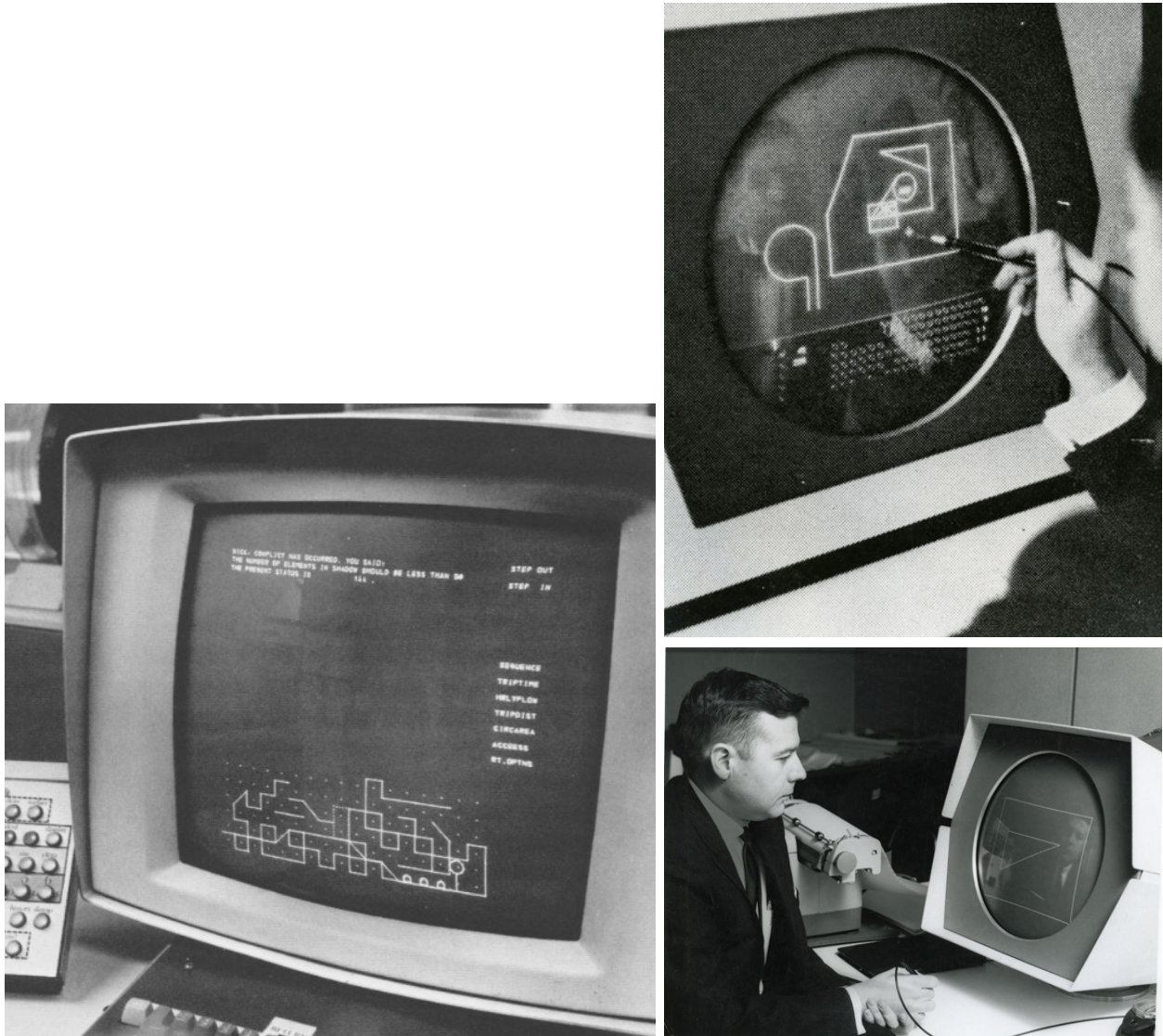
### *1.1 Le photocopieur xérographique*

L'apparition de la première machine analogique dans les bureaux d'architecture au cours des années 70/80 fut le photocopieur couleur xérographique, développé par la société Xerox. Ce nouvel équipement pourrait être considéré comme la première interface tangible qui inaugure – avant l'heure – les mutations dans les méthodes de conception. À cette époque, les architectes n'ont pas encore renoncé à l'odeur de l'encre, à l'imprécision empirique du dessin manuel, à la grande table à dessin, à la texture du calque dont les traits s'effacent en les grattant à la lame de rasoir. Cependant, pour faciliter leurs tâches, ils utilisent différents outils d'« aide au dessin », ou d'« aide à la conception », qui améliorent la dextérité graphique. Ces outils qui permettent d'exprimer des géométries complexes ou de reproduire des figures graphiques sont les normograpes, les trames et les illustrations autocollantes, les grilles à lettres, à ronds, à motifs, les pistolets à courbes (**fig.3**). Cet ensemble forme une grammaire plastique et narrative, offrant déjà de multiples combinaisons pour l'architecte qui sait la maîtriser et jouer librement avec elle. L'architecte va abandonner



(fig. 3) Lettera T, 1935  
Bruno Munari, *Magazine Compo Grafico*  
Technique mixte, collage papier.





**(fig. 4) Digital Equipment Corporation (DEC); PDP-1 (Computer, 1962)**

User interacting with an early Computer Aided Design (CAD) program running on a PDP-1 computer

«This is a black and white image of a man using a light pen with his right hand on the PDP-1 monitor screen drawing shapes on the screen using a program called Sketchpad. The display screen shows a graphic representation of a several shapes and sizes. The man is dressed in a suit and is looking away from the camera. Written on verso side in pencil is «963».»

peu à peu cette palette d'outils qui sera remplacée par le photocopieur, une machine qui introduit l'automatisation des procédés de reproduction iconographiques. Dans le domaine de la représentation architecturale, le photocopieur s'affirme en quelque sorte comme le précurseur de l'ordinateur, car il crée une première brèche dans la conception architecturale. Brèche qui sera ensuite fertilisée par l'introduction des outils informatiques, et qui servira de modèle pour le développement des interfaces et des logiciels dans tous les domaines de la création visuelle. Le photocopieur va augmenter le panel des possibilités formelles. Il rendra possible l'invention de nouveaux langages iconographiques et narratifs, dans un processus d'échange immédiat entre le dessin « à la main » et sa reproduction automatisée. Le procédé rend désormais possibles tous les modes de représentation : les supports s'entremêlent et se complètent. Les photos « scalables »<sup>(9)</sup> des maquettes peuvent être insérées dans les dessins. Ces derniers sont dorénavant implémentés de multiples matières, mélangeant le réalisme photographique à l'imaginaire pictural. Les maquettes changent de couleurs, de textures et s'illustrent de nouvelles narrations plus expressives. Variations, changements d'échelles, implémentations, reproductions, rétroactions entrent dans le processus de conception et donnent naissance à d'autres modes de représentations polymorphiques, riches d'inventions, qui n'hésitent pas à aller chercher du côté de l'art contemporain, du graphisme, de la photographie, du cinéma, ou de la publicité pour se frayer leur propre territoire. Les représentations sont dès lors multifformes, transcendées par les influences des autres disciplines. L'architecture s'avance dans l'ère de la communication transmédia, donnant un nouveau souffle à la culture architecturale, en rendant son discours plus accessible à l'ensemble de la communauté, et en la transportant au-delà de son rôle conventionnel.

## *1.2 Tensions et controverses autour de l'outil informatique dans le champ de l'architecture*

Parallèlement, les laboratoires universitaires d'architecture associés aux informaticiens, explorent les potentialités des ordinateurs. Encore trop lents et trop encombrants pour être réellement utiles dans la production architecturale, ils sont toutefois suffisamment prometteurs pour l'expérimentation. Les programmes y sont complexes et obligent les architectes-chercheurs à adopter la syntaxe des informaticiens. Ils élaborent les premiers dessins avec des codes en langage évolué<sup>(10)</sup>, qui génère des lignes et des assemblages d'objets géométriques primaires. Des représentations filaires

9 Qu'il est possible de mettre à l'échelle.

10 Pour exemple, citons le Fortran, un langage de programmation, développé par IBM vers 1955, et destiné à fournir aux scientifiques un moyen simple pour passer de leurs formules mathématiques, au programme effectif.

sont visibles sur l'écran après un lent processus de calcul informatique (**fig.4**). Cette synergie entre les architectes et les informaticiens permettra l'optimisation de l'usage de l'ordinateur en matière de puissance de calcul et de simplification des interfaces utilisateurs, tactiles et logiciels. Il s'agit alors de fournir un outil incontournable, capable de remplacer définitivement le dessin traditionnel et son langage formel, considéré comme trop limité. À terme, il sera remplacé par un processus de conception basé sur la programmation automatisée.

### 1.3 L'utilisateur, entre « GUI » et « TUI »

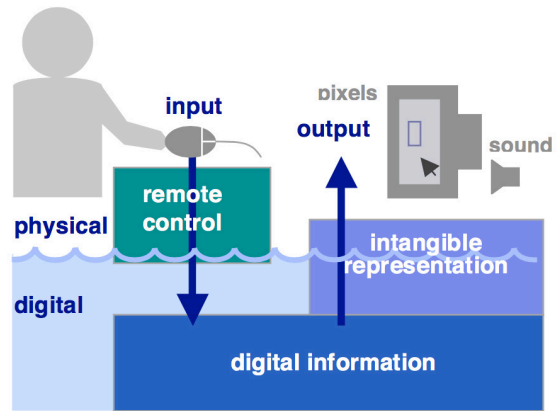
En remplaçant les outils de dessin manuels par des logiques d'agencements graphiques abstraits réduites en automatisme sténographique, les premières interfaces technologiques marquent une rupture dans la conception traditionnelle du projet d'architecture. Cette rupture a permis de canaliser les tensions et les enjeux touchant les premières adaptations qu'a imposés l'arrivée de l'informatique dans tous les milieux de la conception et de la création. Les architectes ont été les premiers à adopter les outils informatiques, entraînant de nombreuses interrogations sur la place traditionnellement accordée aux dessins, et plus largement à la représentation de l'espace architectural. Des questions se sont focalisées d'un côté sur l'élaboration des logiciels et des interfaces graphiques (GUI<sup>(11)</sup>) capables de reproduire les codes élémentaires de la représentation architecturale, mais aussi chargées de nouvelles potentialités d'écritures graphiques. Parallèlement, on a aussi développé les interfaces tactiles (TUI<sup>(12)</sup>) pour faciliter la maniabilité de l'interface graphique parce qu'il était essentiel de maintenir la pratique gestuelle dans le nouveau processus de conception. L'invention des GUI et des TUI<sup>(13)</sup> (**fig.5**) a été au cœur des débats et des investigations technologiques qui ont précédé l'arrivée de l'ordinateur personnel. La priorité était de faciliter, grâce à l'invention d'un langage visuel et d'une communication tactile, le passage des outils artisanaux manuels et mécaniques à ceux de la machine informatique, dotée d'une intelligence conviviale et humaine.

11 Graphical User Interface

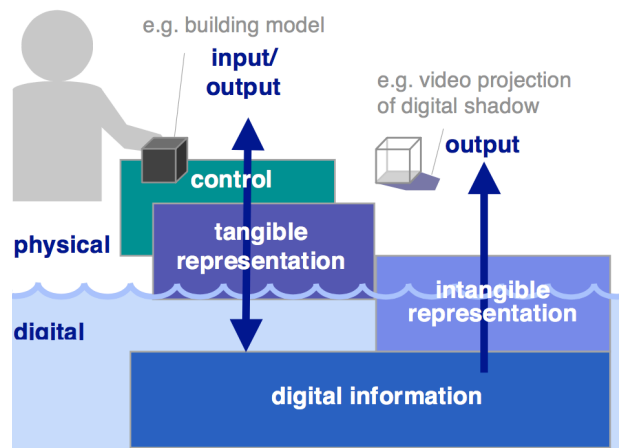
12 Tangible User Interface

13 "In 1997, Hiroshi Ishii & Brygg Ulmer presented their vision of "[Tangible Bits](#)" at the CHI '97 conference. They proposed the concept of a Tangible User Interface (TUI), based on the physical embodiment of digital information and computation, in order to transcend the current dominant paradigm of "Painted Bits" or Graphical User Interfaces (GUI). Humans have evolved a heightened ability to sense and manipulate the physical world, yet the GUI based on intangible pixels takes little advantage of this capacity. The TUI builds upon our natural dexterity by embodying digital information in physical space. TUIs expand the affordances of physical objects, surfaces, and spaces so they can support direct engagement with the digital world." MIT MediaLab. (s. d.). Tangible Media Group. Tangible Media Group -MIT MediaLab. Consulté 23/11/2016, <https://tangible.media.mit.edu/vision>

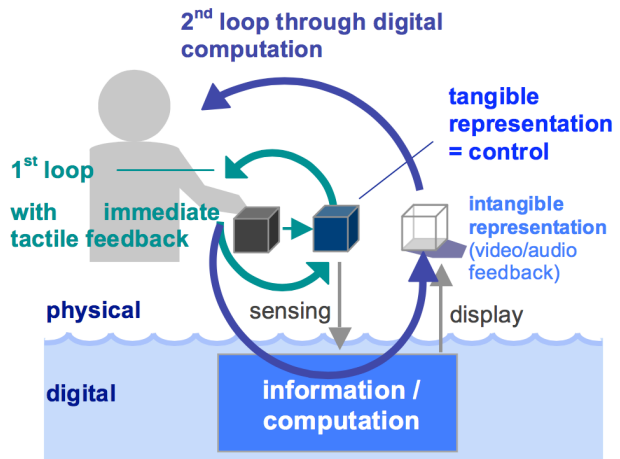
Graphical User Interface. GUI represents information with intangible pixels on a bit-mapped display and sound. General-purpose input devices allow users to control those representations.



Tangible User Interface. By giving tangible (physical) representation to the digital information, TUI makes information directly graspable and manipulable with haptic feedback. Intangible representation may complement tangible representation by synchronizing with it.



TUI's Double feedback Loops. TUI provides two feedback loop: 1/First immediate tactile feedback, and 2/ Second feedback through digital processing with possible delay.



(fig. 5) Graphical User Interface & Tangible User Interface, 2008  
Hiroshi Ishii, MIT

## 1.4 L'architecte « artisan » ou le transfert d'une culture à une autre

Ainsi l'évolution des pratiques se façonne dans deux directions. L'une se rattache à la figure de l'architecte comme artisan qui exerce un art mécanique ou manuel qui maîtrise des techniques, en même temps qu'une certaine dextérité plastique qu'il sait mettre au service de sa culture et de sa sensibilité créative. L'autre est liée à l'émergence de l'intelligence artificielle capable d'assimiler les anciennes techniques et de reproduire l'art du geste en résonance avec le savoir-faire et le savoir penser de l'utilisateur. À ce propos, Simondon écrit en 1958, dans « *Du mode d'existence des objets techniques* » :

*« Pour que nous puissions aujourd'hui comprendre, utiliser, humaniser la machine, il faut commencer par les métiers de l'artisan à la fois anciens et modernes, car ils montrent avec une profondeur de résonance comparable à la compréhension de l'intersubjectivité, l'image de toute une vie de dialogue entre soi et l'autre »<sup>(14)</sup>.*

D'un côté, les architectes doivent s'adapter à un nouvel environnement en laissant derrière eux les outils, les formes et les représentations devenus obsolètes, pour adopter un nouveau langage d'expression et de formalisation graphique et plastique. D'un autre côté, on « règle » la nouvelle machine en la rendant plus humaine, en se référant aux anciennes pratiques pour élaborer ses interfaces qui doivent garantir le maintien, au sein du processus créatif, de la même plasticité manuelle et intellectuelle. On peut lire dans la préface de « *Du mode d'existence des objets techniques* »<sup>(15)</sup> par John Hart<sup>(16)</sup> :

*« La créativité dans le domaine de la technologie est rétrécissant si elle n'est pas liée à d'autres aspirations humaines. Les objets techniques aliènent s'ils ne sont pas en quelques sortes baptisés, c'est-à-dire s'ils ne répondent pas à des intentions correspondant au niveau contemporain de la plus grande espérance humaine. C'est la valeur qui donne à la créativité technique sa fluidité, sa transcendance en matière de communication, ajoutant à l'honneur la qualité essentielle du don. »*

C'est exactement dans cet interstice fragile, incertain et clivant<sup>(17)</sup> que sont inventés les nouveaux objets qui permettront aux utilisateurs de s'adapter aux technologies numériques par le transfert d'une culture à une autre.

14 Simondon, G., Hart, J., & Deforge, Y. Op.cit. 127

15 Simondon, G., Hart, J., & Deforge, Y. Op.cit. 4-6

16 John Hart, Professeur, Department of Computer Science, University of Illinois, Urbana-Champaign.

17 Que Simondon nomme justement le couplage homme-machine dans le chapitre « Problèmes actuels », Simondon, G., Hart, J., & Deforge, Y. Op.cit.120-142



## 1.5 Le dessin assisté par ordinateur (CAD, CAAD, DAO ...)

Ainsi pour accompagner progressivement les métiers de l'architecture vers le vaste chantier qui s'engage avec l'arrivée de l'informatique, une nouvelle famille d'outils « individuels » d'aide dialectique, s'impose dans le vocabulaire architectural. Ces outils se divisent en deux catégories qui correspondent aux divergences se formant au sein de la discipline architecturale, entre technophiles et technophobes. Les outils de la première catégorie servent à communiquer visuellement avec la machine. Ils se nomment CAD ou CAAD (Computer aid Architectural design, Computer Aid Design, etc.). Il s'agit d'interfaces graphiques (GUI), programmées pour permettre aux concepteurs de s'approprier plus facilement la machine, mais aussi d'envisager un niveau plus élevé de complexité formelle, esthétique, voire fonctionnelle pour de nouvelles performances. La deuxième catégorie d'outils concerne la communication tactile entre l'utilisateur et la machine. Elle se matérialise par un prolongement « prothétique » du corps de l'utilisateur, qui lui permet d'entrer en relation avec la machine : les gestes sont proches de ceux que convoque le dessin à la main. On parle des Interfaces Tangibles (TUI) pour nommer toute une gamme d'outils qui gravitent autour de l'objet le plus usité, la souris, qui a définitivement remplacé le crayon ou le stylo (**fig.6**). Les deux catégories se rejoignent pour former la famille des interfaces utilisateurs. Les GUI et les TUI se côtoient et se perfectionnent mutuellement pendant les premières décennies de l'ère de l'informatique.

## 1.6 La disparition des TUI dans la conception architecturale

Au cours des années 80, les ordinateurs personnels et les logiciels d'aide au dessin remplaceront définitivement les tables d'architectes à dessin et tout l'équipement d'aide au dessin qui l'accompagnait. L'intégration progressive du numérique dans le champ architectural va modifier en profondeur tous les aspects de la production des agences d'architecture, tant culturelle qu'économique, c'est-à-dire les savoir-faire et les modes d'exercice professionnels. Au fur et à mesure que s'affirmera la dimension technologique de la création architecturale, sa part manuelle et artisanale qui était la « valeur ajoutée » esthétique et conceptuelle de tout un pan de sa culture, s'en trouve peu à peu dévalorisée. La figure de l'architecte, avec son génie et sa vie de bohème, avec ses outils et son carnet de croquis apparaît peu à peu comme une posture désuète. Dans le même temps, la plupart des architectes trouvent dans la machine informatique un formidable instrument de productivité et d'efficacité : rapidité de traitement des plans, gain de place (un moniteur occupe le quart d'une table à dessin), reproductibilité, archivage... et une opportunité entrepreneuriale qui les rapprochent



*(fig. 6) The Engelbart mouse, «Computer-Aided Display Control», 1964*

**Douglas Engelbart, Bill English**

*La première souris d'ordinateur inventé par Douglas Engelbart ingénieur américain et chercheur à l'Augmentation Research Center (ARC).*



des milieux industriels innovants et des spécialistes techniques émergentes (BTP, ingénieurs...).

Ainsi le développement économique des interfaces graphiques (GUI), qui s'intéressera en priorité aux caractéristiques de performance de l'informatique, est fulgurant. Inversement, celui des interfaces tactiles (TUI) ne prendra pas son essor dans une profession qui délaisse les valeurs plus sensibles et intuitives que ces artefacts cherchaient à faire perdurer. Plusieurs décennies plus tard, l'informatique de conception s'est exclusivement développée dans le domaine du logiciel, devenue de plus en plus performante grâce à l'évolution de la puissance de calcul et la capacité de stockage. Le champ de l'architecture reste aux mains des architectes qui possèdent l'expertise professionnelle pour traduire avec succès les besoins des tiers. Cette spécialisation disciplinaire est encore accentuée par la sophistication croissante des interfaces graphiques, rendant le processus de conception architecturale de plus en plus inaccessible aux non experts.

*CHAPITRE 2 :*

## Architecture participative et outils numériques.

Comme on l'a vu précédemment, l'introduction de l'informatique dans les agences d'architecture crée à ses débuts un débat critique opposant plusieurs clans au sein de la communauté des architectes. Les « technophiles » voient dans l'outil informatique une extraordinaire opportunité d'amélioration des modes de conception par rapport aux pratiques traditionnelles. La technologie est intégrée comme un nouveau moyen de reléguer à la « machine » l'exécution des tâches longues, laborieuses et répétitives, laissant aux architectes plus de temps au travail de création, en les propulsant en même temps vers une nouvelle économie industrielle. Les « technophobes », à l'inverse, sont radicalement opposés à l'invasion de l'informatique. Ils considèrent l'outil comme un frein qui risquerait de handicaper leur imaginaire : celui qui prend sa source dans l'expression directe de l'esprit et dans la poésie du dessin manuel, incompatible avec les contingences technologiques.

Mais entre les technophiles et les technophobes, une autre communauté d'architectes considère que l'informatique et ses équipements vont participer au renouvellement salutaire de leur statut dans la société, en l'ouvrant vers d'autres territoires ou professions. Avec l'invention d'un langage commun entre des disciplines et des acteurs d'horizons différents qui pourront désormais communiquer ensemble, la « machine informatique » s'impose dans l'imaginaire collectif comme un instrument d'émancipation et d'invention de nouveaux concepts.

Même si l'accès opérationnel à cette machine puissante est encore quasiment réservé aux pouvoirs politiques, à l'armée ou à quelques élites industrielles, architectes et chercheurs prospectent déjà sur ce formidable outil qui va certainement révolution-

ner les manières de faire un projet, en particulier le « face à face » traditionnel entre l'architecte et son client (**fig.7**).

## 2.1 Contexte social et politique : la machine comme instrument de libération des usagers

La rencontre entre l'informatique et l'architecture commence au cours des années 1960 dans un contexte politique de contestation des pouvoirs installés, de la consommation de masse, et du capitalisme autoritaire. Pour le philosophe et politologue Ivan Illich, l'introduction de l'outil informatique dans la société est une nouvelle condition sociale : il doit être convivial et non pas réservé exclusivement aux experts et à la production industrielle<sup>(18)</sup> :

*« J'entends par convivialité l'inverse de la production industrielle. Chacun de nous se définit par relation à autrui et au milieu et par la structure profonde des outils qu'il utilise. Ces outils peuvent se ranger en une série continue avec, aux deux extrêmes, l'outil dominant et l'outil convivial. [...] J'appelle société conviviale une société où l'outil moderne est au service de la personne intégrée à la collectivité, et non au service d'un corps de spécialiste. Conviviale est la société où l'homme contrôle l'outil. [...] L'outil est convivial dans la mesure où chacun peut l'utiliser, sans difficulté, aussi souvent, ou aussi rarement qu'il le désire, à des fins qu'il détermine lui-même. L'usage que chacun en fait n'empiète pas sur la liberté d'autrui d'en faire autant. Personne n'a besoin d'un diplôme pour avoir le droit de s'en servir ; on peut le prendre ou non. Entre l'homme et le monde, il est conducteur de sens, traducteur d'intentionnalité. »*

À cette époque on imagine les premières interfaces hommes-machines. On spéculé sur l'avenir des nouveaux outils qui changeront en profondeur les savoir-faire architecturaux et les modalités de représentation et qui vont se déployer dans le sillon des théories de l'information et de la communication. Les interfaces, encore peu accessibles en raison de leur complexité, ne peuvent pas être utilisées pour « faciliter » la production architecturale dans sa phase de conception. Mais la vision illychienne induit par ricochet une forme d'admiration affranchie et désinhibée de la machine informatique. Cet élan laisse le champ ouvert à de nombreuses inventions, visant en particulier à repenser radicalement la figure autocentrée de l'architecte, celle qui exclut systématiquement le rôle de l'utilisateur comme acteur du projet. L'ordinateur n'est pas seulement perçu comme un outil de dessin au service de la productivité créative de l'architecte, mais aussi comme un générateur de processus de conception et de communication ouverts aux usagers<sup>(19)</sup>.

18 Illich, I. (1973). La Convivialité (1 éd.). Seuil. 13, 28, 45

19 « L'outil juste répond à trois exigences: il est générateur d'efficacité sans dégrader l'autonomie personnelle, il ne suscite ni esclaves ni maîtres, il élargit le rayon d'action personnel ». Illich Y., op. cit. 27



*(fig. 7) Wang 3300 Basic Computer, 1971  
Rick Bensene et Philip Hankins  
Système informatique multi-utilisateur*

## *2.2 La conception participative assistée par ordinateur et l'apprentissage de l'utilisateur non expert*

La conception assistée par l'ordinateur (CAO, CAD...) s'affirme progressivement comme un moyen d'encourager l'usager à exprimer ses désirs sans la médiation irréversible de l'architecte. L'usager peut désormais avoir la main sur la représentation architecturale, traditionnellement savante et codifiée. L'introduction de l'informatique dans la conception architecturale peut servir les enjeux de l'architecture participative. Il s'agit de transmettre la culture du projet de l'expert au non-expert, par un dialogue coopératif dans lequel l'architecte et l'usager partagent à égalité un médium commun incarné par l'ordinateur. Les hypothèses iront jusqu'au concept d'autonomisation des utilisateurs par l'intermédiaire de l'ordinateur (ou autoconstruction), processus au sein duquel l'architecte deviendrait distant, ou bien disparaîtrait radicalement<sup>(20)</sup>.

Ainsi, parallèlement à la montée en puissance de l'informatique, et du développement des logiciels d'aide au dessin destinés aux architectes (Computer Aids Design), on assiste à l'émergence, dans certains milieux universitaires, de la conception participative assistée par ordinateur (Computer Aids to Participary Architecture) visant le développement de l'outil informatique « orienté utilisateur », c'est-à-dire donnant la possibilité à l'utilisateur non expert de formuler ses besoins avec les mêmes codes de représentation que ceux des architectes. Ainsi, les recherches sont d'abord initiées dans les milieux universitaires, qui deviennent des plaques tournantes multidisciplinaires pour les chercheurs souhaitant mettre en application leurs théories sur la démocratisation de l'informatique et des outils de conception. Tous ces chercheurs sont motivés par la même conviction : ancrer la technosphère dans la liberté de création, dans la culture populaire, et lutter contre les risques d'une fracture sociale que pourrait engendrer l'arrivée massive des outils informatisés pour les plus favorisés. Cela passe d'abord par l'enjeu de l'accessibilité et de l'apprentissage. Dans les principes de bases du Computer Aids to Participary Architecture, l'utilisateur, quel qu'il soit, doit apprendre à maîtriser la technologie pour pouvoir s'en servir librement selon ses besoins. La machine doit donc être suffisamment simple d'accès pour une utilisation évidente et « spontanée ».

---

20 Comme par exemple le concept de l'auto-planificateur ou le « Flatwriter » de Yona Friedman, réadapté au MIT, sous la forme d'un programme logiciel appelé « YONA » en 1971.

### *2.3 Le développement des premières interfaces tangibles (GUI) utilisateurs dans le domaine de l'intelligence artificielle.*

La notion d'interface tangible est alors au cœur des recherches. Celles-ci concernent tous les champs disciplinaires, et provoquent en même temps leurs décloisonnements. Pour l'intelligence artificielle et l'informatique, comme pour l'architecture, « l'utilisateur non-expert », qu'il soit enfant ou adulte, est au centre des préoccupations. Celui-ci doit maîtriser la technologie avant que cette dernière ne le contrôle. Il doit non seulement accéder à l'intelligence de la machine, mais aussi, grâce à son aide, accéder plus rapidement à la culture et à la connaissance dans les domaines qui lui étaient auparavant inaccessibles. Il s'agit donc d'inventer la forme, la matérialité, la fonctionnalité des objets kinesthésiques qui lui permettront d'entrer naturellement en symbiose avec la machine, dotée d'une empathie conviviale selon Illich. Celle-ci permettra d'accélérer l'apprentissage et les capacités d'adaptation des utilisateurs.

### *2.4 La pensée computationnelle et l'apprentissage.*

La pensée computationnelle, initiée par Seymour Papert, est une théorie qui vise notamment à analyser et comprendre le comportement humain en s'appuyant sur les concepts fondamentaux de l'informatique. On introduit la « pensée computationnelle » au service du savoir pour définir l'ensemble des artefacts qu'il faut développer pour permettre à « l'utilisateur apprenant » de mobiliser la compétence ou la capacité de la machine. Ainsi que le rappelle Augustin Freinet<sup>(21)</sup>, on explore, à travers la notion d'interface homme-machine, le potentiel pédagogique et didactique de l'informatique, notamment pour l'enseignement et l'apprentissage des disciplines scolaires :

*Le véritable intérêt des machines à enseigner n'est point dans les astuces mécaniques que n'importe quel esprit inventif peut imaginer et compliquer à loisir et qui ont cependant, il faut le reconnaître, un attrait croissant pour les enfants. Le véritable intérêt c'est l'innovation pédagogique qu'elles supposent et comportent et qui, servie par des mécaniques adéquates, est en passe de modifier profondément les processus et le rendement scolaires.<sup>(22)</sup>*

On parle alors d'interaction tangible pour identifier communément l'ensemble des dispositifs matériels permettant une continuité sensorielle et corporelle entre l'utilisateur et la machine, lui garantissant le maintien de ses capacités cognitives et de son habileté tactile.

---

21 Célestin Freinet

22 Freinet, C. (1964). Bandes enseignantes et programmation. Bibliothèque de l'École moderne C.E.L. 24

## 2.5 Les premiers TUI de l'avant-garde architecturale et les anti-architectes.

On peut ainsi considérer que l'émergence des Computer Aids to Participary a été le moteur des premières recherches sur les interfaces tangibles (TUI). Dans les disciplines de l'architecture, les protagonistes, comme Nicholas Negroponte, Christopher Alexander, John Frazer, Georges Stiny, Yona Friedman entre autres, puisent dans toutes les disciplines scientifiques computationnelles pour élaborer leurs propres théories - citons notamment la cybernétique, l'intelligence artificielle, la théorie des graphes, les sciences du langage, la psychologie cognitive et comportementale. Leurs travaux expérimentaux, volontairement « anti-architecte », remettent en question la figure paternaliste de l'architecte. Leur posture qui s'affranchit face à la culture de leurs pairs repousse les limites de la pratique architecturale. Elles influencent non seulement leurs propres champs, mais aussi d'autres communautés scientifiques, en particulier dans le secteur émergent des médias numériques. Leurs travaux préliminaires ont, pour la plupart, d'abord été expérimentés au sein du IA Lab du MIT<sup>(23)</sup>, où l'on invente les premières interfaces homme-machine. Ces mêmes travaux ont été ensuite à l'origine de la création par l'architecte Nicholas Negroponte<sup>(24)</sup>, du MIT Medialab en 1985, le plus célèbre laboratoire de recherche dans le domaine des médias éducatifs et ludiques des dernières décennies<sup>(25)</sup>. On peut donc considérer que l'invention des *Computer Aids to Participary Architecture* par ces anti-architectes de l'avant-garde computationnelle, a fourni le substrat de l'invention des interfaces tangibles (TUI) dans les domaines des médias vidéoludiques<sup>(26)</sup>.

Le constat rétrospectif que fait Nicholas Negroponte met l'accent sur l'importance de la compréhension du processus conceptuel élaboré avec des dessins faits à la main pour concevoir des interfaces capables de prendre en compte la complexité de la démarche de conception :

*À cette époque, j'en suis venu à penser que l'aisance avec laquelle l'utilisateur pouvait exprimer ses idées graphiques était plus importante que la capacité de la machine de rendre ces idées réalisables*

23 Le laboratoire d'Intelligence Artificielle du Massachusetts Institute of Technology ( AI lab- MIT), est un institut de recherche universitaire spécialisé dans les sciences de l'informatique et des interfaces homme-machines. Il est dirigé par le chercheur en sciences cognitives Marvin Minsky et le mathématicien Seymour Papert à partir des années 1960.

24 Nicolas Negroponte, architecte et chercheur dans le domaine de l'intelligence artificielle a fondé en 1968 le MIT Architecture Machine Group qui développe des recherches expérimentales sur les interfaces homme-machine dans le domaine de la conception architectural, au sein du laboratoire d'intelligence artificielle du Massachusetts Institute of Technology ( AI lab- MIT), dirigé par le chercheur en sciences cognitives Marvin Minsky et le mathématicien Seymour Papert . En 1985, Negroponte fonde avec Jérôme B. Wiesner, le Laboratoire des médias du Massachusetts Institute of Technology (MIT Media Lab) . Il a aussi contribué à la création de la revue the Whole Hearth Catalog et Wired.

25 Turner, F. (2012). Aux sources de l'utopie numérique : De la contre-culture à la cyberculture. C&F Editions. 259

26 Labrune, J.-B. (2015, 22 novembre). MIT Media Lab. France Culture. <https://www.franceculture.fr/emissions/l-alphabet-numerique/mit-media-lab>



*[...] Pour une interface homme-ordinateur digne de ce nom, il fallait que l'ordinateur puisse comprendre les hésitations et les ambiguïtés typiques des premiers stades de tout processus de conception, par opposition aux présentations plus complètes et plus cohérentes des «rendus» finalisés. Le suivi en direct et en temps réel d'un dessin fait à la main m'a fourni un excellent domaine de recherche pour comprendre et transformer l'infographie en un média plus dynamique et plus expressif. Le concept clé de mon travail était de comprendre, «l'intention derrière le dessin».<sup>(27)</sup>*

Ce type de réflexion partagée avec d'autres pionniers a participé à la mise en place des interfaces tangibles.

---

27 Negro Ponte, N. (1995). La personnalité graphique. Dans L'Homme numérique Robert Laffont.132147

### CHAPITRE 3 :

## Les premières tentatives expérimentales

Les recherches qui visent à simplifier l'accès à l'outil informatique pour en diffuser largement l'utilisation, notamment par la mise au point d'interfaces tangibles, ont été initiées par quelques chercheurs qui produisirent des modèles conceptuels où la représentation architecturale par le moyen de l'outil informatique s'inscrit dans un processus complexe et interdisciplinaire pour répondre à divers enjeux, tant politiques que pédagogiques. Les initiateurs, dès le début des années soixante, travaillent au sein du MIT. Quelques autres figures poursuivent les expérimentations. Ce chapitre présente les plus emblématiques.

### *3.1 Expérimentations préliminaires au MIT*

Le laboratoire d'intelligence artificielle « AI LAB » du MIT, codirigé au début des années soixante par Seymour Papert, et Marvin Minsky, conduit dès le début des années soixante ses recherches tant théoriques que techniques en associant les différents champs disciplinaires. Dans les locaux du AI LAB, travaillent ensemble des spécialistes de différentes compétences, des scientifiques, des informaticiens, des ingénieurs en électronique, entourés d'architectes, de designers, de compositeurs, d'artistes. Animés par le métissage dynamisant des cultures, tous explorent les formes du dialogue entre l'homme et les technologies informatiques<sup>(28)</sup>. Certains s'intéressent à l'écriture textuelle, à la syntaxe formelle du dessin informatique, à l'ergonomie des interfaces visuelles, pendant que d'autres explorent la construction électronique des objets haptiques. Dans cette diversité, tous travaillent ensemble à l'intersection des deux fonctions de l'ordinateur où la construction graphique sur l'écran et la construction manuelle dans l'espace doivent être synchronisées instantanément dans un processus

---

28 Turner, F. (2012). Aux sources de l'utopie numérique : De la contre culture à la cyberculture. C&F Editions. 281

interactif qui doit rester intuitif. Nicholas Negroponte dans son ouvrage « *L'homme numérique* », rappelle l'importance des recherches effectuées dans ce domaine, les qualifiant même de big bang de l'infographie :

*En 1963, au MIT, Ivan Sutherland a fait exploser l'idée de l'informatique interactive avec sa thèse de doctorat intitulée Sketchpad (feuille de croquis). Sketchpad était un système de tracé de lignes en temps réel qui permettait à l'utilisateur de dialoguer directement avec l'écran de l'ordinateur au moyen d'un crayon optique. C'était un progrès d'une telle ampleur qu'il a fallu à certains d'entre nous une bonne dizaine d'années pour comprendre et mesurer son impact. Sketchpad introduisait de nombreux concepts nouveaux : l'infographie dynamique, la simulation visuelle, la résolution de contrainte, le pilotage au capteur optique, et un système de coordonnées virtuellement infinie, pour n'en citer que quelques-uns. Sketchpad a été le big bang de l'infographie. <sup>(29)</sup> (fig.8)*

Intuition, maniabilité, facilité, agilité sont les qualités prioritaires que l'on recherche alors pour définir les principes de conception participative assistée par l'ordinateur.

### 3.2 Les grammaires de formes et la simplification du langage de représentation de l'architecture.

De manière générale, la question des interfaces informatiques a changé la relation entre le dessin géométrique et l'architecture. La géométrie joue un rôle essentiel dans la nouvelle pensée informatique, car elle constitue la base de l'élaboration du langage formel qu'il faut pouvoir adapter à l'interface et au calcul programmatique. Des formes géométriques élémentaires, en plan ou en volume, composent la nouvelle syntaxe du dessin assisté par l'ordinateur. Dans son ouvrage « *l'architecture et l'ordinateur* » (1968), l'architecte Christopher Alexander annonce qu'un nouveau langage iconographique « élémentaire » de la « conception de l'architecture » doit être formalisé et organisé de manière spécifique, pour pouvoir être saisi et traité par la machine<sup>(30)</sup> :

*A digital computer is, essentially, the same as a huge army of clerks, equipped with rule books, pencil and paper, all stupid and entirely without initiative, but able to follow exactly millions of precisely defined operations. In asking how the computer might be applied to architectural design, we must, therefore, ask ourselves what problems we know of in design that could be solved by such an army of clerks. At the moment there are very few such problems.*

29 Negroponte, N. (1995). *L'Homme numérique* (French Edition). Robert Laffont.132

30 Alexander, C. (1964). A Much Asked Question about Computers and Design. Dans *Architecture and the Computer* (First Boston Architectural Conference éd., p. 4559). Architectural Review.

*Center Conference, December 5, Boston, Massachusetts, Boston : Boston Architectural Center, 52-56.*



Pour adapter le langage conceptuel de l'architecture aux opérations réalisables sur la machine<sup>(31)</sup>, Alexander propose une décomposition graphique des archétypes architecturaux qu'il traduit en un langage universel composé d'entités formelles, les « patterns ». Dans un livre manifeste co-écrit en 1977 avec Muray Silverstein, « *À Pattern Language : Towns, Buildings, Constructions* » (APL), Alexander présente une collection de 253 patterns (modèles) qui forment une grammaire générative<sup>(32)</sup>. Toutes les structures des villes, les bâtiments, les modes de construction, les espaces intérieurs et extérieurs peuvent être représentés par l'agencement de ces entités élémentaires définies par Alexander. « *À Pattern Language* » est en quelque sorte un guide pratique à l'usage des citoyens visant à donner des informations sur leur cadre de vie et un mode d'emploi encourageant en même temps l'autoconstruction ; une est une première tentative de méthode d'aide au dessin participatif au moyen d'une syntaxe formelle traitée par l'ordinateur. Son objectif cherche à libérer les citoyens, par un programme informatique, du rôle exclusif des architectes en tant que prescripteurs d'idées<sup>(33)</sup>. Autrement dit, le « pattern » unitaire d'Alexander est l'élément du langage à recomposer pour construire une nouvelle configuration ou séquence reliant une solution à un problème, dans un contexte particulier, grâce à la machine. **(fig.9)**

Au côté de Nicholas Negroponte, quelques architectes technophiles comme Georges Stiny, et Yona Friedman s'intéressent de près à cette future syntaxe géométrique et se penchent sur la translation des standards architecturaux en formes simplifiées. Ils sont désormais capables de générer de nouvelles modalités de représentation plus accessibles aux non-experts. Le nouveau langage qu'il faut désormais inventer constitue pour eux l'opportunité de construire une culture partagée, plus ténue et plus directe, entre les architectes et la société civile, une culture qui passe par l'élaboration d'outils de conception et de représentation destinés à transmettre le savoir-faire architectural à l'utilisateur.

### *3.3 Le modèle de Friedrich Fröbel : déclinaisons multiples d'une théorie vers des outils de conception.*

À cette époque, les premières tentatives d'élaboration d'une grammaire formelle générative s'inspirent des jeux de constructions géométriques du pédagogue et philosophe Friedrich Fröbel (1789- 1856) destinés à l'apprentissage du dessin. Ainsi se

31 « En utilisant le langage assembleur d'un IBM 7090 et la théorie des ensembles, il tente une décomposition hiérarchique des systèmes ». Quillien, J. (2007). Saisir l'insaisissable : Des « patterns » aux « séquences » dans l'œuvre de Christopher Alexander. *Environmental Architectural Phenomenology*, 18(1), <http://archive.mcxapc.org/docs/conseilscient/0701quillien.pdf>. 4

32 « À Pattern Language, est une collection de 253 patterns architecturaux utilisés à travers le monde et le temps, avec des règles pour les combiner et des conseils techniques pour obtenir de bons résultats. » Ibid, 21

33 « Selon lui, les architectes-rois sont nus. Ils se trouvent, sans vouloir le reconnaître, sous l'emprise de la cupidité, de l'arrogance, de l'égoïsme et d'un système éducatif qui déforme plus qu'il ne forme. » Ibid, 2

greffe à la théorie informatique et cybernétique, la théorie des formes graphiques et des solides de Fröbel. On peut la considérer d'ailleurs comme étant à l'origine de la conception générative et paramétrique dans le design et dans l'architecture.

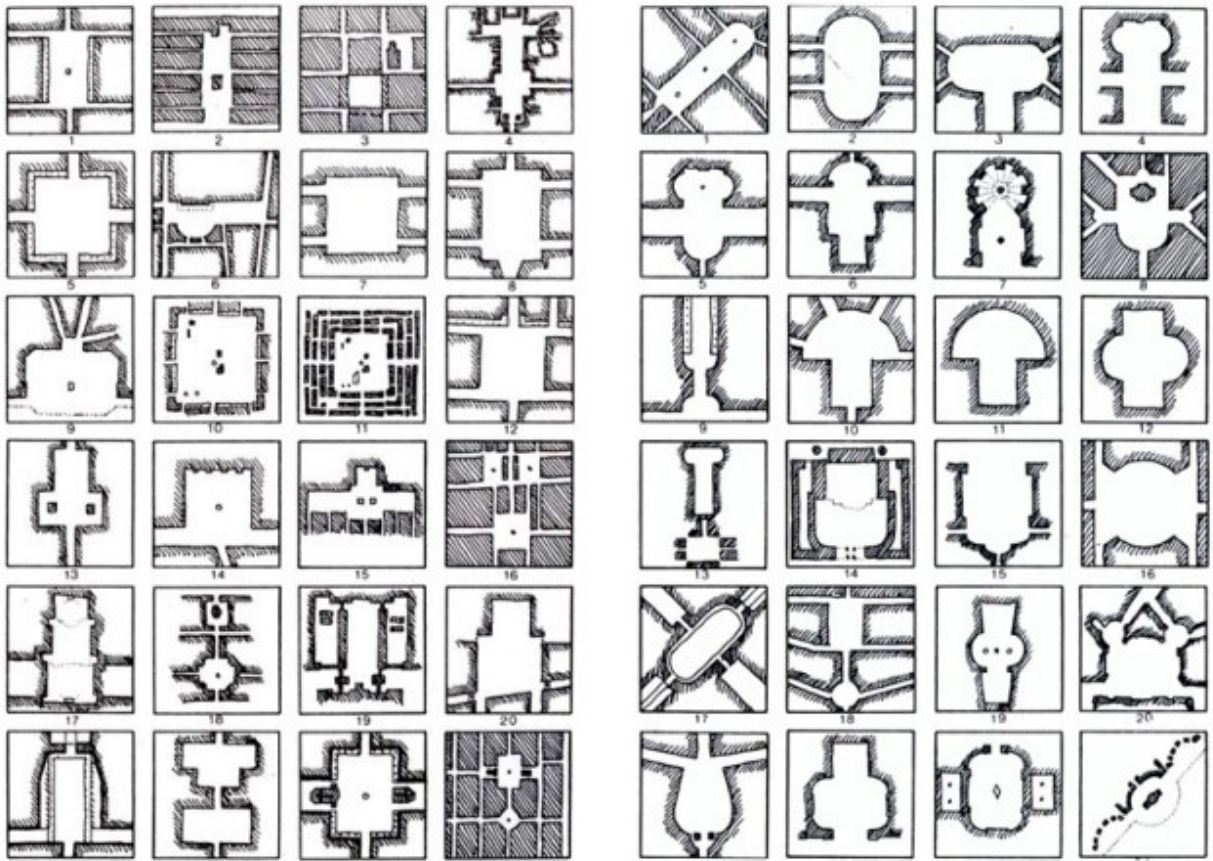
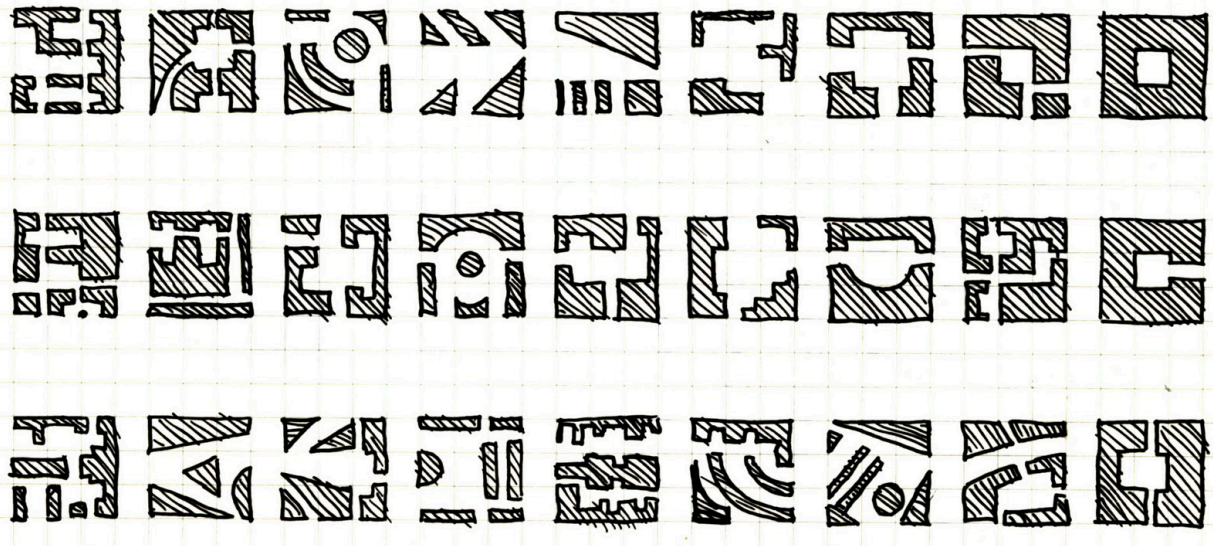
Disciple de Pestalozzi, fondateur de l'éducation moderne<sup>(34)</sup>, Fröbel conçoit à l'intention des jeunes enfants, des jeux éducatifs pour l'apprentissage physique et métaphysique de la nature. Le but est double : intellectuel et spirituel. Il se traduit en deux notions : unité (les formes géométriques, couleurs, matières) et interconnexions (les règles d'assemblages, de compositions et d'harmonie, liens...).

Dans les principes fondateurs de l'éducation moderne initiés au XVIIIe siècle par Fröbel, le dessin comme méthode d'acquisition des connaissances prend une place essentielle. Pour lui, le savoir humain se résume en trois principes élémentaires, par ordre d'importance : la forme, le nombre et la parole. Plaçant le dessin et la reconnaissance des formes au centre des apprentissages, il cherche à le simplifier pour que les jeunes enfants puissent acquérir facilement les règles de composition formelle. Pour cela Fröbel conçoit une méthode de composition géométrique, permettant aux enfants d'exprimer leurs idées, même s'ils ne savent pas encore dessiner. La méthode froebélienne repose sur l'invention des Dons (Gift/Spielgarten) matérialisés par plusieurs modules de jeux de construction composés d'objets mobiles (**fig.10, 11, 12,13,14,15**). Les Dons se présentent d'abord sous la forme de six coffrets cubiques en bois, chacun adapté à un niveau différent d'apprentissage, qui contiennent une palette d'objets géométriques de matières et de qualités plastiques différentes. Chaque famille d'objets d'un Don a sa propre fonction spécifique, mais les règles d'assemblages sont les mêmes d'un Don à l'autre. Chaque Don répond à une étape de l'apprentissage du dessin ou de la construction géométrique. Le processus débute par des combinaisons abstraites, et évolue vers des modes de composition plus figuratives et des applications pratiques.

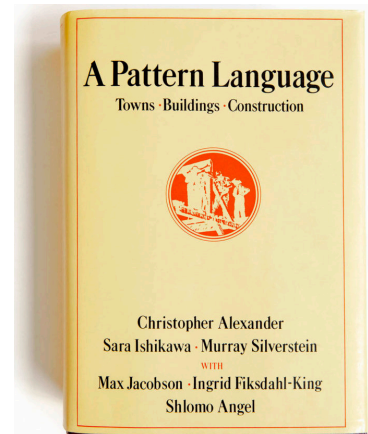
Le premier Don est le premier jouet de l'enfant : la balle. Sa forme ronde est la figure géométrique la plus élémentaire. Pour Fröbel elle est à l'origine de toutes les autres. Le second Don contient des cubes, des cylindres en bois et des sphères en mousse. Toutes les pièces sont de taille équivalente, mais leurs propriétés mécaniques sont opposées : les unes représentent le mouvement, la diversité, elles se déforment, s'étirent, sont creuses et instables ; les autres représentent la stabilité et l'unité, elles sont fixes et massives. Le troisième Don introduit la notion de division géométrique de l'espace avec un cube décomposé en huit cubes égaux. De la même manière, le quatrième Don propose un cube divisé en huit parallélépipèdes rectangulaires

34 Pestalozzi, J. H., (1746-1827), pédagogue rousseauiste, est considéré comme le père fondateur de la pédagogie moderne. Il a directement inspiré Friedrich Fröbel, John Dewey (1859 -1952), Rudolf Steiner, Ovide Decroly (1871-1932) Maria Montessori (1870-1952), Célestin Freinet (1896-1966), figures de proue de l'émergence des sciences de l'éducation qui ont permis l'éclosion de l'éducation nouvelle au cours du XXe siècle.





(fig. 9) A pattern Language, Towns, Buildings, Construction, 1975  
Christopher Alexander





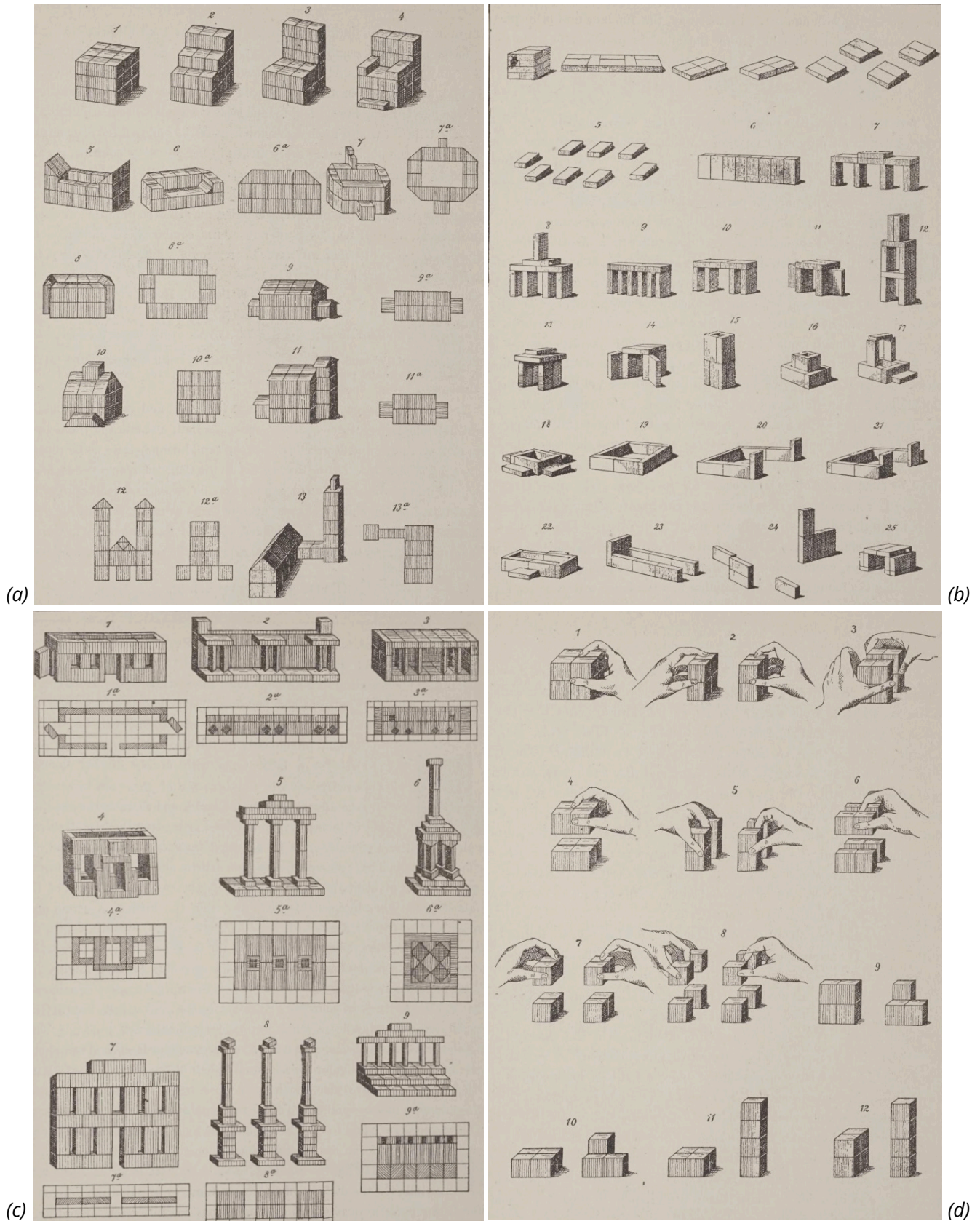


(fig. 10) Les dons de Fröbel, 1890  
Friedrich Fröbel



(fig. 11) Nventing KinderGarten —Les Dons, 1880  
Friedrich Fröbel



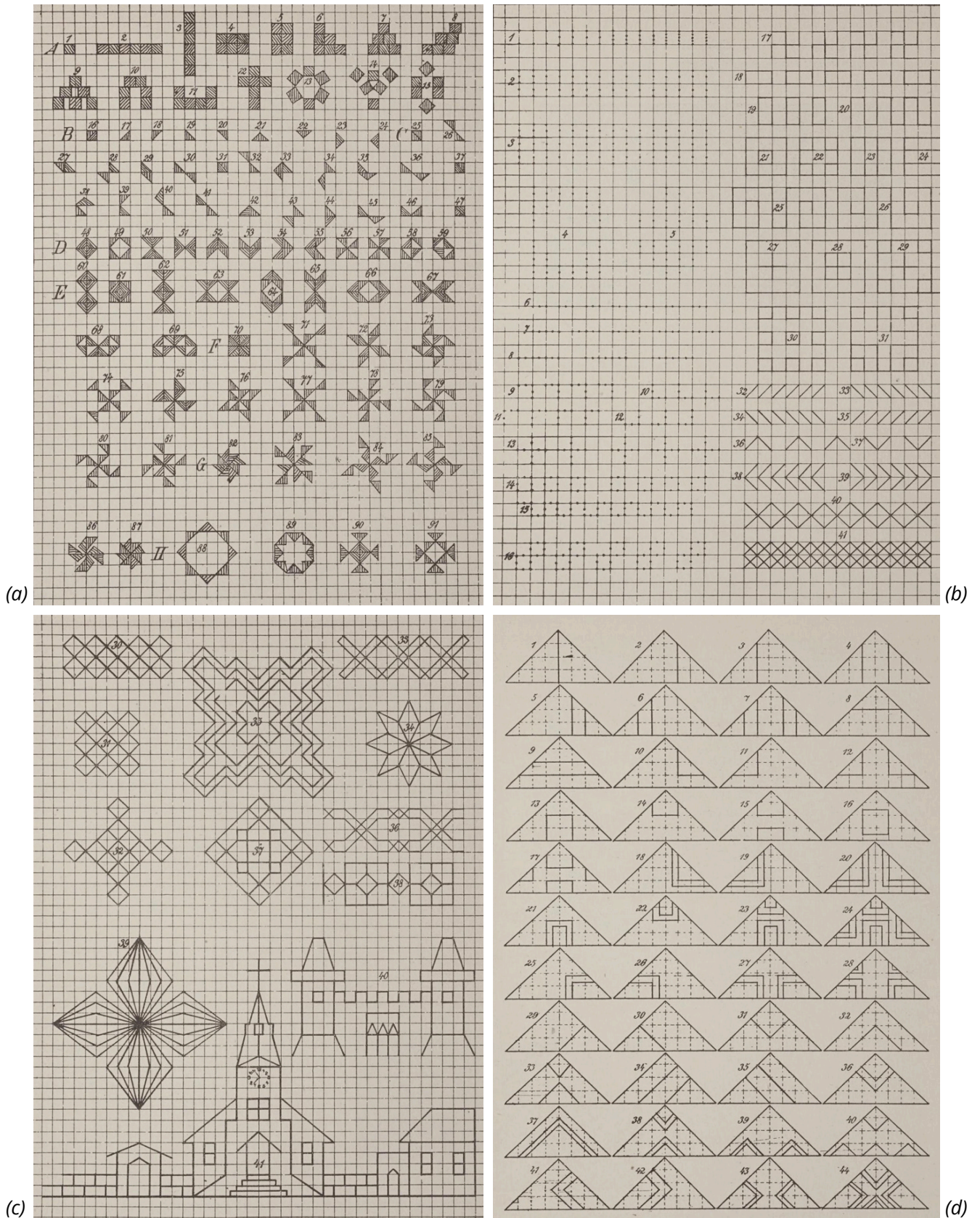


(fig. 12) Les dons de Fröbel, manuels d'utilisation, 1889

Friedrich Fröbel

- (a) Plate VI, The fifth gift,
- (b) Plate V, The fourth gift,
- (c) Plate VII, The sixth gift,
- (d) Plate IV, The third gift





(fig. 13) Les dons de Fröbel, manuels d'utilisation, 1889

Friedrich Fröbel

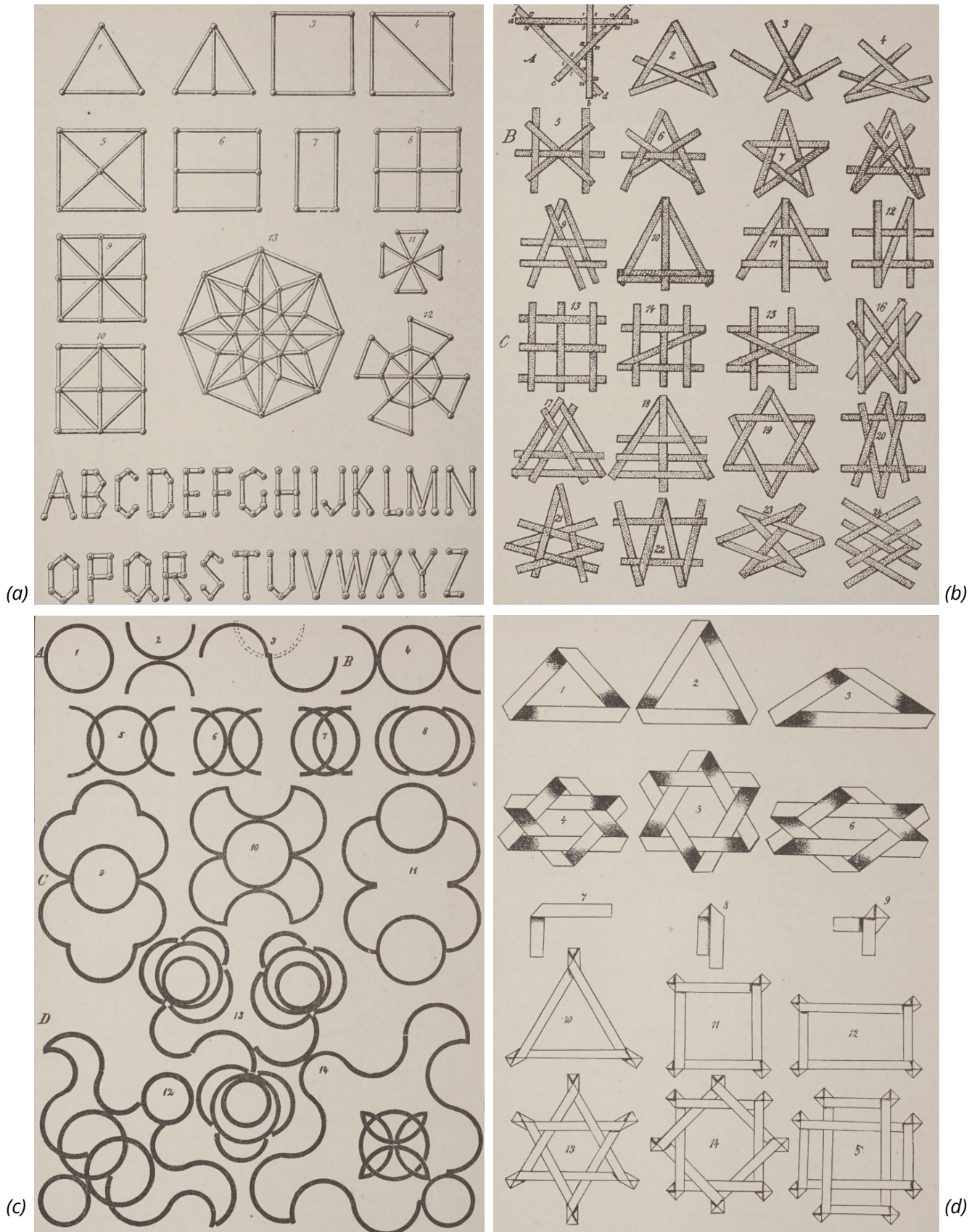
(a) Plate XIII, The eleventh and twelfth gift,

(b) Plate VII, The seventh gift,

(c) Plate XII, The Tenth gift,

(d) Plate XV, The thirteenth gift





(fig. 14) Les dons de Fröbel, manuels d'utilisation, 1889

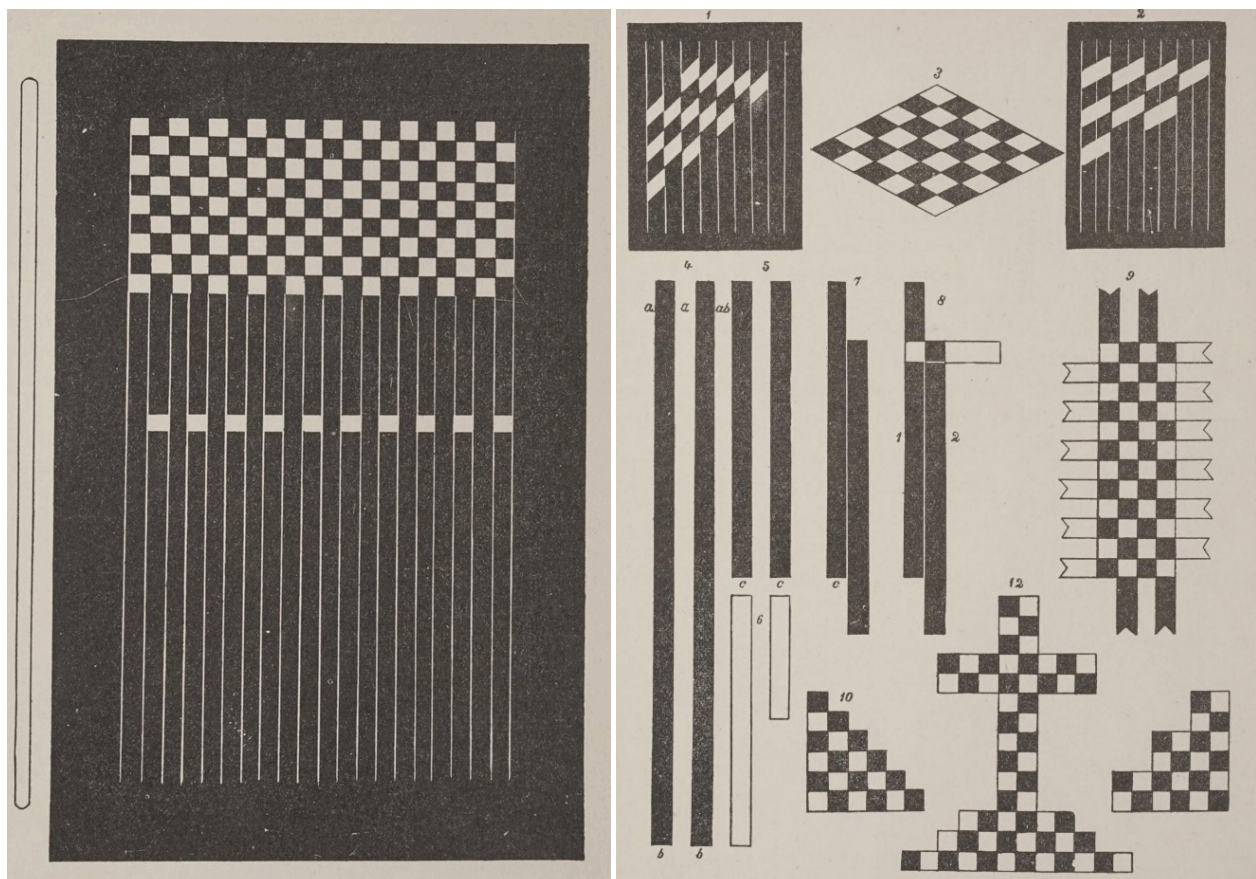
Friedrich Fröbel

(a) Plate XXI, The nineteenth gift,

(b) Plate XVIII, The fifteenth gift,

(c) Plate X, The ninth gift,

(d) Plate XIX, The seventeenth gift



(fig. 15) Les dons de Fröbel, manuels d'utilisation, 1889

Friedrich Fröbel

(a) Plate XVI, The fourteenth gift,

(b) Plate XVII, The fourteenth gift



s'apparentant à des briques « à bâtir ». Enfin, le cinquième Don est divisé deux fois dans chacune des dimensions, c'est à dire partagé en 27 cubes égaux ; 3 d'entre eux sont subdivisés en deux prismes, et trois autres en quatre prismes, au moyen d'une section oblique simple ou double. Fröbel ajoute à ces dispositifs un autre support qui permet d'ajuster les assemblages avec plus de précision : un plateau quadrillé sur lequel l'enfant peut organiser plus finement la disposition des objets en volumes. Ces derniers permettent à l'enfant de représenter avec une certaine rigueur toutes sortes d'objets ou d'espaces imaginaires de formes complexes. Ces outils développent le raisonnement spatial des enfants, ainsi que la vision simultanée en plan et en volume. C'est un moyen, comme en témoigne le manuel qui accompagne les Dons<sup>(35)</sup>, d'enseigner l'architecture aux enfants : les Dons de Fröbel sont les premiers outils de modélisation en trois dimensions d'édifices architecturaux ou de paysages urbains.

À ces premiers jeux qui constituent la partie originale du système Fröbel et qui illustrent sa conception particulière de la nature et de la géométrie, le pédagogue en ajoute successivement d'autres. Les autres Dons, plus perfectionnés, contiennent des tablettes et des tiges en bois, des connecteurs, des ficelles, des bandes de couleurs, avec lesquels les enfants exécutent des compositions plastiques, en plan ou en trois dimensions, en incorporant d'autres paramètres, comme la couleur et le mouvement (la déformation, l'étirement, la dilatation...). À ce sujet, citons la description du philosophe et pédagogue Ferdinand Buisson (1879, 1932) <sup>(36)</sup>:

*Dès le début, l'enfant a devant lui une table quadrillée. Les balles, puis les cubes, puis les petites lattes, le familiarisent avec les formes géométriques ; les laines, et les bandelettes de papier l'exercent à distinguer des couleurs. Ce qu'il a vu, il le reproduira naturellement. Pour guider ses premiers essais, il suffit de le faire débiter par des formes élémentaires. Il commence par voir des lignes concrètes et tangibles, pour ainsi dire, figurées par des bâtonnets ; il n'a d'abord qu'à poser et à juxtaposer de diverses façons les lattes ou les cubes pour obtenir des figures régulières. Bientôt il produit lui-même, en entrelaçant des bandes de papier, des mosaïques de petits carreaux de plusieurs couleurs. Quand enfin il prend le crayon en main, il lui est facile de représenter sur l'ardoise ou sur le cahier les combinaisons qu'il a obtenues avec ces bâtonnets, ces cubes, ces bandes de papiers, et grâce aux sollicitations de l'analogie, grâce au secours du quadrillage, qui le guide sans l'enchaîner, grâce à l'instinct naissant d'harmonie, et de symétrie que l'éducation froebélienne développe merveilleusement, il ne peut pas se borner à imiter, il invente presque aussitôt des combinaisons nouvelles de lignes dont l'ordonnance régulière le ravit et l'encourage sans cesse à de nouveaux efforts.*

Les influences du système Fröbel sont multiples. Elles perdurent durant le siècle suivant dans de nombreux domaines en relation avec l'éducation, l'industrie ludique, mais aussi dans l'art, le design, le graphisme et l'architecture. Nul doute que les inventions

35 Fröbel, F. (1860). *Manuel pratique des jardins d'enfants, à l'usage des institutrices et des mères de famille*. Hachette (L.) & Cie Librairie.

36 Buisson, F., Nora, P., Meirieu, P., & Dubois, P. (2017). Rapport sur l'instruction primaire à l'exposition universelle de Vienne. Dans *Dictionnaire de pédagogie* (p. 7895).



de Fröbel sont à l'origine des jouets éducatifs d'hier (**fig.16,17, 18**) et d'aujourd'hui (**fig. 19**), et qu'elles ont révolutionné le modèle éducatif (de Maria Montessori (**fig.20**), de Rudolf Steiner, de Freinet, Cuisenaire (**fig.21**). On sait aussi que les artistes du Bauhaus (Paul Klee, Vassili Kandinsky, Piet Mondrian...) ont utilisé les « Dons » pour créer le langage de l'art moderne et pour l'enseigner à leurs propres étudiants<sup>(37)</sup>, et que les architectes, les designers, les graphistes, comme Frank Lloyd Wright<sup>(38)</sup>, Le Corbusier<sup>(39)</sup>, Buckminster Fuller, Walter Gropius, Charles et Ray Eames, Takefumi Aida, Enzo Mari (**fig.22**), Wucius Wong (**fig.23**)... pour ne citer qu'eux, éduqué eux-mêmes à la méthode Fröbel, y ont trouvé un véritable outil de composition théorique et formelle.

Si le système Fröbel est bien le premier outil de modélisation tridimensionnelle pour l'architecture, on peut aisément en déduire qu'il a aussi servi de protocole méthodologique pour élaborer les premiers dispositifs de conception assistée par l'ordinateur. La grammaire formelle des jeux froebéliens fournit un modèle particulièrement efficace, qui peut être directement exploité pour reproduire les règles de décomposition architecturale à adapter à l'ordinateur. En outre, sa caractéristique ludique en fait un excellent support en matière d'éducation à l'architecture. C'est dans cette perspective que s'inscrivent les recherches de l'architecte George Stiny.

### *3.4 Le modèle Stiny : théories computationnelles et jeux froebéliens au service de l'enseignement de l'architecture*

L'une des premières théories computationnelles des formes a été développée à partir du système Fröbel par George Stiny<sup>(40)</sup> (UCLA, MIT Department of Architecture) , associé à James Gips<sup>(41)</sup> (UCLA), professeurs et théoriciens du design computationnel, dans les années 1970<sup>(42)</sup> . (**fig.24** )

37 Brosterman, N. (1997). *Inventing Kindergarten* (1st éd.). Harry N. Abrams.

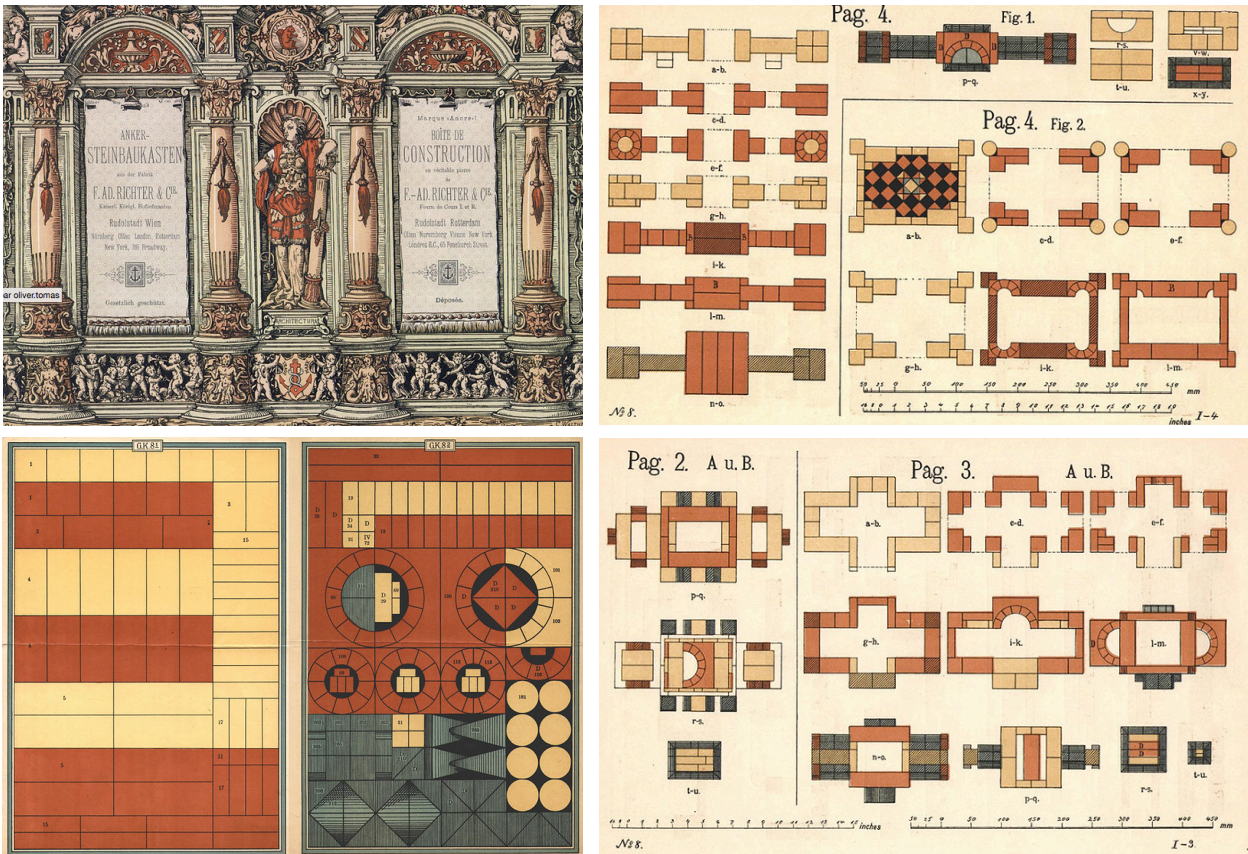
38 " In his 1957 book, "A Testament," he wrote " I sat at the little kindergarten table top and played with the cube, the sphere and the triangle. I soon became susceptible to constructive pattern evolving in everything I saw. I learned to see this way, and when I did, I did not care to draw casual incidentals of nature. I wanted to design". MacCormac, R. C. (1974). Fröbel's kindergarten gifts and the early work of Frank Lloyd Wright. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 1(1), 2950. <https://doi.org/10.1068/b010029>

39 Solitaire, M. (2016). *Au retour de La Chaux-de-Fonds - Le Corbusier-Fröbel (LEMARTEAU PARLE)*. WIKING.

40 Stiny, G. (1980). *Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape Grammars (Interdisciplinary Systems Research)* (1975e éd.). Birkhäuser.

41 Gips, J. (1980). *Shape Grammars and their Uses : Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics (Interdisciplinary Systems Research)* (1975e éd.). Birkhäuser.

42 Stiny, G. (1980). Kindergarten grammars : designing with Fröbel's building gifts. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 7(4), 409462. <https://doi.org/10.1068/b070409>



(fig. 16) Anchor Stone Building, 1880

**Premier set est un jeu de construction conçu par des architectes et des artistes.**

Anker Steinbaukasten (Anchor Stone Building sets) a été créé à partir de la méthode Fräbel, par les frères Otto et Gustav Lilienthal dans les années 1880. Ceux-ci se sont inspirés des briques de bois des Dons, et ont développé une proposition sous la forme de briques minérales, composée d'un mélange de sable quartzique, de craie et d'huile de lin. Cette alternative avait davantage d'être plus stables en raison du poids et de la précision des surfaces des pierres ; permettant ainsi d'élaborer des constructions plus complexes.

Adolf Richter, un riche homme d'affaires originaire du même village que Fräbel, Rudolstadt rachète le brevet et construit une usine pour la fabrication « Richter's Anker Steinbaukasten » à Rudolstadt. En même temps, un institut d'art est créé où des artistes, des illustrateurs et des architectes élaborent les plans de construction des ensembles de bâtiments d'Anchor Stone.





(fig. 17) Lego as a hobby, Lego System 13 et 14, 1960  
Kit de construction visible dans le Lego Ideas Book N° 1, publié en 1960.





(fig. 18) Denke mit Lego (Thinker with Lego), 1972

LEGO Educational and DACTA

Thinker with Lego est un jeu éducatif pour l'apprentissage des mathématiques modernes et de la théorie des ensembles à destination des enfants de l'école primaire.

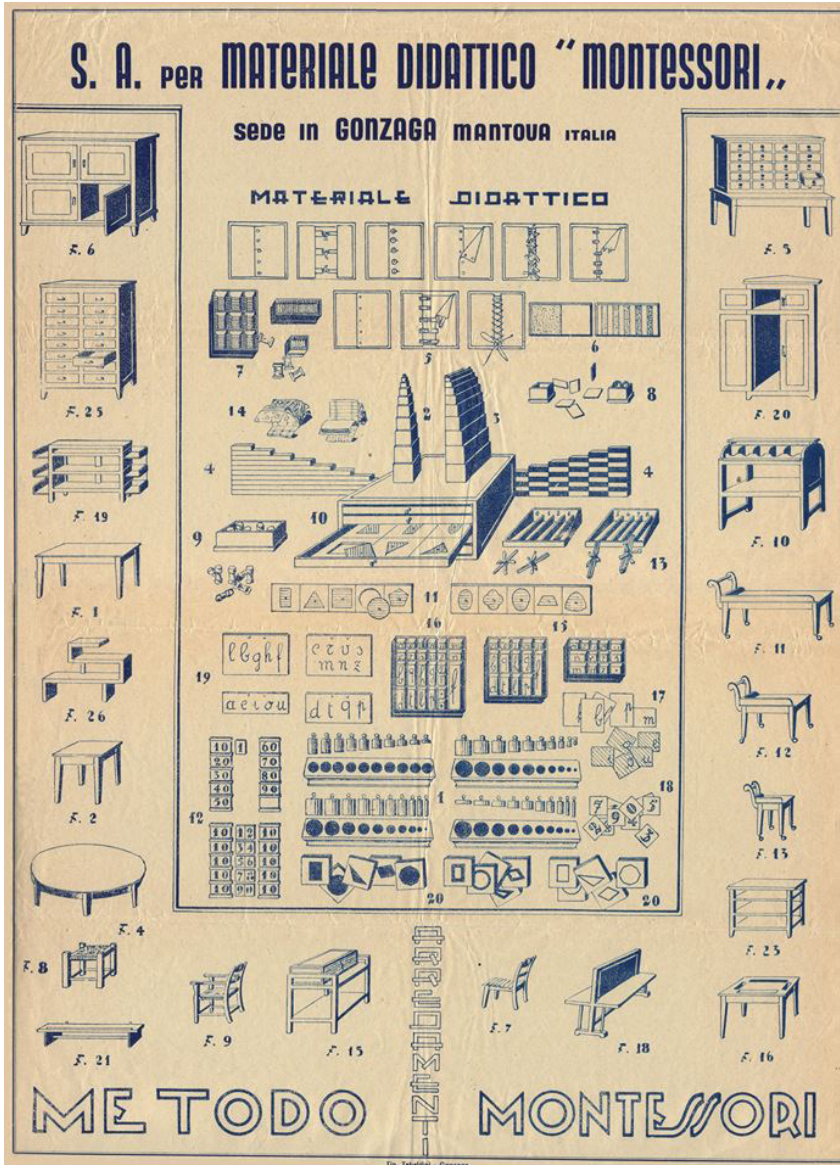


**(fig. 19) Form Becoming Feeling #1, #2, #3, after Frank Lloyd Wright engagement with Fröbel's Kindergarten Gifts, 2019**

**Zsofia Schweger, Artiste**

«My assemblage-paintings are painted wooden blocks, which, when assembled, form representations of interiors. The blocks may be handled and rearranged. This potentially interactive viewer experience is informed by Fröbel's kindergarten gifts, an early childhood education tool, of which I learned through Frank Lloyd Wright's work. I encountered Fröbel blocks for the first time at the Wright Home & Studio, where they were on display. Wright claimed that his childhood exposure to Fröbel blocks deeply influenced his approach to architecture, especially regarding geometric patterns and ornamentation. My assemblage-paintings attempt to de- and reconstruct my own compositions, potentially discovering new arrangements, patterns and meanings.»



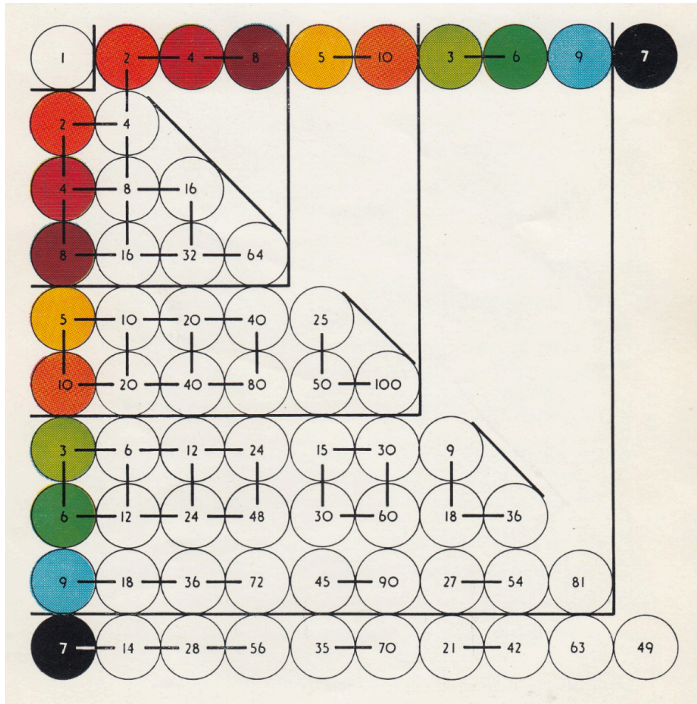


(fig. 20) Matériel pédagogique, 1907

**Maria Montessori, Éditeur Gonzagarredi**

Cette première édition du matériel Montessori a été réalisée par l'entreprise Gonzagarredi (à l'origine nommé « la Société Anonyme pour le Matériel Montessori ») dans le but de fournir des équipements pédagogiques innovants à la Maison des Enfants Carlo Guerrieri Gonzaga. Maria Guerrieri Gonzaga, la fondatrice de ce centre éducatif pour les enfants pauvres a été la première à soutenir les travaux de Maria Montessori.





(fig. 21) La méthode Cuisenaire, 1952

### Georges Cuisenaire

En 1952, le pédagogue Georges Cuisenaire, publie « Les nombres en couleurs : nouveau procédé de calcul par la méthode active applicable à tous les degrés de l'école primaire » (Tamines, Duculot-Roulin, 1952), un livret dans lequel l'auteur décrit une méthode d'enseignement de l'arithmétique élémentaire à d'un kit pédagogique inspiré du matériel pédagogique de Friedrich Fröbel et de Maria Montessori. Cuisenaire matérialise les nombres d'un à dix au moyen de tiges de longueurs correspondantes et de couleurs différentes, pour comprendre les concepts de base, tels que les opérations de base, les divisions, les multiplications, les fractions, le système décimal, les séquences arithmétiques et le calcul de la surface et du volume. Cette méthode se complexifie plus tard et intègre des outils pour l'apprentissage des mathématiques modernes et de la théorie des ensembles.

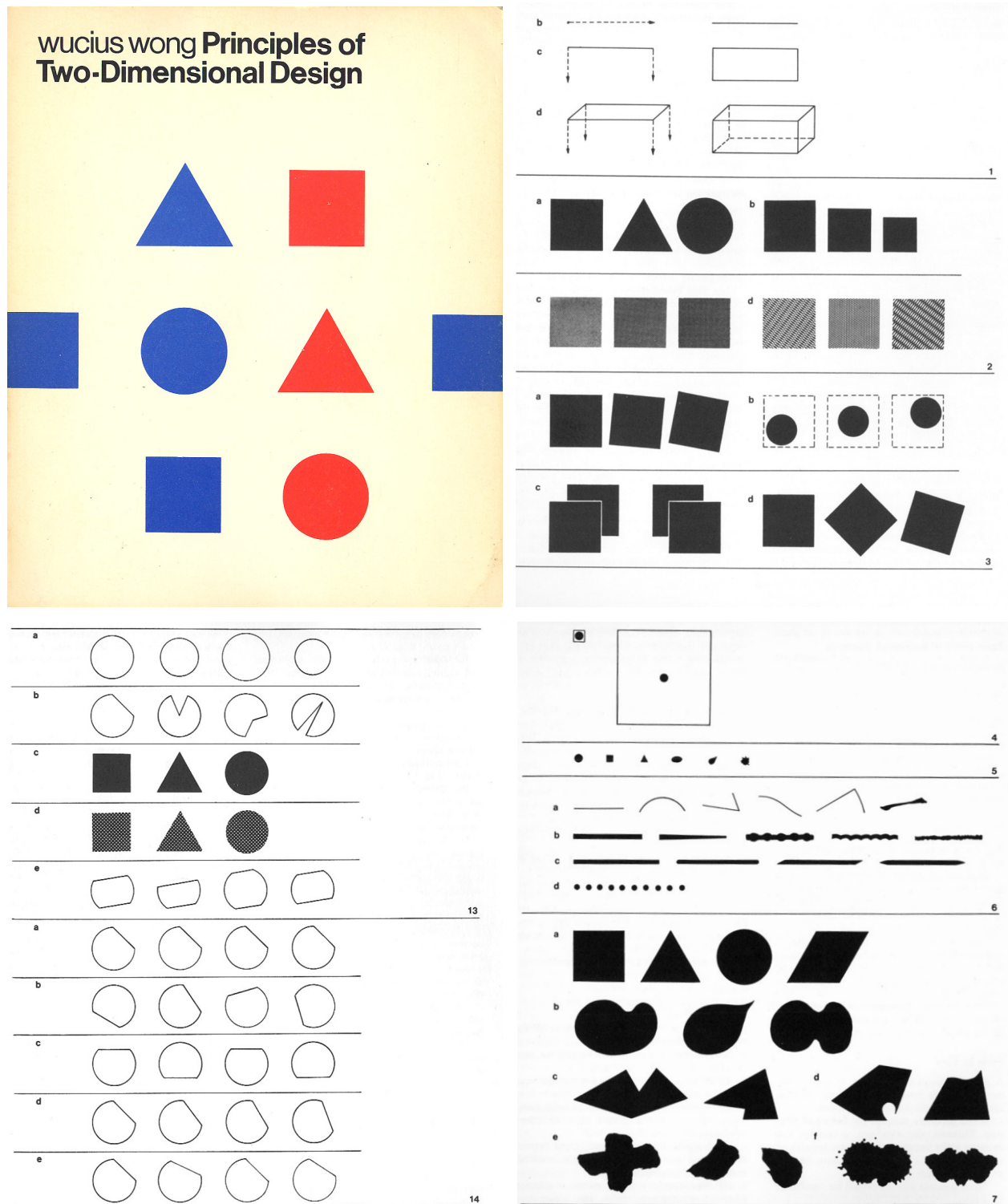


(fig.22) *Alphabet con fantasia*, 1960

**Bruno Munari, designer**

*Tutte le 26 lettere dell'alfabeto maiuscolo possono essere scritte usando alcuni elementi base, comuni ad ogni lettera*





(fig. 23) *Principles of Two-Dimensional Design*, 1972

Wucius Wong, Éd. Van Nostrand Reinhold Company, Illustrations extraites de l'ouvrage.

Ouvrage pédagogique dédié à la compréhension des éléments de la conception bidimensionnelle à partir des principes géométries élémentaires, points, lignes, surfaces. Wong étudie tous les concepts de formes et de structures, couvrant la plupart des situations dans une composition bidimensionnelle, formelle ou informelle. Cet Ouvrage a servi de base à l'élaboration des premiers logiciels de dessin informatisé.



(fig. 24) Page de couverture de l'ouvrage *Shape Grammars and their Uses : Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics*.

Dans *Interdisciplinary Systems Research*, N° 10 James Gips, 1978

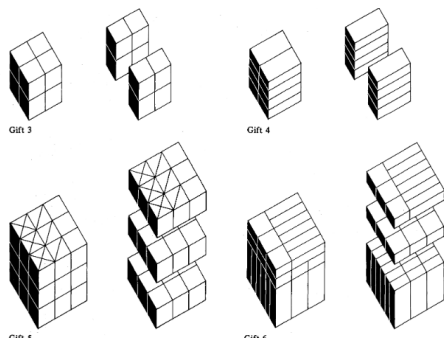


Figure 1. Froebel's building gifts.

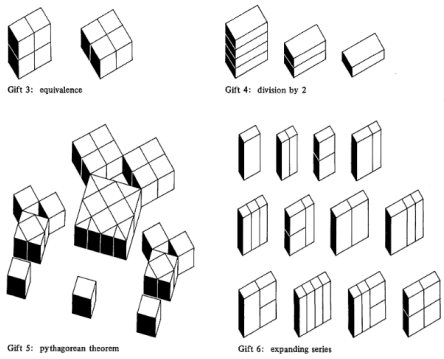


Figure 2. Forms of knowledge made with the building gifts.

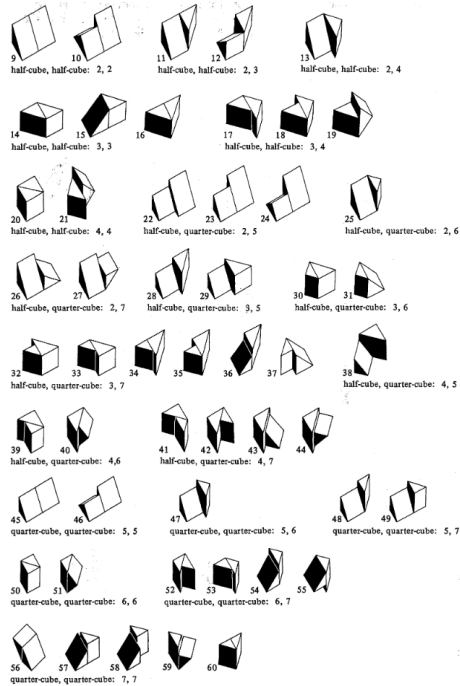


Figure 12 (continued)

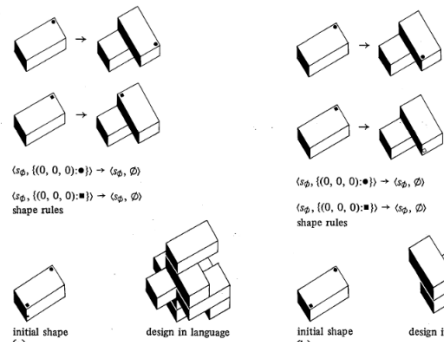
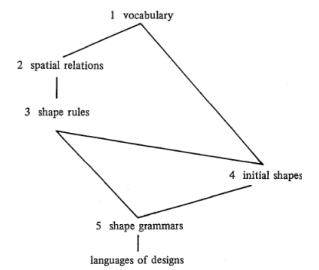
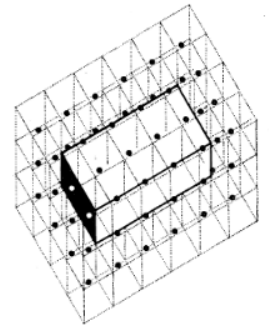
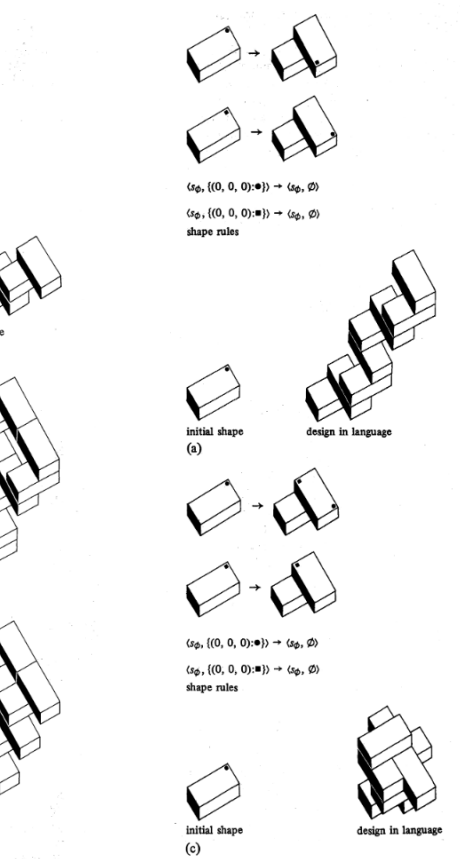
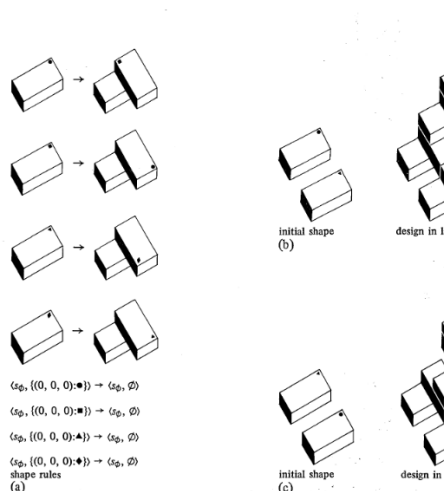


Figure 46. Shape grammars with distinct labels associated with their initial shapes.



(fig. 25) Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts, 1980 George Stiny, architecte, théoricien du design computationnel, MIT.

Influencé par les théories du linguiste Noam Chomsky<sup>(43)</sup>, Georges Stiny réalise une version numérique des Dons de Frœbel. Chomsky a développé dans les années 1950<sup>(44)</sup> et 1970<sup>(45)</sup> une théorie de la grammaire générative et transformationnelle visant à rendre compte des structures innées et universelles du langage naturel ; théorie fondée sur une approche modulaire et basée sur un système de règles simples capables de générer un nombre infini de phrases grammaticales. L'utilisation des grammaires génératives de Chomsky comme analogie géométrique et formelle intéresse particulièrement Stiny. Il élabore ainsi un système génératif adapté à la conception spatiale en se servant des Dons de Frœbel comme éléments de composition modulaire (**fig.25**).

L'origine des recherches de Stiny s'inscrit dans une problématique pédagogique propre à l'enseignement de la discipline architecturale. Il s'agit d'expliquer les principes de la composition architecturale à ses propres étudiants, qui débudent leurs études. Pour accompagner son enseignement, Stiny transpose la méthode Frœbel en une version numérique, en maintenant l'approche intuitive et ludique du dispositif originel. Il utilise les mêmes blocs de construction, leurs proportions, leurs formes primitives, leurs règles d'assemblages géométriques, pour élaborer sa propre syntaxe formelle en 3 dimensions, une sorte de set de jeu appliqué l'architecture. Le système Stiny est le premier outil d'aide au dessin destiné aux débutants ; il se décrit sous la forme d'un manifeste d'éducation à la conception<sup>(46)</sup>.

*Les pièces du building gifts (Don), sont utilisées comme de simples représentations architecturales en volume, dont le design et la fonction restent neutres et abstraites à la manière d'une première esquisse. Leurs combinaisons offrent un éventail quasi illimité de possibilités de compositions, réglées simplement par des contraintes géométriques. Stiny va les complexifier grâce à l'utilisation de l'ordinateur, en y ajoutant des règles d'assemblage automatisées par le calcul génératif.*

Stiny développe ainsi l'idée qu'un langage de conception peut être défini à partir de « zéro » (tel un jeu de construction pour enfant par exemple), au moyen de règles qui procèdent à partir d'assemblage de blocs de construction de géométrie basique<sup>(47)</sup>. Les règles de construction, telles qu'elles sont proposées à partir de la sémantique formelle de Frœbel, suggèrent une conception intuitive qu'il faut absolument maintenir.

43 Noam Chomsky est professeur au MIT entre 1957 et 1986

44 Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.

45 Chomsky, N., & Piaget, J. (1979). *Théories du langage, théories de l'apprentissage : le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky*. Centre Royaumont pour la science de l'homme Seuil.

46 Stiny, G. *Op.Cit*

47 *Ibid.*, p.23



Les constructions spatiales sont explorées à l'aide de règles d'assemblages additives. Elles sont utilisées pour définir des grammaires de formes simples de différentes géométries, appelées grammaires de base. Les assemblages entre ces formes génèrent de nouvelles figures qui expriment des concepts architecturaux élémentaires. Mais pour adapter la méthode de conception froebélienne aux besoins complexes de l'éducation architecturale, les règles d'assemblages géométriques seront interprétées par des procédures algorithmiques pouvant générer des combinaisons volumétriques plus complexes et plus sophistiquées. Procédures que l'étudiant débutant ne pourrait pas concevoir sans formation préalable, c'est-à-dire sans maîtriser le dessin manuel.

Ainsi le programme de l'ordinateur ajoute au processus élémentaire basé sur la méthode Fröbel, d'autres règles de constructions spatiales génératives qui fonctionnent par exemple par la multiplication d'une combinaison de formes... Les règles peuvent encore se complexifier, lorsque la conception s'inscrit dans un contexte défini qui induit des contraintes supplémentaires extérieures au modèle géométrique. Pour adapter le modèle à ses contraintes, Stiny applique à chacune des formes, des attributs particuliers, qui s'ajoutent aux combinaisons spatiales issues du processus de conception basique. Les grammaires de base ainsi définies s'appliquent de manière récursive grâce à l'algorithme pour générer la multiplication des motifs, les changements d'échelle, les déformations en trois dimensions, etc. Par exemple, lorsque le modèle s'insère dans un site représenté en plan, les contraintes de gabarit peuvent être implémentées dans le programme, programme qui réévalue automatiquement le modèle proposé par l'étudiant pour le réadapter au contexte ; c'est-à-dire aux limites du plan. Dans ce processus de conception, l'étudiant ajuste sa proposition en fonction de la « réaction » de l'ordinateur, autant de fois qu'il le souhaite. Stiny conçoit ainsi l'idée d'un feedback entre l'étudiant apprenant et l'ordinateur instructeur, une sorte de face-à-face à la manière d'un jeu entre l'utilisateur et la machine.

### *3.5 Le Flatwriter de Yona Friedman : des outils donnés aux futurs habitants peuvent concevoir son habitation*

Les travaux de Yona Friedman s'inscrivent dans la même pensée systémique que ceux de Stiny, mais se fondent sur d'autres objectifs. Il s'agit d'élaborer des principes de conception participative, à partir de l'agencement de formes géométriques élémentaires, à la manière du 12e don de Fröbel.

### 3.5.1. Genèse : l'architecture mobile et la ville spatiale.

Le boum démographique d'après-guerre a poussé les architectes, pour répondre à un besoin de construction massive, à concevoir de nouveaux modèles. Jusqu'au début des années 50, la plupart du temps, l'architecte dessinait pour seulement quelques clients. Après la guerre et pour la reconstruction, les architectes sont confrontés à des programmes destinés à loger des centaines ou des milliers de futurs habitants. Pour Friedman, ce défi d'échelle est la base d'un nouveau paradigme de conception. Il exige une compréhension plus large de l'ensemble des paramètres que représentent les communautés d'habitants et leurs milieux. Son hypothèse n'est rien de moins que la transformation de l'architecture en une discipline holistique, du traitement de l'information au service de l'utilisateur. Friedman est considéré comme l'un des premiers protagonistes de la pensée cybernétique à avoir fondé ses théories sur des hypothèses politiques et sociales.

En 1956, Friedman participe au Xe CIAM<sup>(48)</sup> de Dubrovnik. Influencé par la doctrine du modernisme dont il est l'expression corporative, le CIAM défend l'idéologie d'une architecture industrielle, sérielle, rationnelle dont les réalisations standardisées sont indifférentes aux contextes environnementaux. Portés par ce mouvement fonctionnaliste, les architectes modernistes sont à même de répondre aux besoins immenses de construction de logements dans les nouveaux territoires qui sont de plus en plus éloignés des centres urbains. Le CIAM de 1956 débat de plusieurs grandes thématiques dans le but d'établir une charte d'architecture et d'urbanisme commune sur différents thèmes : la situation de l'habitat, la croissance démographique et le changement urbain, et l'architecture mobile. Ce dernier thème fédère de nombreux participants, intéressés par l'enjeu économique de la mobilité en architecture à travers l'habitat standard préfabriqué et industrialisé.

Mais certains architectes comme Yona Friedman souhaitent explorer les dimensions politiques de la mobilité architecturale. Pour manifester son opposition aux idéologies du CIAM, Friedman fonde le GEAM<sup>(49)</sup> où il y expose pour la première fois le concept « d'architecture mobile » qui concilie production de masse, fabrication industrielle et habitat non standard personnalisé par l'habitant lui-même. Son principe d'architecture mobile prend la forme d'une infrastructure neutre : une surface vierge prête à construire, équipée de tous les réseaux, l'eau, l'électricité, le gaz et l'assainissement, permettant de garantir une grande flexibilité d'habitabilité. Un nouveau concept de ville

48 Congrès International d'Architecture Moderne.

49 Groupe d'étude d'architecture mobile.

spatiale<sup>(50)</sup> que l'homme peut construire librement, et dont l'architecture est entièrement modulée et reconfigurable par les pratiques de ses habitants.

Après sa participation au CIAM, Friedman commence à diffuser « *l'architecture mobile* »<sup>(51)</sup>, sous la forme d'un manifeste révolutionnaire qui propose une alternative au réductionnisme statistique du mouvement moderne. Il y rejette l'idée de la figure de « l'homme moyen » comme référence par « défaut » à partir de laquelle les architectes projettent leurs propres idéaux. Il dénonce la vision moderniste des théories architecturales. Il les juge erronées, car elles ne sont que de simples reflets des préférences de leurs auteurs, hélas très éloignées des besoins réels des individus. Friedman imagine inverser le processus de projet, en positionnant le futur habitant comme auteur à part entière, en lui donnant le plein pouvoir de concevoir lui-même ses propres architectures. Il affirmait :

*L'architecte perd de son importance (ou il doit en perdre) pour laisser plus d'initiative aux habitants. Les architectes ne doivent plus faire des maisons pour l'homme moyen parce que l'homme moyen n'existe pas. Les architectes ne peuvent pas faire des maisons pour des millions d'individus parce qu'ils ne les connaissent pas. La seule chose que les architectes peuvent faire, ce sont des structures qui laissent le maximum de liberté à chaque personnalité individuelle, pour les utiliser à sa guise et selon sa volonté.*<sup>(52)</sup>

Pour Friedman, l'objet architectural est défini par deux processus discontinus : la conception et l'utilisation. Deux actes souvent antagonistes, assumés par deux protagonistes différents – l'architecte et l'habitant – qui ne communiquent pas ensemble. L'impossibilité de lier au sein d'un seul processus logique la conception et l'utilisation vient du fait que les architectes et les futurs utilisateurs ne partagent pas le même langage :

*Nous sommes en face d'un cas de non-communication aigüe : un des interlocuteurs, le futur habitant, sait ce qu'il veut, mais ne sait pas comment le dire, et l'autre, l'architecte, ignore ce que veut dire son partenaire, mais essaye de le lui suggérer. [...] La crise de l'architecture est donc provoquée par l'impossibilité, ou tout au moins, l'extrême difficulté, de la communication .*<sup>(53)</sup>

50 La Ville spatiale (1959-1960) une grille tridimensionnelle surélevée, sur pilotis, au-dessus du sol [...] Cette technique permet un nouveau développement de l'urbanisme : celui de la ville tridimensionnelle ; il s'agit de multiplier la surface originale de la ville à l'aide de plans surélevés ». Friedman, Y. (1971). *Architecture mobile*. Casterman. 11

51 « Les deux premières éditions de l'Architecture mobile, en 1959 et en 1962, restèrent confidentielles, ne disposant ni d'éditeur, ni de diffuseur. Dès que les éditions Casterman me donnèrent l'opportunité de fonder la collection de poche "Mutation- Orientations", je proposai à Yona Friedman d'y publier l'Architecture Nomade qui demeurait toujours photocopiée. Elle parut en 1970, et ses lecteurs n'ont cessé de se multiplier ». Préface de Ragon, M. dans Friedman, Y. (1978) *L'architecture de survie*, On s'invente aujourd'hui le modèle de demain, collection synthèses contemporaines, Ed Casterman,.

52 Friedman, Y. (2003). *L'architecture de survie (premier secours)*. Eclat.( 1ière Ed. Casterman, Coll. M.O., 1978).19

53 Ibid, 21

Pour que l'objet architectural soit le résultat d'une collaboration productive entre l'architecte et l'utilisateur, ce dernier doit être capable d'expliquer ses besoins et ses idées de manière claire et pragmatique, en utilisant le même langage que l'architecte : le dessin en plan, une méthode de conception et de communication très efficace pour tester et régler des hypothèses avant que le projet ne soit définitivement fixé. Mais le dessin en plan est une forme de notation que l'utilisateur ne sait pas comprendre ou représenter. Il est donc impératif que l'utilisateur apprenne à dessiner pour pouvoir ensuite communiquer et travailler avec l'architecte. Toujours selon Friedman :

*Comment est-il possible d'établir cette communication : autrement dit, comment l'habitant peut-il arriver à faire des plans de la maison qu'il souhaiterait habiter et comment peut-il contrôler le bon fonctionnement de son projet, c'est-à-dire vérifier si ses désirs (ou ses intuitions) ne se contredisent pas entre eux, et si son plan peut correspondre à l'une des dispositions réalisables des volumes.*<sup>(54)</sup>

### 3.5.2. La méthode des « boutons et des ficelles »

Ainsi, la mise en application des théories de Friedman commence par la recherche d'un nouveau langage axiomatique approprié à l'aménagement de l'espace et accessible à tous. Ce langage, que Friedman synthétise dans son « *manuel de l'auto-planification* »<sup>(55)</sup>, doit être simplifié par rapport à celui des experts, mais les règles de composition graphique et géométrique doivent garantir à l'utilisateur la même efficacité qu'un « plan d'architecte ». Le premier manuel de l'autoplanification, nommé « *méthode des boutons et des ficelles* », ressemble au 12e et au 13e dons de Friedrich Fröbel. Elle est matérialisée par une boîte à outils constituée d'accessoires et d'objets usuels. On les dispose sur une table ou sur une feuille de papier quadrillé : des boutons représentent les pièces d'une maison, et des ficelles illustrent les liens entre ces pièces, et les espaces de circulation. Ce dispositif très simple sert d'abord à représenter l'échelle domestique à la manière d'un graphe heuristique. À cette famille d'accessoires, Friedman ajoute un dispositif de notation, une « étiquette » assez similaire à celle de Georges Stiny, permettant de définir plus précisément les caractéristiques d'une pièce représentée par un bouton : les qualités de chaque pièce, sa forme, sa fonction, son éclairage, le nombre de fenêtres, ou encore l'orientation, le vis-à-vis, la tranquillité, l'accessibilité... rendant ainsi le contenu du modèle plus complexe et plus significatif. Il permet par exemple de vérifier si l'habitat est en adéquation avec le voisinage. Avec la méthode préliminaire de la notation à l'aide des boutons, des ficelles et des étiquettes, le futur habitant établit rapidement une simulation graphique de ses besoins individuels, en

54 Ibid, 21

55 Manuel de l'autoplanification : Concept exposé dans *L'architecture mobile*, qui exprime l'idée d'un langage commun entre architecte et habitant.

respectant en même temps le contexte collectif dans lequel il implante son habitation. **(fig.26)**

### 3.5.3. La transition « des boutons et ficelles » en générateur de plans.

À partir de cet outil pédagogique aussi simple qu'un jeu d'enfant, Friedman élabore une autre méthode en adaptant la « notation à l'aide des boutons et des ficelles » à la représentation en plan. Ainsi :

*Si l'homme de la rue peut apprendre une notation simple qui lui permet d'exprimer son programme, qui lui permet également de connaître et de contrôler les conséquences entraînées par son choix, pourquoi ne pourrait-il pas agir de façon à être son propre architecte ? Pour passer du graphe, c'est-à-dire des boutons et des ficelles, au plan architectural proprement dit, il n'y a qu'un pas et nous allons le franchir.<sup>(56)</sup>*

Il s'agit bien de permettre au futur usager de penser et de communiquer comme un architecte. Cette méthode consiste en quelque sorte à donner une échelle au modèle graphique, une géométrie, une fonction, puis à ajouter des contraintes paramétriques spatiales et environnementales. C'est toutefois un exercice qui exige une habileté plastique que l'usager lambda ne peut pas acquérir. Pour mettre en application cette méthode, Friedman, comme ses pairs, a recours à la technologie et au programme informatique. Il imagine pour l'habitant un outil d'aide à la conception, une sorte de machine à écrire des plans qu'il nomme « Flatwriter », spécialement conçue pour tester l'habitabilité de son concept de génération de la ville spatiale. En d'autres termes, Friedman transpose l'outil pédagogique « des boutons et des ficelles » en un programme informatique de générateur de plans, individuels et collectifs **(fig.27)**.

Le Flatwriter est d'abord un concept théorique que Friedman entreprend de dévoiler à l'exposition universelle d'Osaka de 1968, mise en scène sous la forme d'un manuel d'utilisateur, dans lequel il décrit toutes les étapes du processus et les outils dont le public peut disposer<sup>(57)</sup>. Son concept repose sur une connaissance empirique et intuitive de l'informatique, et c'est cela qui fait son originalité. Elle fait émerger l'idée d'une immense machine dont l'intelligence programmatique serait capable de réguler des millions de combinaisons de plans d'appartements individuels. Il s'agirait alors de les

56 Ibid, 25

57 © Ina - Yona Friedman regarding the machine that invents flats. (2016, 1er janvier). [Vidéo]. Europe of Cultures. <https://fr-esques.ina.fr/europe-des-cultures-en/fiche-media/Europe00061/yonafriedman-regarding-the-machine-that-invents-flats.htm>

## THE NINETEENTH GIFT. MATERIAL FOR PEAS-WORK.

We have already tried, in connection with the Eighth Gift, (the laying sticks), to render permanent the productions of the pupils by stitching or pasting them to stiff paper. We satisfied by so doing a desire of the child,

To satisfy the claims of the pupils in this direction in a high degree, the working with peas is eminently fitted, although considerable

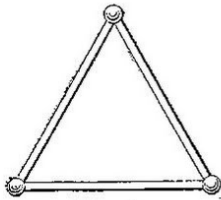


Fig. 1.

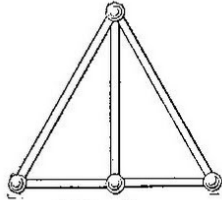


Fig. 2.

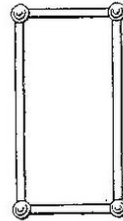


Fig. 7.

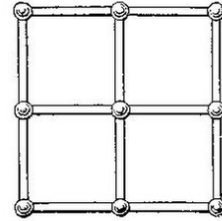


Fig. 8.

which grows stronger as the child grows older, the desire to produce by his own activity certain lasting results. It is no longer the incipient instinct of activity which governs the

manual skill is required for it, not to be expected in any child before the fifth year. The material consists of pieces of wire of the thickness of a hair-pin, of various sizes in length,

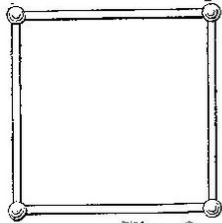


Fig. 3.

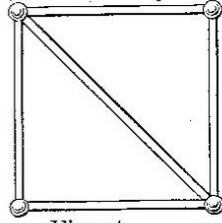


Fig. 4.

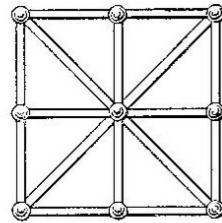


Fig. 9.

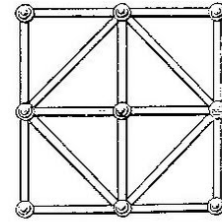


Fig. 10.

child, the instinct which prompted him apparently without aim, to destroy everything and to reconstruct in order to again destroy.

and pointed at the ends. They again represent lines. As means of combination, as embodied points of junction, peas are used, soaked about twelve hours in water and dried

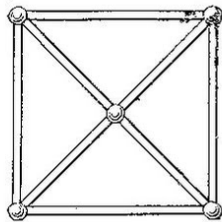


Fig. 5.

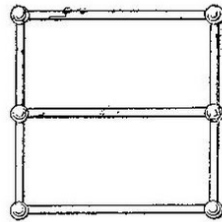


Fig. 6.

A higher pleasure of production has taken its place; not satisfied by mere doing, but requiring for his satisfaction also, delight in the created object—if even unconsciously—the delight of progress, which manifests itself in the production, and which can be observed only in and by the permanency of the object which enables us to compare it with objects previously produced.

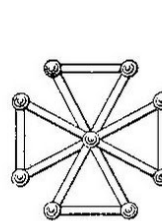


Fig. 11.

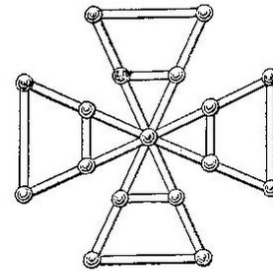
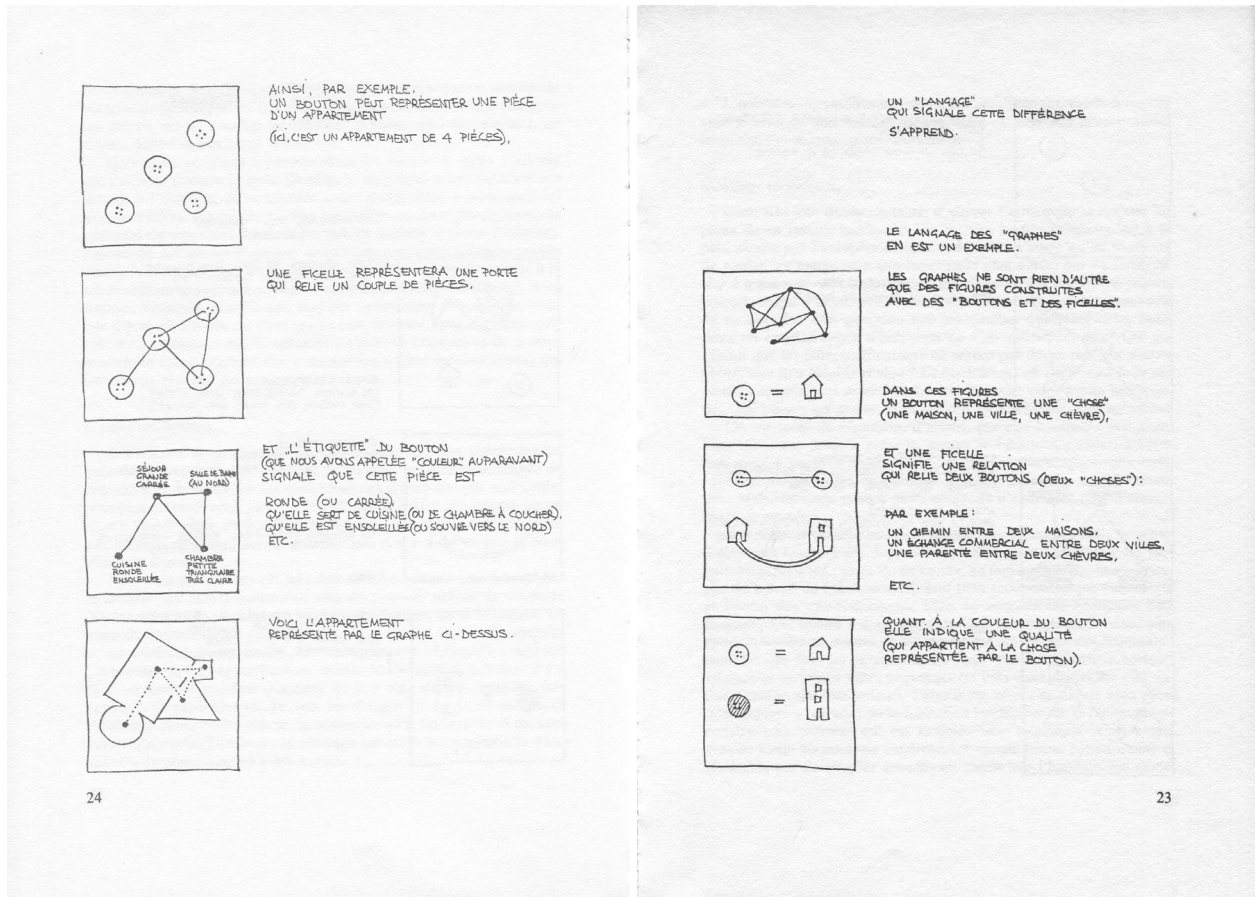


Fig. 12.

one hour previous to being used. They are then just soft enough to allow the child to introduce the points of the wires into them and also hard enough to afford a sufficient hold to the latter.





(fig. 27) Croquis de la méthode des boutons et des ficelles, 1971  
Yona Friedman

adapter à des contextes à échelle variable : un immeuble collectif, un quartier, une ville ou un territoire infini.

Notons que Friedman n'est pas fasciné par l'outil informatique. Il développerait plutôt une vision critique de la technologie qui émerge dans tous les domaines scientifiques. À cette époque, et comme d'autres technophobes, il y voit le danger de l'asservissement économique et politique de l'homme

par la machine. Même s'il côtoie le MIT où il enseigne et s'il collabore avec Nicolas Negroponte<sup>(58)</sup>, il n'hésite pas à exprimer son scepticisme :

*My experience with MIT made me understand a fundamental disadvantage of using computers for design : they are too fast. People have their own thinking speed and computer-thinking is too fast and too intransparent for them. Twice I had the occasion to experience people's self-planning, with real people on real projects which were due to be materialized. In both cases, the process took a relatively long time, about six months. The people needed time to detect their own problems, and preferences, which were very different from those which architects are used to. Functionality, in itself, is neither good nor bad. But functions cannot be determined by formulas. Each individual has his own evaluation. Design is a game with no explicit rules.*<sup>(59)</sup>

Malgré cette résistance manifeste à l'égard de la technologie, Friedman comprend que la machine et le programme peuvent gérer facilement et rapidement des contraintes combinatoires complexes généralement maîtrisées par l'architecte. Il imagine que le calcul mathématique peut résoudre la contrainte la plus complexe qui consiste à adapter chaque demande particulière de l'habitant à un contexte collectif, constitué d'une multitude de demandes particulières. De cette manière, Friedman cherche à destituer l'architecte de son rôle de traducteur de l'expression des désirs des habitants, au profit d'une machine qui aurait l'avantage, selon lui, de ne pas interpréter les besoins, mais simplement de les transcrire, scientifiquement et objectivement.

Contrairement à la méthode de G. Stiny, le Flatwriter n'est pas uniquement pensé comme un programme informatique. Le résultat de la posture paradoxale de Friedman est un dispositif hybride, tangible et transmédia. Il se décompose en deux actions opposées qui se succèdent, par l'entremise de deux interfaces dissociées interagissant simultanément. L'une favorise la manipulation directe et l'intuition individuelle, l'autre,

58 Nicolas Negroponte, architecte et chercheur dans le domaine de l'intelligence artificielle a fondé en 1968 le MIT Architecture Machine Group qui développe des recherches expérimentales sur les interfaces homme-machine dans le domaine de la conception architecturale, au sein du laboratoire d'intelligence artificielle du Massachusetts Institute of Technology ( AI lab- MIT), dirigé par le chercheur en sciences cognitives Marvin Minsky et le mathématicien Seymour Papert . En 1985, Negroponte fonde avec Jerome B. Wiesner, le Laboratoire des médias du Massachusetts Institute of Technology (MIT Media Lab) . Il a aussi contribué à la création de la revue the Whole Earth Catalog et Wired.

59 Friedman, Y. (2006). *Yona Friedman / Pro Domo* (Illustrated éd.). ACTAR, Centro Andaluz de Arte Contemporáneo. p.137.

totalemment automatique, coordonne l'ensemble des utilisateurs. Les deux modes se complètent au sein d'un processus à la fois participatif et autorégulateur.

#### 3.5.4. *Le Flatwriter, mode d'emploi.*

La première interface du Flatwriter est individuelle et manuelle. Elle est matérialisée par un outil très ordinaire, une simple machine à écrire de bureau légèrement modifiée qui permet à l'utilisateur de dessiner son appartement idéal sur une feuille de papier, à partir de figures géométriques élémentaires. Pour décrire cette action, Friedman insiste sur le caractère familier et ludique de la méthode d'écriture dactylographique. Pour illustrer et expérimenter son concept, Friedman choisit la Selectic Typewriter MT-ST d'IBM commercialisée à la fin des années soixante. Ce choix est déterminé par sa particularité technologique. À l'inverse des machines à écrire courantes, ce modèle d'IBM introduit la possibilité d'interchanger la police grâce à une sphère d'impression (golf-ball typewriter) amovible remplaçant les traditionnelles barres à caractères fixes. La fonte de caractère est interchangeable en quelques secondes par un simple remplacement de la boule. Cela permet d'introduire des polices graphiques à la place des lettres, et de remplacer la fonction texte par d'autres applications adaptées spécifiquement au dessin. Une autre fonctionnalité est ajoutée au système : une bande magnétique capable de mémoriser les caractères en mode analogique, qui permet de différer l'impression sur le papier, de corriger le texte ou le dessin, ou de l'enregistrer. **(fig.28)**

Ainsi, dans un premier temps, l'utilisateur se sert d'une machine à écrire dont le clavier alphabétique est remplacé par des figures graphiques qui représentent différentes formes et fonctions et qui symbolisent les pièces d'un appartement. Le clavier, composé de 53 touches, aux motifs graphiques tous différents, permet à l'utilisateur de saisir directement ses préférences en procédant par étapes successives, comme Friedman le décrit dans son mode d'emploi. L'utilisateur esquisse une sorte de diagramme de partition de l'espace, en choisissant d'abord le « plan type » avec le nombre de pièces, puis la forme géométrique, la fonction de chacune des pièces et l'emplacement des appareils domestiques, enfin l'orientation souhaitée en fonction de la partition domestique **(fig. 29,30)**. Ces figures obtenues sont ensuite complétées par des informations relatives aux « habitudes » quotidiennes et aux modalités d'utilisation des espaces domestiques : par exemple, combien de fois par jour entre-t-on dans une pièce, combien de personnes utilisent une pièce... que l'utilisateur doit préciser en

totallement automatique, coordonne l'ensemble des utilisateurs. Les deux modes se complètent au sein d'un processus à la fois participatif et autorégulateur.

#### 3.5.4. *Le Flatwriter, mode d'emploi.*

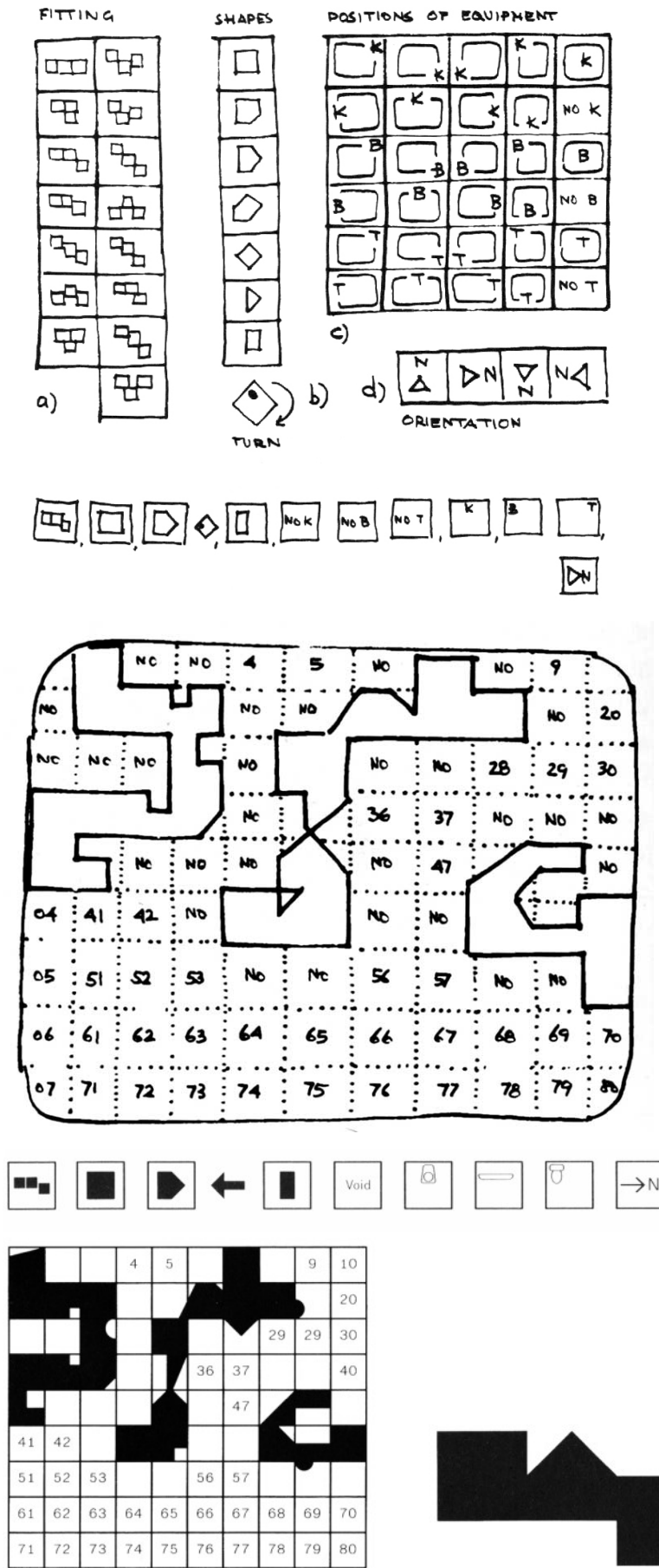
La première interface du Flatwriter est individuelle et manuelle. Elle est matérialisée par un outil très ordinaire, une simple machine à écrire de bureau légèrement modifiée qui permet à l'utilisateur de dessiner son appartement idéal sur une feuille de papier, à partir de figures géométriques élémentaires. Pour décrire cette action, Friedman insiste sur le caractère familier et ludique de la méthode d'écriture dactylographique. Pour illustrer et expérimenter son concept, Friedman choisit la Selectic Typewriter MT-ST d'IBM commercialisée à la fin des années soixante. Ce choix est déterminé par sa particularité technologique. À l'inverse des machines à écrire courantes, ce modèle d'IBM introduit la possibilité d'interchanger la police grâce à une sphère d'impression (golf-ball typewriter) amovible remplaçant les traditionnelles barres à caractères fixes. La fonte de caractère est interchangeable en quelques secondes par un simple remplacement de la boule. Cela permet d'introduire des polices graphiques à la place des lettres, et de remplacer la fonction texte par d'autres applications adaptées spécifiquement au dessin. Une autre fonctionnalité est ajoutée au système : une bande magnétique capable de mémoriser les caractères en mode analogique, qui permet de différer l'impression sur le papier, de corriger le texte ou le dessin, ou de l'enregistrer. **(fig.28)**

Ainsi, dans un premier temps, l'utilisateur se sert d'une machine à écrire dont le clavier alphabétique est remplacé par des figures graphiques qui représentent différentes formes et fonctions et qui symbolisent les pièces d'un appartement. Le clavier, composé de 53 touches, aux motifs graphiques tous différents, permet à l'utilisateur de saisir directement ses préférences en procédant par étapes successives, comme Friedman le décrit dans son mode d'emploi. L'utilisateur esquisse une sorte de diagramme de partition de l'espace, en choisissant d'abord le « plan type » avec le nombre de pièces, puis la forme géométrique, la fonction de chacune des pièces et l'emplacement des appareils domestiques, enfin l'orientation souhaitée en fonction de la partition domestique **(fig. 29,30)**. Ces figures obtenues sont ensuite complétées par des informations relatives aux « habitudes » quotidiennes et aux modalités d'utilisation des espaces domestiques : par exemple, combien de fois par jour entre-t-on dans une pièce, combien de personnes utilisent une pièce... que l'utilisateur doit préciser en

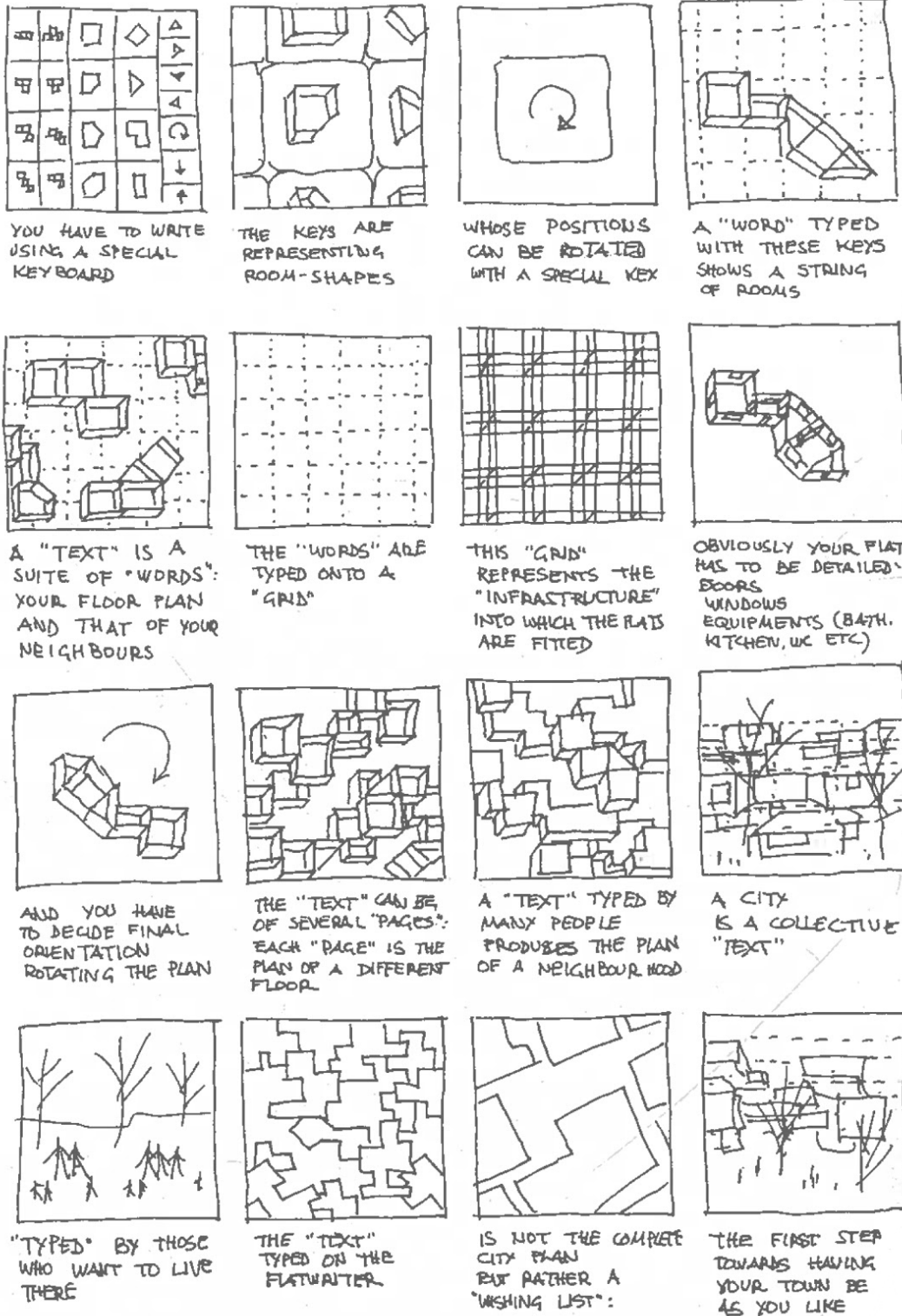




*(fig. 28) La Selectic Typewriter MT/ST, 1968  
à mémoire magnétique et à « typeball », IBM*



(fig. 29) Mode d'emploi du fratwriter pour Osaka, 1971  
Yona Friedman



(fig. 30) : Mode d'emploi du Flatwriter permettant au futur habitant de construire son plan dans la ville spatiale

Pour l'architecture scientifique, 1971

Yona Friedman, Ed. Belfond, Paris



illustrant son plan par des symboles typographiques. Pour cela, il se sert d'une autre machine à écrire, dotée d'une autre police graphique.

La seconde interface est collective. Elle est incarnée par l'ordinateur qui effectue les simulations d'assemblage de toutes les propositions individuelles. Le programme de Friedman introduit la notion de « boucles de rétroaction » entre l'utilisateur et la machine. Celles-ci fonctionnent à plusieurs niveaux, individuellement et collectivement.

La première boucle, intervient à l'échelle domestique, lorsque l'utilisateur a créé son plan idéal. D'un point de vue technique, on peut supposer qu'à ce stade la bande magnétique de la machine à écrire a enregistré les informations pour les transmettre à l'ordinateur. Les trois couches d'informations (plan, fonction, usage) sont analysées par un programme qui vérifie l'adéquation entre les différents paramètres. Dans le cas de conflits entre les désirs de l'utilisateur et les modèles de vie qui résultent de la proposition, le programme indique le dysfonctionnement et invite l'utilisateur à reconsidérer ses choix. Cette première boucle peut se répéter tant que le modèle n'est pas définitivement fixé avant d'être intégré à la seconde boucle.

La seconde boucle du Flatwriter est un processus de modélisation collectif. Friedman intègre dans son programme son principe d'autorégulation : le schéma programmatique d'un processus de planification basé sur une idée très simple de « zonage » symbolisé par un plan en damier. Ce plan représente un espace potentiel spatialement délimité, à l'intérieur duquel tous les projets proposés par les utilisateurs peuvent prendre place, en appliquant des règles d'aménagement imposées par le programme. À cette étape, un écran cathodique présente une grille quadrillée et numérotée, qui identifie le positionnement des autres plans d'appartement : les emplacements déjà occupés et les emplacements vides. L'utilisateur choisit un emplacement sur la grille en fonction des disponibilités, en écrivant le numéro des cases correspondantes, à la manière d'un jeu de bataille navale. Ce positionnement est transmis à l'ordinateur afin que le programme insère le contour de l'appartement dans l'infrastructure, en vérifiant que l'espace qu'il a sélectionné ne bloque pas la lumière, l'air ou l'accès aux appartements voisins déjà intégrés. Le programme, dans une logique identique à la première boucle d'interaction, analyse la pertinence du choix de l'utilisateur en fonction des autres projets, des contraintes spatiales et d'usage imposées par le contexte. Si la proposition de l'utilisateur est en conflit avec les désirs et les modèles de vie d'un autre utilisateur, le programme indique le dysfonctionnement et invite l'utilisateur à reconsidérer ses choix en repartant de la machine à écrire, jusqu'à l'obtention d'une



solution équilibrée entre tous les intervenants. La phase finale du processus est le calcul de l'effet global consécutif à chaque nouveau venu, en termes de paramètre de viabilité, de densité, de circulation, de bruit, d'ensoleillement, mais aussi de coût de production et de fonctionnement !

### 3.5.5. La valeur pédagogique du Flatwriter

Les deux interfaces, individuelle et collective, se distinguent par leur temporalité : elles se succèdent, se répondent, et s'implémentent mutuellement. Le programme modifie et adapte en quelque sorte le « comportement du plan » par des mesures et des ajustements. Si le programme ne valide pas le plan, le système propose une sélection de modèles alternatifs au plus proche du projet proposé par l'utilisateur, en puisant dans un répertoire de millions de combinaisons de plans préenregistrés. Celui-ci peut choisir parmi ces nouvelles propositions, les transformer, ou proposer un nouveau projet. Ainsi l'utilisateur et la machine forment un duo au sein d'un processus reconfigurable qui pourrait presque durer indéfiniment. En effet, ce processus d'échanges est aussi un moyen d'apprentissage, de sorte que la conception finalisée n'est pas le but ultime. La question de « l'erreur » ou du « mauvais choix » en tant qu'expérience éducative qui permet à l'utilisateur de développer un certain degré d'intelligence de conception, est inhérente à ce processus. En intégrant dans le processus de conception, la dimension de l'expérience itérative de l'utilisateur, Friedman introduit l'idée d'un dialogue avec le programme informatique qui prend le rôle de l'éducateur bienveillant. L'utilité d'un tel outil réside dans l'effet feedback qui s'instaure et qui amène l'utilisateur à acquérir peu à peu les méthodes de l'architecte, dans le but de s'en passer définitivement. Cette nouvelle méthode de conception que Friedman élabore ne permet évidemment pas à l'utilisateur de réaliser concrètement le projet, comme le ferait l'architecte. Mais l'outil offre une compréhension du processus de conception architecturale, depuis les premiers tâtonnements jusqu'à la vérification de la faisabilité et à la visualisation du résultat. Dans ce sens, Friedman met au point une nouvelle théorie de la conception participative<sup>(60)</sup>, fortement inspirée des théories de l'apprentissage proactif développées par Jean Piaget<sup>(61)</sup> et reprises par

60 Même si celle-ci est exclusivement destinée à accompagner le manifeste d'autoplanification de sa ville spatiale.

61 Jean Piaget publie à la même époque son ouvrage référent « le structuralisme », dans la collection Que sais-je (1968).

Seymour Papert<sup>(62)</sup> au sein du laboratoire d'intelligence artificielle du MIT<sup>(63)</sup>. Pour Piaget et Papert, l'apprenant proactif, en bénéficiant du processus d'acquisition de compétences personnelles, a la responsabilité de « transmettre » à l'ordinateur ses nouvelles connaissances. Cet effet d'inversion du transfert des connaissances est significatif dans le concept de Friedman qui cherche à modifier le rôle traditionnel de l'architecte. Le contenu et les règles du Flatwriter étant conçus par un architecte (Friedman en l'occurrence). Cependant l'utilisateur qui s'empare de l'outil apprend peu à peu à être un architecte. De sorte que l'architecte qui se cache derrière la machine devient l'apprenant de l'utilisateur averti.

### 3.6. Le Modèle de Nicholas Negroponte (Seek Machine)

Les recherches conduites par Nicholas Negroponte précisent la nature de véritables interfaces tangibles manipulables<sup>(64)</sup>. C'est au sein de son laboratoire « *Architectural Machine Group* » (Arch Mac)<sup>(65)</sup>, associé au MIT IA Lab qu'il conçoit la « Seek machine ». Negroponte défend déjà l'idée d'une machine dotée d'une intelligence humaine :

*Laissez-nous construire des machines capables d'apprendre, de rechercher et de tâtonner, des machines qui seront des partenaires d'architecture, des machines d'architecture.* <sup>(66)</sup>

Précurseur du futur Medialab, Le Laboratoire Architectural Machine Group, est un terrain d'expérimentation pour les professeurs d'université et les chercheurs où l'informatique est considérée à la fois comme une nouvelle méthode de pensée pour les disciplines existantes, mais aussi comme un protocole inédit d'émancipation

62 Seymour Papert (1928- 2016) est un mathématicien et informaticien d'origine sud-africaine. Au milieu des années 1950, il collabore avec le psychologue et épistémologue Jean Piaget à un projet de recherche dédié à l'apprentissage du calcul pour les enfants ( Université de Genève) . En 1963, Marvin Minsky (1927-2016), directeur du laboratoire d'intelligence artificielle du Massachusetts Institute of Technologie (MIT), engagé dans une réflexion critique sur la modélisation de la connaissance et du raisonnement, invite Seymour Papert à le rejoindre. Leur collaboration accélère le développement d'une orientation de recherche en intelligence artificielle associant modélisation informatique et cognitive, puis se concrétise par l'invention du programme expérimentale de modélisation géométrique pour les enfants. En 1985, Seymour Papert fonde le MIT Media Lab, avec Marvin Minsky et l'architecte Nicholas Negroponte, où il crée le *Epistemology and learning group* et le *Computer lab for young children*. Il est aussi à l'origine de la création du *Lego Mindstorms*, initié dans le cadre d'un partenariat de recherche entre le Medialab et le groupe LEGO.

63 Le Laboratoire d'Intelligence Artificielle du Massachusetts Institute of Technologie (Cambridge, US), co-dirigé par Marvin Minsky et John McCarthy, considéré à cette époque comme le pionnier de l'intelligence artificielle en tant que champ de recherche autonome.

64 Negroponte, N. (1969). Toward a Theory of Architecture Machines. *Journal of Architectural Education (1947-1974)*, 23(2), p.9-12 <https://doi.org/10.2307/1423828>

65 Fondé par Nicholas Negroponte et Leon Groisser en 1967, Architecture Machine Group (Arch Mac ,1967-1985), est un laboratoire multidisciplinaire d'enseignement et de recherche situé dans le département d'architecture du MIT. En 1985, Arch Mac devient le MIT Media Lab.

66 Negroponte,N.(1970). *The Architecture Machine*. MIT Press.17

créative de ces mêmes disciplines<sup>(67)</sup>. Jordan Kauffman écrit à propos d'Architectural Machine Group :

*Du point de vue du groupe, si les ordinateurs sont conçus pour aider l'architecture, ils doivent alors être suffisamment intelligents pour initier un dialogue avec un designer de la manière la plus proche possible de celle d'un dialogue de personne à personne. En outre, ils doivent apprendre et évoluer au fur et à mesure de leur expérience des processus de conception, chaque machine s'individualisant de plus en plus en réponse aux situations pour lesquelles elle est utilisée. Cela signifie un système interactif dans lequel l'ordinateur prend la place d'une autre personne.* <sup>(68)</sup>

Les architectes de l'Architecture Machine Groupe (Arch Mac) investissent l'univers de la modélisation urbaine. Ils cherchent à transmettre à l'homme ordinaire la complexité de la conception du projet urbain<sup>(69)</sup>. Ils pensent que s'ils peuvent concevoir un modèle informatique capable de communiquer avec un architecte « non formé en programmation informatique », ils réussiront à créer un système qui ferait de chaque « homme ordinaire » un architecte. Dans son ouvrage manifeste « *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment* », publié en 1973, Nicholas Negroponte explique comment supprimer les barrières entre architecture et informatique, en créant une association intime entre deux espèces dissemblables : le concepteur et la machine. Le projet serait rendu viable par un apprentissage mutuel et un effort de collaboration. Le concepteur et la machine suivraient alors les cheminements de conception de l'un et de l'autre. **(Fig.31)**.

« Seek » est la première expérimentation « homme-machine » tangible conçue par l'Arch Mac. Elle est également appelée « Blocks World » pour sa référence implicite aux jeux de construction en bois<sup>(70)</sup>, utilisés entre autres par le IALab en raison de leurs simplicités formelles et volumétriques. Cette première machine « intelligente » inaugure, comme les modèles de Stiny et de Friedman, le mouvement de la pensée computationnelle « orientée utilisateur ». Dans son mémoire de fin d'études présent-

67 « Le concept à l'origine du Média Lab était de faire prendre de nouvelles orientations à la recherche en matière d'interface homme/ordinateur et d'intelligence artificielle. L'idée était de leur donner forme en tenant compte du contenu des systèmes d'informatique, des exigences des applications artistiques grand public, de la nature de la pensée artistique », Negroponte, N. (1995). *L'Homme numérique (French Edition)*. Robert Laffont. 276

68 Kauffman, J. (2016). Dessiner avec l'ordinateur dans les années soixante : le design et ses pratiques à l'aube de l'ère numérique. *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, 32, 105123. <https://doi.org/10.4000/lha.643>

69 Expérimenté en 1970 par l'ArchMac, le système URBAN un programme de CAO appliqué à la conception urbaine, qui fonctionne sur l'IBM 360. Dans ce programme graphique, l'utilisateur manipule des cubes de 10x10 pieds, en précisant textuellement des attributs aux blocs. Ces textes prennent la forme d'un dialogue, c'est dire de questions réponses entre l'utilisateur et l'ordinateur.

70 « In the 1960s and early 1970s, AI worked within a paradigm called *microworlds*, simplified areas of inquiry that allowed researchers to focus on specific problems while abstracting out other details. Many microworlds were also called *blocks worlds* because they focused on piles of blocks, such as robotic arms manipulating stacks of blocks, or cameras and computers locating their edges. » Steenson, M. W. (2015). Microworld and mesoscale. *Interactions*, 22(4), p.43. <https://doi.org/10.1145/2786024>

ant dans les grandes lignes le projet « Blocks Worlds » qu'il expérimentera par la suite en public sous le nom de Seek, Nicholas Negroponte s'appuie sur une méthode de modélisation géométrique en trois dimensions. Elle est simplifiée à l'extrême, pour définir les principes de programmation de sa machine d'architecture. Il utilise le langage générique du « jeu de cube » pour représenter en volume l'architecture et la ville, selon une règle élémentaire d'assemblage horizontal et d'empilement vertical d'objets cubiques identiques, disposés sur une grille tridimensionnelle. L'utilisation d'un tel matériel n'est simple qu'en apparence. Il s'agit en fait d'un support de visualisation des règles de composition géométrique, empruntées à la méthode des « Building Blocks » de Friedrich Fröebel. **(fig.32)**

« Seek » est conçu dans le cadre de l'exposition d'art contemporain « Software » organisée par le critique d'art et des technologies Jack Burnham, au Jewish Museum de New York<sup>(71)</sup>. Cette manifestation montre la place de l'art dans la prospective informatique, notamment sur le thème des interfaces homme-machine dans la société civile. Le projet « Seek » prend la forme d'un jeu de construction constitué d'une cinquantaine de blocs de bois et de métal, d'environ 10 cm chacun, empilés les uns sur les autres, selon un agencement représentant synthétiquement un environnement urbain. L'ensemble des pièces est placé dans un caisson en Plexiglas transparent, relié à un ordinateur. Cet espace clos est habité par des utilisateurs supposés, des gerbilles, petits mammifères de la taille d'une souris, qui se déplacent continuellement, et ce faisant, changent malhablement la position des blocs cubiques. De cette manière les gerbilles génèrent des mouvements aléatoires des blocs, mouvements qui sont interprétés comme des instructions paramétriques. En suivant les instructions « implémentées » par les utilisateurs (les gerbilles), un bras robotique réagence automatiquement les blocs selon les nouveaux déplacements basés sur l'expérience spatiale des gerbilles. Ces individus organisent l'espace mobile de manière intuitive et approximative, tandis que l'ordinateur leur propose des solutions d'aménagement. Le fonctionnement du dispositif introduit le mode du « feedback en temps réel »<sup>(72)</sup>. L'ordinateur observe l'interaction des gerbilles avec leur habitat, représenté par les blocs cubiques, puis enregistre progressivement leurs choix. Le programme apprend peu à peu à mémoriser en temps réel le comportement des usagers, puis les accompagne pour les aider à mieux organiser leur espace tout en respectant leurs besoins. **(fig.33,34)**

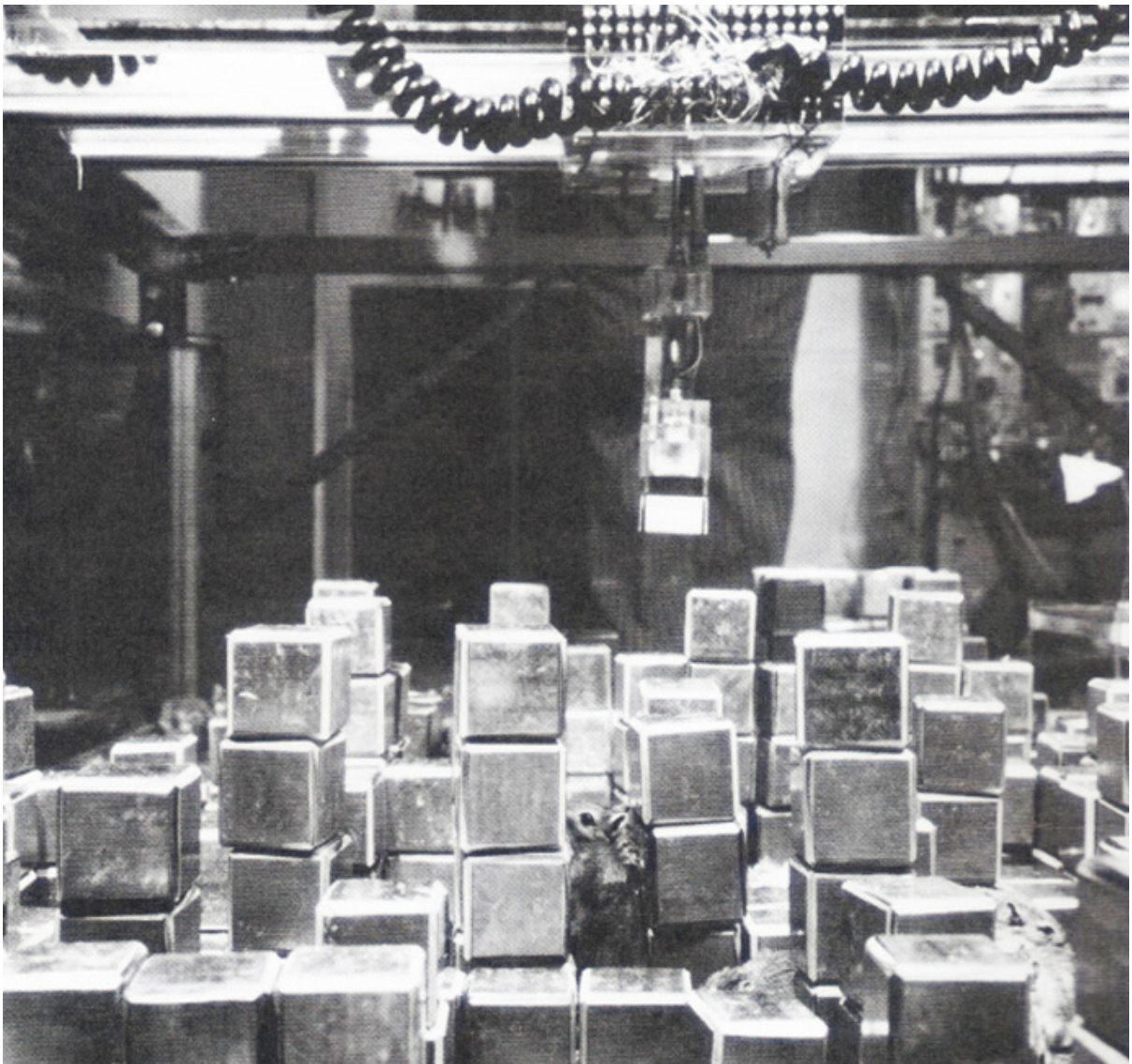
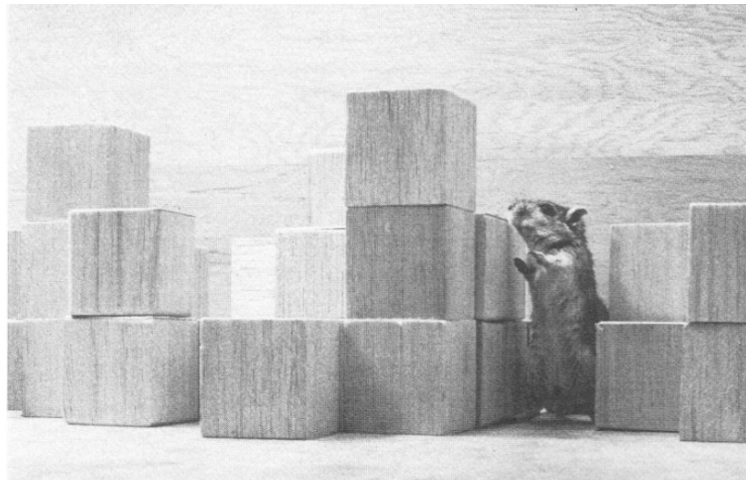
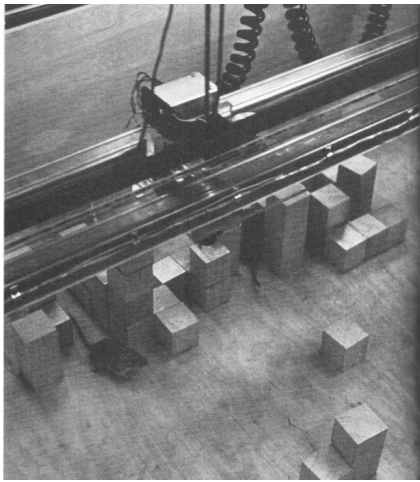
71 « Software: Information Technology: Its New Meaning For Art. » J. Burnham, ed. Jewish Museum, New York, 1970.

72 « Le terme de feedback (ou boucle de rétroaction) défini, au sens cybernétique, une double capacité de la machine : pouvoir vérifié et modifier un état ou une situation donnée. Ce processus induit une régulation par des procédure continue d'ajustement entre l'information entrante et l'information sortante, qui vise un but ou une finalité optimale. » Durant, D. (2010). La systémique (Que sais-je éd., Vol. 1795). PUF. P.38





*(fig. 31) Page de Couverture de l'ouvrage « Soft Architecture Machines », 1970  
Nicholas Negroponte, MIT Press*



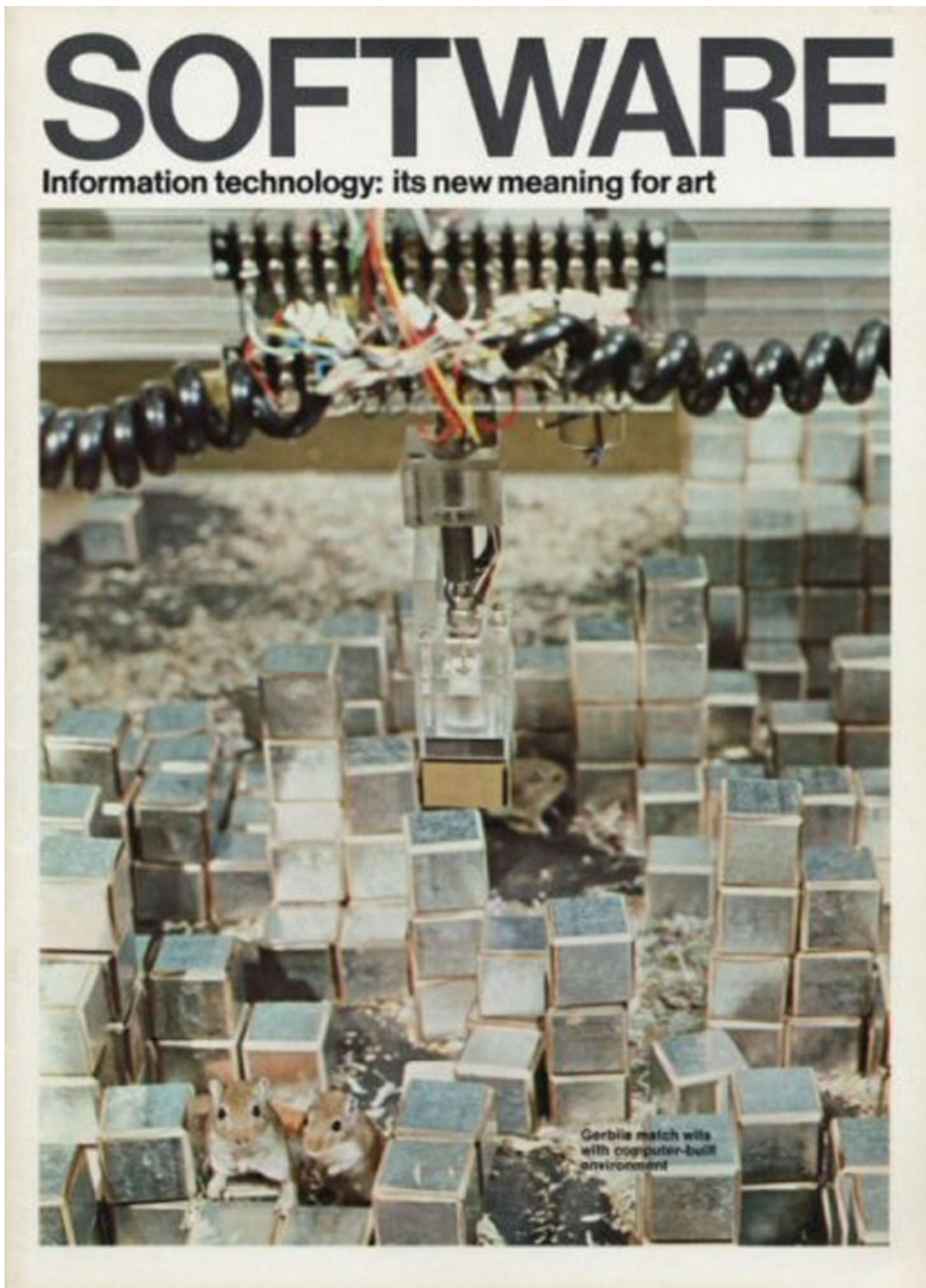
*(fig. 32) Seek, 1969*

**Nicholas Negroponte, Architecte**

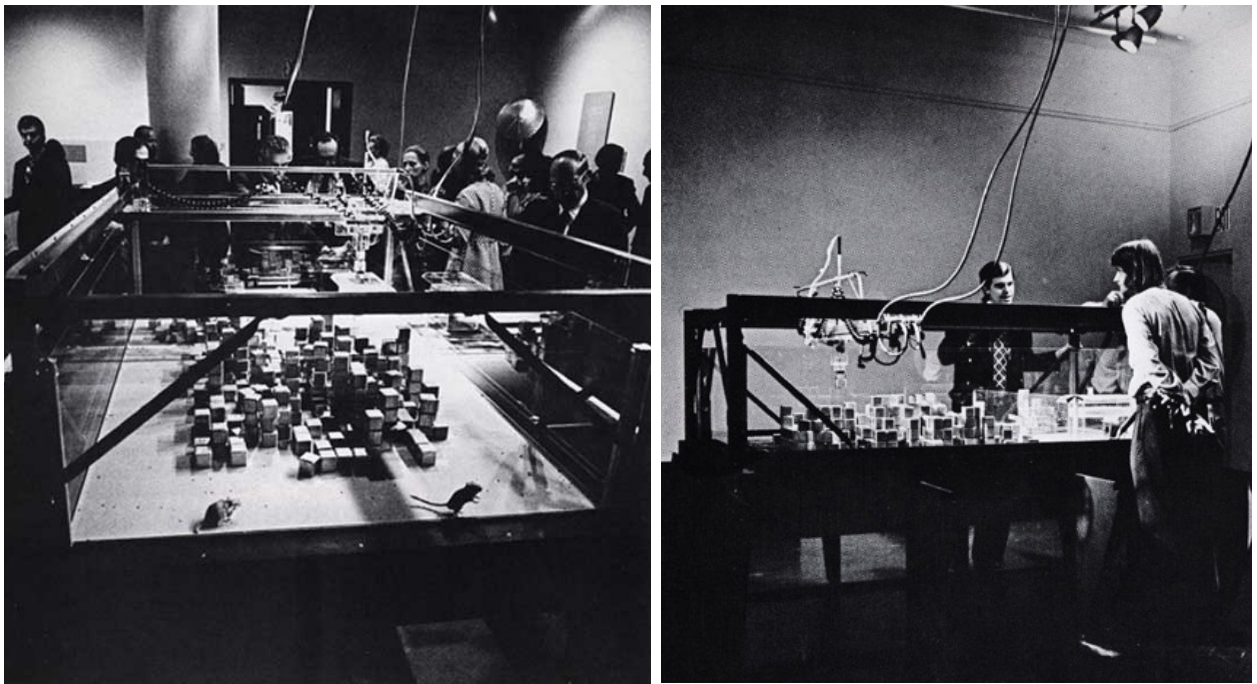
**Architecture Media Group M.I.T.**

*Projet expérimental développé par Nicholas Negroponte au MIT Media Lab. L'installation est une construction à base de blocs (en bois ou en acier) repositionnables, grâce à un bras robotique qui interprète les déplacements de gerbilles. Le modèle fonctionne comme un écosystème qui s'adapte automatiquement en fonction des aléas.*





(fig. 33) *Software : information technology : its new meaning for art*. 1970  
Catalogue de l'exposition au New York : Jewish Museum, Commissaire Jack Burnham



*(fig. 34) Seek Machine, 1970*

**Nicholas Negroponte, architecte, MIT**

*Installation au Jewish Museum de New York, dans le cadre de l'exposition Software : information technology : its new meaning for art. Commissaire Jack Burnham*



Le projet Seek a été conçu comme un modèle cybernétique, mais aussi comme une sorte de laboratoire comportementaliste d'observation et d'expérimentation. Il permet de mieux comprendre l'interaction homme-machine, dans un environnement de modélisation participatif de projet urbain ou architectural. Le but consiste, d'une part, à aider les architectes à résoudre les problèmes de conception, et, d'autre part, à aider les usagers à mieux communiquer avec les architectes. « Seek » est un médium qui se base sur un mode de représentation plutôt conventionnel : une maquette volumétrique réduite à sa plus simple expression par des volumes cubiques symbolisant des constructions, un plan géométrique en damier, des matériaux faciles à déplacer, à combiner, à agencer pour représenter un concept. Au-delà de cette simplicité apparente, l'objectif du dispositif est d'instaurer une relation de réciprocité entre l'utilisateur et la machine, ou entre l'utilisateur et l'architecte qui programme la machine. Le résultat de l'expérimentation est un échange direct, continuellement évolutif, entre la réalité tridimensionnelle du modèle en mouvement (produit par les gerbilles) et le modèle génératif en 3D, résidant dans le programme de l'ordinateur. Pour que le mode de conception soit possible, un dispositif de reconnaissance de mouvement et de forme est situé au-dessus du modèle physique. Ce dispositif permet l'interaction réciproque entre le modèle 3D physique et le modèle 3D virtuel, enregistré préalablement dans la base de données. Il s'agit d'un bras électronique contrôlé par l'ordinateur, qui observe la maquette composée de cubes et agit sur elle. Le bras peut empiler, aligner et trier les blocs de métal à l'aide d'un petit électro-aimant et de sept entrées de détection (capteurs de pression, capteurs optiques ...) qui actionnent une pince mécanique fixée à son extrémité.

Avec cette expérimentation, Negro Ponte a réalisé un système global dans lequel la machine est capable de proposer une solution après qu'une série de problèmes lui aient été posés, par l'intermédiaire de blocs tangibles.

### *3.7. Les prototypes tangibles de John et Julia Frazer : l'héritage des premiers protagonistes.*

La démarche expérimentale de John et Julia Frazer emprunte autant au concept de Negro Ponte (Seek machine) qu'à celui de Friedman (Flatwriter). Elle constitue, quelques années après eux, leurs prolongements tant idéologiques que technologiques. Dans ce sens, Friedman, Negro Ponte et Frazer visent le même objectif : reléguer l'architecte au rang de médiateur entre l'utilisateur et l'édifice architectural. Mais si Negro Ponte et Yona Friedman voient les ordinateurs comme des dispositifs éducatifs, permettant

d'engager les non-experts dans le processus de conception, Frazer n'aborde pas explicitement la démocratisation des outils. Pour lui, il ne s'agit pas d'utiliser l'ordinateur comme aide à la conception, mais plutôt en tant que nouvel artefact permettant de contrôler directement, sans l'intermédiaire de l'architecte, un espace architectural. Devenu évolutif grâce aux technologies intégrées dans son système de construction, l'espace architectural devient le réceptacle des besoins de l'utilisateur. À l'instar du programme de l'ordinateur, il se transforme et se module au sein d'un processus continu de régénération.

Frazer considère donc la personnalisation de la conception par l'utilisateur à travers l'interaction avec un environnement programmable et reconfigurable, capable de répondre aux mouvements de la société et aux désirs de ses habitants. Il conçoit l'architecture comme un organisme intelligent et mouvant, tel un automate régulé par l'utilisateur aux commandes d'un ordinateur, de sorte que l'architecture et l'outil informatique forment un système indissociable.

### 3.7.1. *La pensée cybernétique et l'influence de Gordon Pask .*

Au cours de ses premières recherches, dans les années soixante-dix, Frazer travaille sur l'hypothèse qu'il y a une analogie directe entre la machine informatique et l'architecture. On parle d'ailleurs déjà de l'architecture comme système informatique, en comparaison avec l'architecture du système du premier ordinateur d'IBM<sup>(73)</sup> 360. À ce propos, Éric de Thoisy que la première mention explicite du terme architecture dans la sphère de l'informatique pour être attribué à l'architecte Peter Amdahl pour qui l'informatique se construit en imitant l'architecture . Peter Amdahl publie en 1964 l'article « Architecture du système IBM 360 », où il expose que l'architecture devient un ordinateur<sup>(74)</sup> : « *Le terme architecture est utilisé ici pour décrire les propriétés d'un système tel que le voit le programmeur, c'est-à-dire la structure conceptuelle et le comportement fonctionnel, à distinguer de l'organisation du flux et du contrôle de données, du design logique, et de l'organisation physique* ».

En réalité, l'origine de cette analogie prend sa source dans la période de l'après-guerre avec les théories de Gordon Pask, figure majeure de la rencontre entre architecture

73 Thoisy, E. (2017, 15 décembre). Entre architecture et informatique : une relation de *mimesis* fondatrice, dans *Architecture et numérique, deux ontologies solidaires*. Sens public. <http://sens-public.org/articles/1277/>, consulté le 10/03/2019

74 Amdahl, G. M., Blaauw, G. A., & Brooks, F. P. (1964). Architecture of the IBM System/360. *IBM Journal of Research and Development*, 8(2), 87. <https://doi.org/10.1147/rd.82.0087>

et cybernétique. Ce dernier publie notamment en 1969 « *The Architectural Relevance of Cybernetics* », un article particulièrement révélateur de l'émulation qui agite alors le champ de l'architecture. Pask y propose un certain nombre de prédictions quant aux devenirs de la discipline et de la pratique architecturales, prédictions qui influenceront les protagonistes de l'avant garde comme Cédric Price, Buckminster Fuller, Peter et Alison Smithson, les Archigram et les Archizoom, Arata Isozaki... pour ne citer qu'eux. Dans « *The Architectural Relevance of Cybernetics* », Pask dévoile une synthèse de sa réflexion. Il y défend l'idée que l'informatique est un modèle méthodologique pour penser, pour construire et pour vivre l'architecture. Il fait le postulat selon lequel la cybernétique serait le nouveau langage de l'architecture. La cybernétique et l'architecture entretiennent d'ailleurs déjà une relation connexe puisque toutes deux partagent un processus conceptuel commun. Avant toute autre chose, l'architecte est un concepteur de systèmes formels, communicationnels, relationnels, structurels, fonctionnels. Il invente donc sans cesse les règles combinatoires. Et à la différence des théories architecturales objectives uniquement prescriptives, la théorie cybernétique est aussi prédictive et rétroactive. À l'instar de l'informatique, elle est structurée par des règles combinatoires, elle permet le calcul et la simulation, elle induit donc l'anticipation, la rétroaction et l'adaptation. Intégrées dans la conception de l'architecture, ces notions permettent de réguler harmonieusement le processus de développement des espaces habités en fonction des fluctuations réelles (habitants, usages, environnement...) La cybernétique rend possible la prévision et la maîtrise en amont de leurs évolutions dans le temps. On peut parler de l'incorporation de la notion informatique du feedback dans l'espace architectural. En outre, la théorie cybernétique de Pask rapproche l'architecture de l'intelligence artificielle grâce au transfert de programmes robotiques qui peuvent modifier certains aspects de la construction architecturale avec l'intégration, par exemple de systèmes de commandes informatiques dans les systèmes constructifs. Comme l'ordinateur, la structure de l'architecture est un système régi par des algorithmes évolutifs qui peuvent changer la spatialité au gré des fluctuations « vivantes ». Les mouvements des usagers, les activités, l'environnement sont transformés en données exploitables par un programme paramétrique conçu par l'architecte. Ces fluctuations l'emportent sur les formes architectoniques qui n'ont plus de raisons d'être. L'idée d'une architecture évolutive fonctionnant comme un métabolisme vivant autorégulé intéresse particulièrement John Frazer, ainsi que Cédric Price, avec lequel il collabore (*Fun Palace*, 1961–1974).

### 3.7.2. Les premières expérimentations

Jeune architecte diplômé de l'AA School<sup>(75)</sup> au milieu des années 1960, John Frazer est à l'avant-garde intellectuelle dans le domaine de la conception assistée par ordinateur. Durant ses études, Frazer hérite des théories du cybernéticien Gordon Pask qui ouvrent la voie de l'interaction homme machine appliquée à la théorie de l'architecture<sup>(76)</sup>. On peut dire que c'est l'influence de Pask qui fait de Frazer l'un des pionniers des systèmes interactifs tangibles appliqués au design de l'architecture<sup>(77)</sup>. Ces systèmes trouvent leur concrétisation dans l'invention des outils d'aide à la conception, réalisés en collaboration avec Cédric Price ou Walter Segal quelques années plus tard. Pour développer ses concepts, Frazer et sa femme Julia, une ex-informaticienne du célèbre laboratoire de recherche Xerox Park, élaborent des kits de modélisation tangibles, qui trouveront leur application dans deux projets exemplaires : le Generator Project (1976-1979) de Cédric Price, le Modèle Segal (1978-1979), et se concrétisera par l'invention de Universal constructor<sup>(78)</sup>.

Quand Frazer commence sa carrière, la culture informatique est en train de se propager au sein de la communauté des architectes, mais son utilisation est encore très limitée. Il y a peu de logiciels de modélisation architecturale, et la plupart sont encore très coûteux et inaccessibles pour de jeunes praticiens. De plus, ils sont majoritairement profilés pour générer des modèles de productions conventionnelles ; ils ne permettent pas l'intuitivité que Frazer recherche à travers l'informatique.

Toutes ces contraintes incitent John Frazer à rechercher l'autonomie et le poussent à expérimenter de nouveaux processus de travail adaptés à ces ambitions. Très vite, Frazer prévoit de développer ses propres outils informatiques, comme le ferait un artisan, un électricien, ou un informaticien. L'innovation architecturale, telle qu'il l'imagine, n'est possible qu'à condition d'inventer préalablement les outils de conception informatiques et électroniques. Ainsi, on peut dire que l'économie de moyen induite par l'inaccessibilité du matériel informatique, l'a conduit à repenser radicalement tout un

75 Architectural Association School of Architecture (Londres) : célèbre école d'architecture britannique, privée et indépendante, considérée comme une institution pédagogique radicale, expérimentale et avant-gardiste.

76 Frazer, J. rend hommage à Gordon Pask dans une exposition organisée à la AA en 1965: « This was part of an experimental project at the AA from 1989 to 1996 involving my postgraduate students. Cybernetics was central to this project and Gordon played a role in this adventure, tutoring my students right up to his death in 1996. The exhibition stretched back to the 1960s when I was a student at the AA and the role of cybernetics in architecture was just beginning to be acknowledged. Right from the outset Gordon Pask was a source of inspiration and soon became directly involved. This essay establishes the background in the speculative ideas of the 1960s and illustrates their realisation in a project of global significance in the 1990s. It pays tribute to Pask's role and influence, and indicates his contribution to an increasingly environmentally responsive architectural theory that may lead to a more humane and ecologically conscious environment". Frazer, John H. (2001) *The Cybernetics of Architecture: A Tribute to the Contribution of Gordon Pask*. *Kybernetes*. The International Journal of Systems & Cybernetics 30 (5/6), 641-651.

77 Frazer, J. (2001). The cybernetics of architecture: a tribute to the contribution of Gordon Pask. *Kybernetes*, 30(5/6), 641-651. <https://doi.org/10.1108/03684920110391896>

78 Frazer, J. H. (1993). The architectural relevance of cybernetics. *Systems Research*, 10(3), 4348. <https://doi.org/10.1002/sres.3850100307>



pan de la conception architecturale assistée par l'ordinateur. Il intègre alors, dans le processus d'élaboration du projet, l'écriture informatique et la conception électronique.

Frazer défend l'idée que l'architecte doit maîtriser l'informatique avant que celle-ci n'impose ses propres règles. Pour lui, les interfaces de conception, comme les souris, les écrans, les nouveaux logiciels transfèrent de manière réductrice le processus figé par le dessin graphique (le plan, la coupe...), et maintiennent l'architecte dans un conformisme obsolète. Pour dépasser cette tendance, l'architecte doit maîtriser la structure des processus informatiques. Il doit savoir développer son propre langage en « code machine ». Il doit notamment comprendre les systèmes informatiques et l'électronique des ordinateurs, pour être en capacité de les détourner.

À l'Architectural Association School où il enseigne, au milieu des années 1970, Frazer milite pour un design sans papier, sans écran, et sans dessin. Il prétend que la conception peut être aussi simple qu'un jeu de construction. Pendant ses cours, Frazer fait d'ailleurs référence au célèbre « jeu de la vie » du mathématicien John Conway<sup>(79)</sup> élaboré quelques années auparavant. Le « jeu de la vie » est un programme ludique d'intelligence artificielle, qui vise à simuler un dialogue entre l'homme et l'ordinateur, comme si tous deux étaient des joueurs de nature égale. Ce concept a conduit à de nombreuses spéculations sur la relation étroite entre le calcul de l'ordinateur et la créativité de l'individu, et montre que des règles simples, comme celle d'un jeu, peuvent produire des concepts complexes.

Selon Frazer, le partenariat homme-ordinateur, ou plutôt la symbiose entre l'homme et l'ordinateur<sup>(80)</sup> est l'un des aspects les plus passionnants de l'évolution de l'architecture, tant au sein du processus de conception que dans la construction des nouveaux édifices. Cette vision radicale et providentielle de Frazer s'oppose à l'inquiétude ambiante quant à la « déshumanisation de la créativité » que certains architectes expriment encore à propos de l'ordinateur. Mais pour Frazer, au contraire, la créativité émergerait de la relation quasi affective ou fusionnelle que l'architecte peut créer avec la machine<sup>(81)</sup>.

Avec cette conviction, il encourage ses étudiants à créer leurs propres machines informatiques, et à inventer leurs programmes. Parallèlement à l'apprentissage du projet,

79 À la fin des années soixante, John Horton Conway, chercheur au laboratoire de mathématiques de l'Université de Cambridge développe le programme « jeu de la vie » s'inspirant de l'auto-réplicateur du mathématicien John Neumann. Comme son nom l'indique, le « jeu de la vie » tente simuler un comportement « réaliste » de l'ordinateur comme si l'homme et l'ordinateur ne faisait qu'un. En réalité le but de Conway cherche à démontrer la nature universelle et transversale de l'ordinateur, c'est à dire applicable à tous les domaines du développement de la société, comme les sciences cognitives.

80 Frazer, J. (1994). *An Evolutionary Architecture*. Architectural Association. 1-7

81 *Ibid.* The role of Human Creativity.18-19

les futurs architectes acquièrent les compétences de l'informatique en même temps que celles de l'électronique et de la robotique. Avec cette éducation périphérique à la culture de la conception architecturale, les étudiants sont capables d'inventer leurs propres interfaces de conception. Le mélange des savoirs les amène naturellement à réaliser des maquettes d'architecture qui ont des capacités similaires aux ordinateurs, ou encore à concevoir des machines électroniques et informatiques qui ressemblent à des maquettes d'architecture : celles-ci sont reprogrammables, démontables, évolutives. L'ordinateur et l'architecture se confondent en un système équivalent, régulé par des algorithmes évolutifs. (*fig.35*)

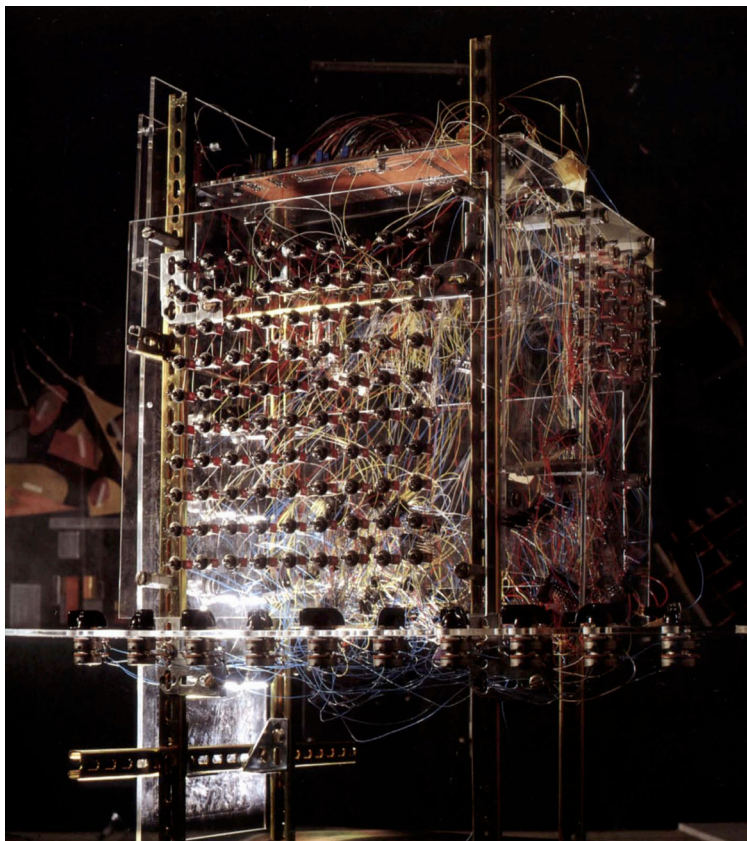
À travers ces concepts inédits que ses étudiants expérimentent, Frazer cherche à développer de nouvelles interfaces de modélisation spatiale et manuelle. Ainsi, en voulant sortir des outils conventionnels qui maintiennent l'architecte dans la tradition de la conception, Frazer teste d'autres outils de représentation plus dynamiques, qu'il qualifie d'interactifs. Ces derniers consistent essentiellement à incorporer des composants électroniques, dans des kits de construction à assembler à la manière des jeux de Fröbel. C'est en construisant manuellement et intuitivement avec des blocs en plastique que la forme du projet apparaît.

### 3.7.3. La société Autographic

Pour concrétiser l'environnement de travail qu'il élabore avec ses étudiants et au cours de ses recherches, Frazer crée la société Autographic avec ses partenaires que sont Paul Frazer, ingénieur en électronique et Julia Frazer, chercheur en informatique. Ils se donnent ainsi les moyens de réaliser un ensemble d'outils parfaitement adaptés à leur vision. Leur but est surtout de diffuser une approche alternative de la conception architecturale et informatique, afin de permettre à une communauté d'architectes d'expérimentent de nouveaux modèles de conception architecturale. Cedric Price et Walter Segal seront les premiers à tenter ces expérimentations. Au sein de leur nouvelle société Autographic, les Frazer commercialisent leurs premiers outils d'aide à la conception.

Les outils mis en place sont constitués de maquettes tangibles, articulées, emboitables, démontables, couplées à au programme informatique « General Purpose Pattern Program », écrit en langage ISPL<sup>(82)</sup>. Cet ensemble remplace les logiciels de dessin géométrique et assure le face-à-face avec l'écran de l'ordinateur. Les maquettes,

82 Créé à partir de Lisp, un langage informatique utilisé pour la recherche en intelligence artificielle. Lisp a été inventé par John McCarthy en 1958 au MIT.



*(fig. 35) Maquettes d'architecture électronique, 1985*  
*John Frazer, Architecte*  
*AA Diploma Unit 11, AA School of Architecture*

équipées de microcomposants électroniques dotés différentes fonctionnalités, sont constituées de blocs de forme cubiques, que l'on manipule manuellement pour construire une représentation en volume et ainsi effectuer des opérations graphiques élémentaires comme les rotations, les duplications, les symétries... Le dispositif est complété par un plateau en damier sur lequel se positionnent les blocs. Équipé d'un processeur de contrôle, ce socle détecte l'emplacement en plan de chaque bloc, son orientation, son identité... Lorsque la maquette est construite, le plateau transmet les informations au programme de visualisation, qui a pour tâche d'exporter le modèle tangible en modèle virtuel. (**fig.36**)

Frazer évoque une « modélisation plastique » du projet, qui cherche à évincer la technique laborieuse et statique du dessin pratiqué avec l'ordinateur, la souris, le clavier<sup>(83)</sup>. Il y a bien une représentation visuelle de la construction tactile, en deux dimensions, principalement des plans et des façades. Cette transcription se produit automatiquement, presque en temps réel, grâce à un traceur directement connecté à la maquette tangible. Puisque celle-ci est démontable et reconfigurable, la représentation l'est aussi, automatiquement, simplement par un procédé d'impression illimité, qui permet de mémoriser et visualiser toutes les étapes de la construction de la maquette tangible. Le dessin n'est jamais figé : le processus de projet peut se recomposer indéfiniment, puisque la maquette tangible est démontable. (**fig.37**)

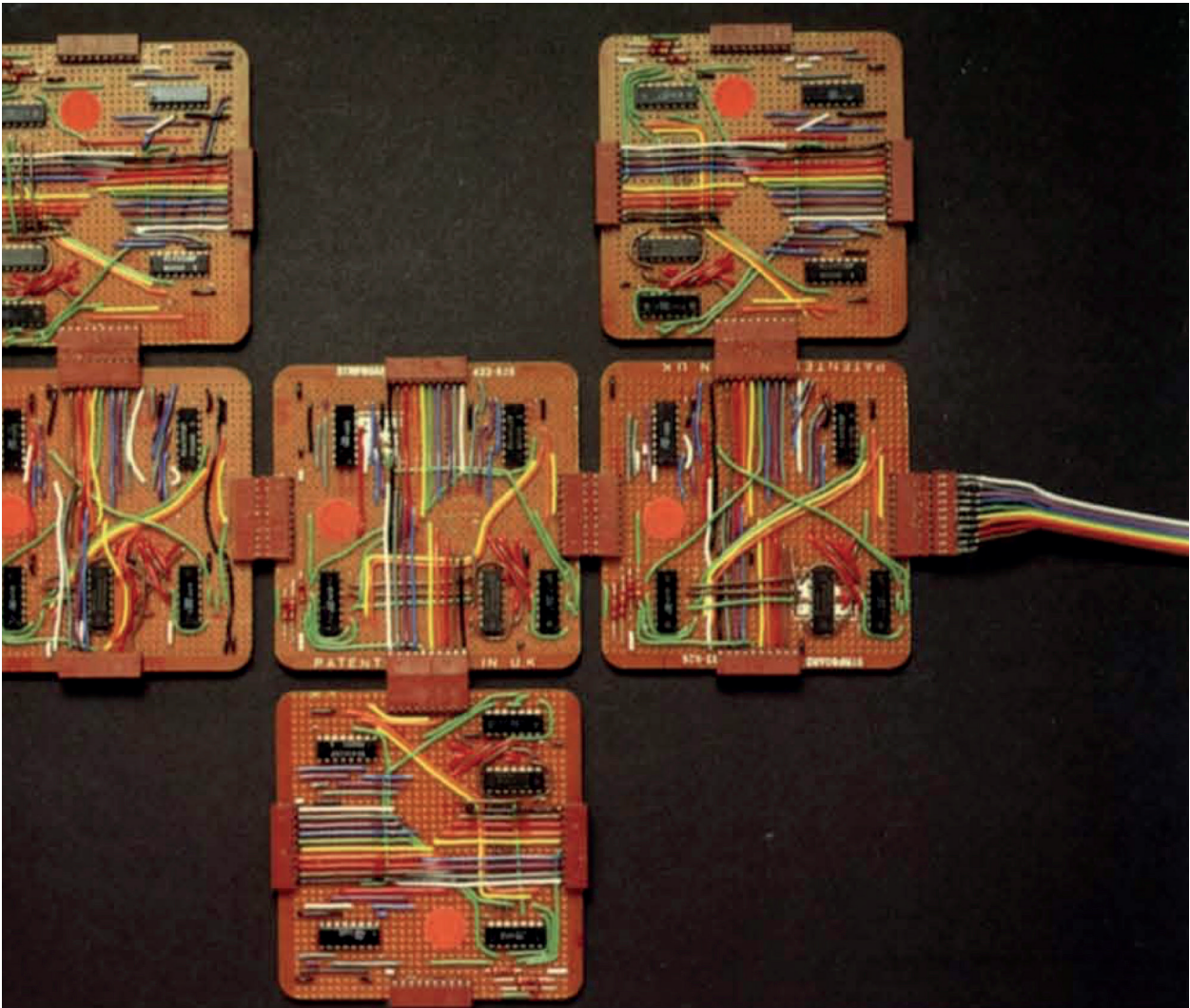
Cette nouvelle approche de la représentation du projet d'architecture transforme profondément le processus conceptuel qui se fonde ici sur l'élaboration d'un nouveau langage constitué d'un vocabulaire et de sa syntaxe. Cela forme les règles d'un processus où les éléments codés sont lus par la machine pour aboutir à l'élaboration du projet. On peut noter que cette décomposition sémantique du processus conceptuel s'apparente aux travaux d'Alexander qui avait élaboré un langage graphique de composition projectuelle. Cette démarche innovante et stimulante développée par la société Autographic a suscité l'intérêt de quelques architectes. Cédric Price figure parmi ceux-ci. À la faveur d'une commande passée par un maître d'ouvrage ouvert et confiant, il a montré comment le projet architectural se compose de façon nouvelle avec l'utilisation des outils élaborés par les Frazer.



équipées de microcomposants électroniques dotés différentes fonctionnalités, sont constituées de blocs de forme cubiques, que l'on manipule manuellement pour construire une représentation en volume et ainsi effectuer des opérations graphiques élémentaires comme les rotations, les duplications, les symétries... Le dispositif est complété par un plateau en damier sur lequel se positionnent les blocs. Équipé d'un processeur de contrôle, ce socle détecte l'emplacement en plan de chaque bloc, son orientation, son identité... Lorsque la maquette est construite, le plateau transmet les informations au programme de visualisation, qui a pour tâche d'exporter le modèle tangible en modèle virtuel. (**fig.36**)

Frazer évoque une « modélisation plastique » du projet, qui cherche à évincer la technique laborieuse et statique du dessin pratiqué avec l'ordinateur, la souris, le clavier<sup>(83)</sup>. Il y a bien une représentation visuelle de la construction tactile, en deux dimensions, principalement des plans et des façades. Cette transcription se produit automatiquement, presque en temps réel, grâce à un traceur directement connecté à la maquette tangible. Puisque celle-ci est démontable et reconfigurable, la représentation l'est aussi, automatiquement, simplement par un procédé d'impression illimité, qui permet de mémoriser et visualiser toutes les étapes de la construction de la maquette tangible. Le dessin n'est jamais figé : le processus de projet peut se recomposer indéfiniment, puisque la maquette tangible est démontable. (**fig.37**)

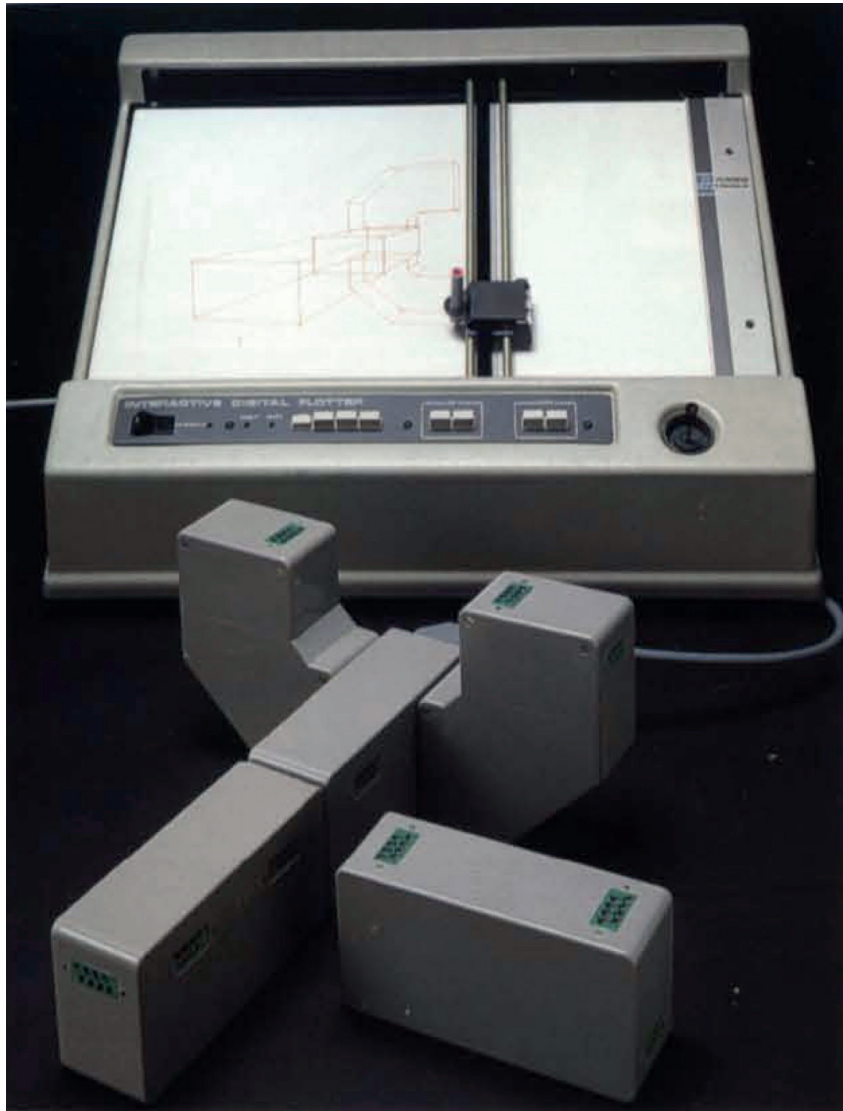
Cette nouvelle approche de la représentation du projet d'architecture transforme profondément le processus conceptuel qui se fonde ici sur l'élaboration d'un nouveau langage constitué d'un vocabulaire et de sa syntaxe. Cela forme les règles d'un processus où les éléments codés sont lus par la machine pour aboutir à l'élaboration du projet. On peut noter que cette décomposition sémantique du processus conceptuel s'apparente aux travaux d'Alexander qui avait élaboré un langage graphique de composition projectuelle. Cette démarche innovante et stimulante développée par la société Autographic a suscité l'intérêt de quelques architectes. Cédric Price figure parmi ceux-ci. À la faveur d'une commande passée par un maître d'ouvrage ouvert et confiant, il a montré comment le projet architectural se compose de façon nouvelle avec l'utilisation des outils élaborés par les Frazer.



*(fig. 36) Machine-readable models as input devis, working prototype, 1980*

**John Frazer, Architecte**

*Un des premiers prototypes de tapis intelligents assemblés en réseau. L'électronique embarquée permet d'identifier chaque tapis rapidement et de transmettre des messages à un processeur de contrôle qui en déduit la configuration spatiale des tapis. La technique utilisée pour les tapis est étendue à trois dimensions et un concept d'auto-inspection est introduit. Chaque cube examine à tour de rôle chacune de ses faces. Et si un autre cube est trouvé, un message est renvoyé et le contrôle est transféré du cube vers le cube adjacent.*



**(fig. 37a) Flexible modeling système, 1982**

**John Frazer, Architecte**

*Modélisation à géométrie variable à l'aide de blocs tangibles, directement connectés au traceur. Le système de modélisation intelligent intègre des capteurs d'orientation qui identifie la position des blocs dans l'espace.*

**(fig. 37 b) Système miniaturisé, 1982**

**John Frazer, Architecte**

*De très petits blocs ne peuvent être empilés que verticalement.*

### 3.7.4. Architecture expérimentale : Cédric Price et Le Generator (1976-80)

À l'occasion d'une commande originale du mécène Howard Gilman, Cédric Price a pu expérimenter l'applicabilité des systèmes informatiques au domaine de la conception architecturale. Il s'agit du projet « Generator », un centre de retraite évolutif, ouvert à une centaine de personnes au maximum, situé en pleine nature, propice aux impulsions créatrices. En termes de programmation architecturale, le Generator vise à offrir des espaces d'émancipation en s'appuyant essentiellement sur les compétences des utilisateurs à créer de nouvelles situations architecturales. Dans ce sens, le projet est un manifeste contre les préceptes établis de la profession d'architecte. Il cherche à se défaire de l'idée qu'un programme architectural détermine de manière définitive la forme et la fonction de l'édifice, ne laissant aucune possibilité d'implication à l'utilisateur pendant le processus d'élaboration de son plan. Ainsi l'architecture du Generator est un programme qui reste volontairement inabouti : il se traduit par une matérialisation et une spatialisation des aménagements, exemptes d'archétypes formels, qui laissent la place à l'imaginaire des utilisateurs. Les espaces sont conçus au fil de l'improvisation des utilisateurs qui s'emparent des blocs élémentaires à disposition pour reconfigurer l'architecture en permanence.

Ce projet représente une étape importante dans la recherche de Price. Il y explore avec davantage de pragmatisme que dans le Fun Palace, les principes de l'architecture cybernétique et des structures non permanentes. Il y exploite de nombreux outils de conception du Fun Palace, mais de manière nouvelle et plus approfondie du point de vue de la résolution technologique et informatique.

La vocation principale du Generator est d'accueillir des événements propices à l'épanouissement de la société, en offrant de l'espace et du temps libre pour tous types d'actions culturelles et créatives à caractères éducatifs et ludiques. Il s'agit de créer un environnement agréable, disponible 24 heures sur 24, aussi varié que possible et susceptible de changer, afin de fournir des installations de divertissement conventionnel et non conventionnel; apprentissage et investigation; expression de créativité constructive et idées imaginatives pour fournir les commodités, installations et équipements que les utilisateurs pourraient raisonnablement exiger pour fournir de la bonne nourriture et des boissons à des prix raisonnables, pour donner accès à



des informations et à des connaissances scientifiques qui ne sont normalement pas accessibles à la majorité des gens.<sup>(84)</sup>

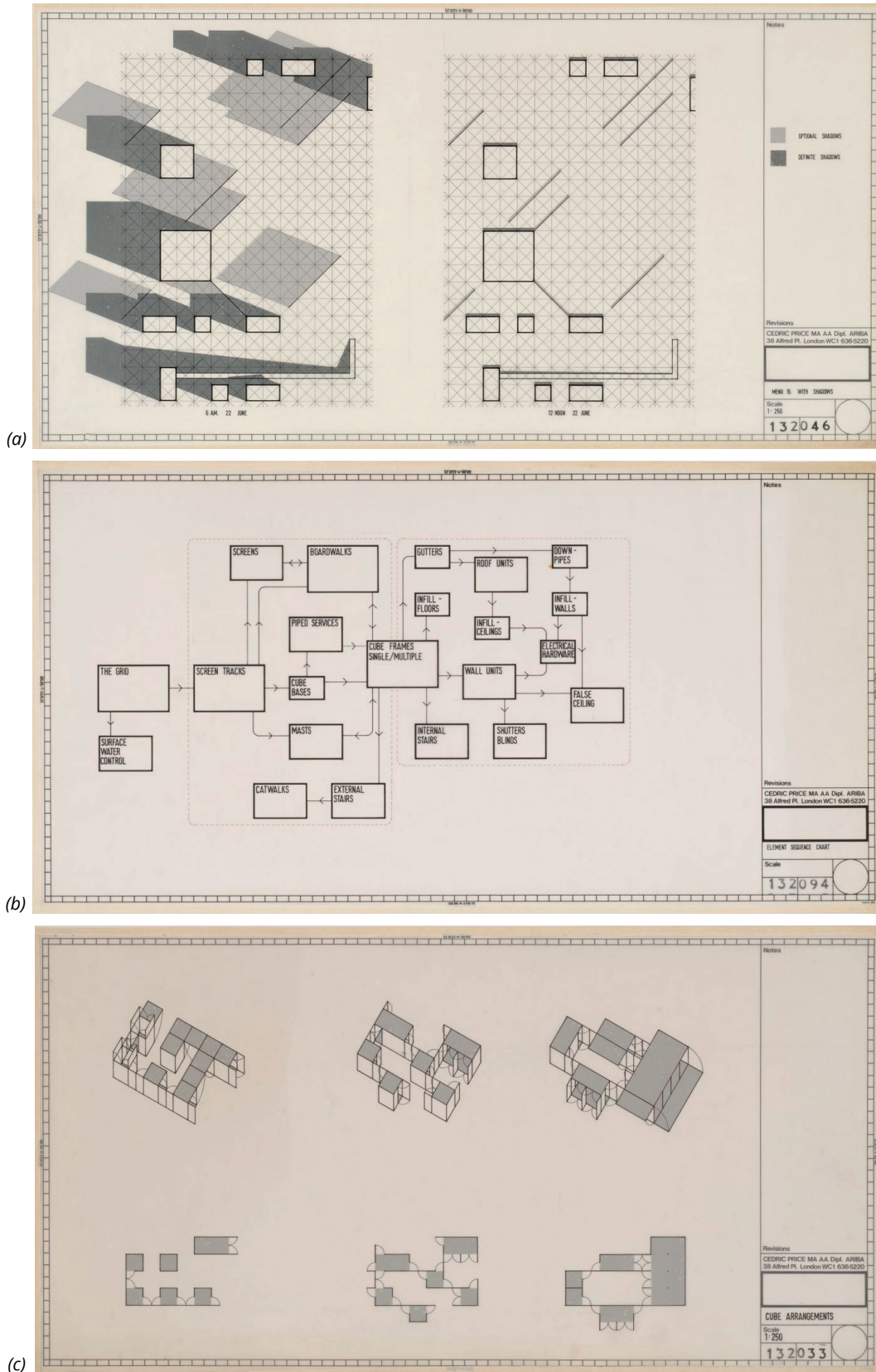
Destiné à susciter le comportement créatif des individus, le défi de sa conception consiste à réaliser un espace architectural en perpétuel mouvement. Cette stratégie fonctionne sur le principe d'une interaction continue entre l'espace architectural et l'utilisateur qui est l'instigateur du projet ; un processus rendu possible grâce à l'interaction directe qui s'opère entre la conception à l'aide de blocs connectés et paramétrés, et la construction de l'édifice.

En effet, l'architecture du Generator est simplifiée à l'extrême, presque en analogie avec la maquette. Elle est seulement constituée d'un plan quadrillé sur lequel sont disposés « 150 cubes de 12 pieds sur 12 pieds, construits avec des panneaux de remplissage standard, des portes vitrées et des portes coulissantes en verre »<sup>(85)</sup>. Un ensemble de grues et de passerelles complète l'équipement pour assurer le déplacement des blocs et leur interconnexion. Cédric Price met en place une stratégie programmatique similaire en quelque sorte à un programme informatique : le programme architectural fonctionne comme un ordinateur doté d'une puissance de calcul hors du commun, équipé d'une interface et d'une mémoire qui enregistre l'évolution des plans au fur et à mesure de son utilisation. Grâce à une infrastructure qui permet la transformation des espaces, l'édifice se modifie et s'adapte immédiatement . **( fig. 38,39,40)**

Avec cette expérimentation tant conceptuelle qu'architecturale, Cédric Price a mis en œuvre en grandeur réelle le système élaboré par les Frazer, offrant ici une sorte d'excellence de la conception participative, mettant en relation presque directe la maquette de conception et les espaces à vivre. Il offrait dès lors aux utilisateurs une pratique de l'espace constamment adaptable en fonction des appropriations successives et à venir. Cette expérimentation architecturale l'a incité à poursuivre la recherche avec les Frazer pour tenter de pérenniser l'outil de conception.

84 Wright Steenson, M. (2006, 1er mai). *Artificial Intelligence, Architectural Intelligence: The Computer in Architecture, 1960–80*. girlwonder.com. <http://www.girlwonder.com/blog/wp-content/uploads/2010/05/steenson-dissertation-proposal.pdf>

85 Wright Steenson, M. (2010). Cedric Price's Generator. *Crit, the journal of the AIAS, Spring*, 15. <http://www.girlwonder.com/blog/wp-content/uploads/2010/04/crit-piece.pdf>



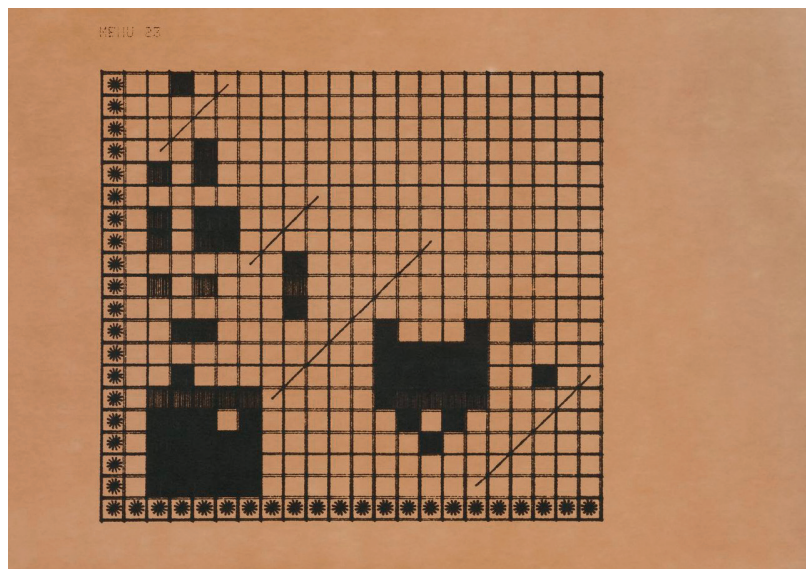
**(fig. 38) Generator Project , 1976/1980**

**Cedric Price , Architecte**

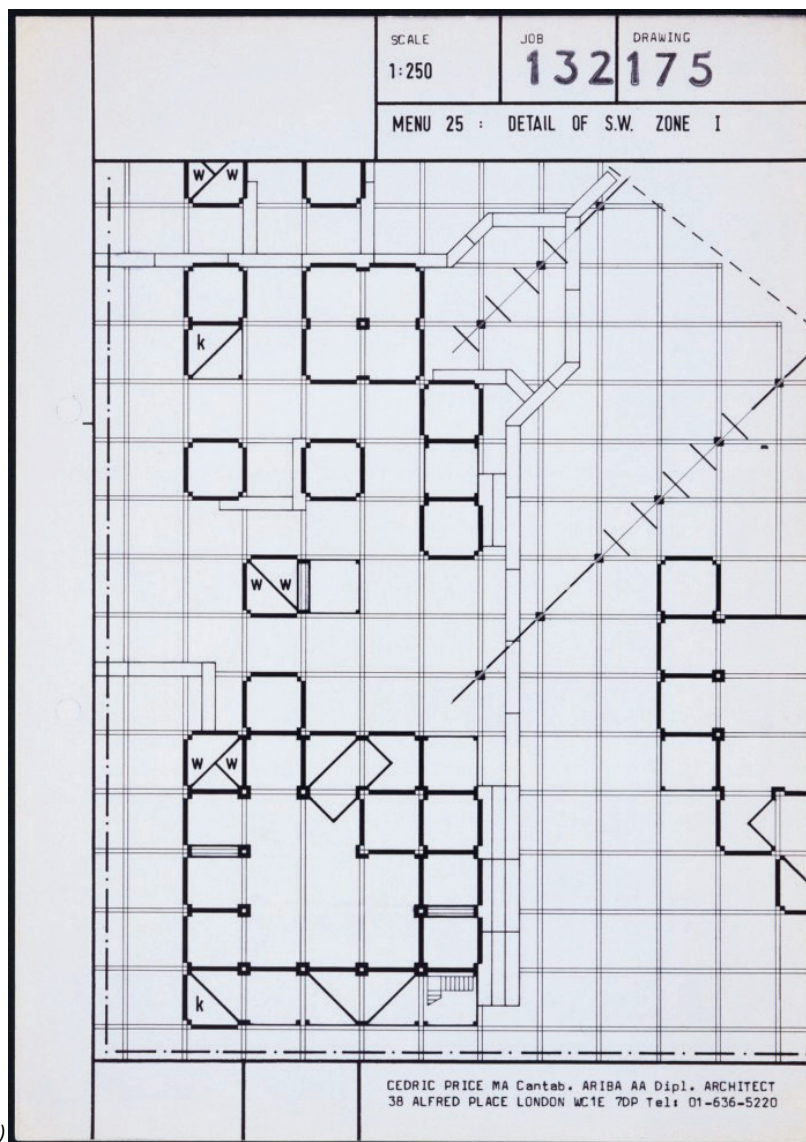
(a) Shadow studies, 1977

(b): Diagrammatic chart of element sequence, 1977

(c) Axonometric view of cube arrangements, 1977



(a)



(b)

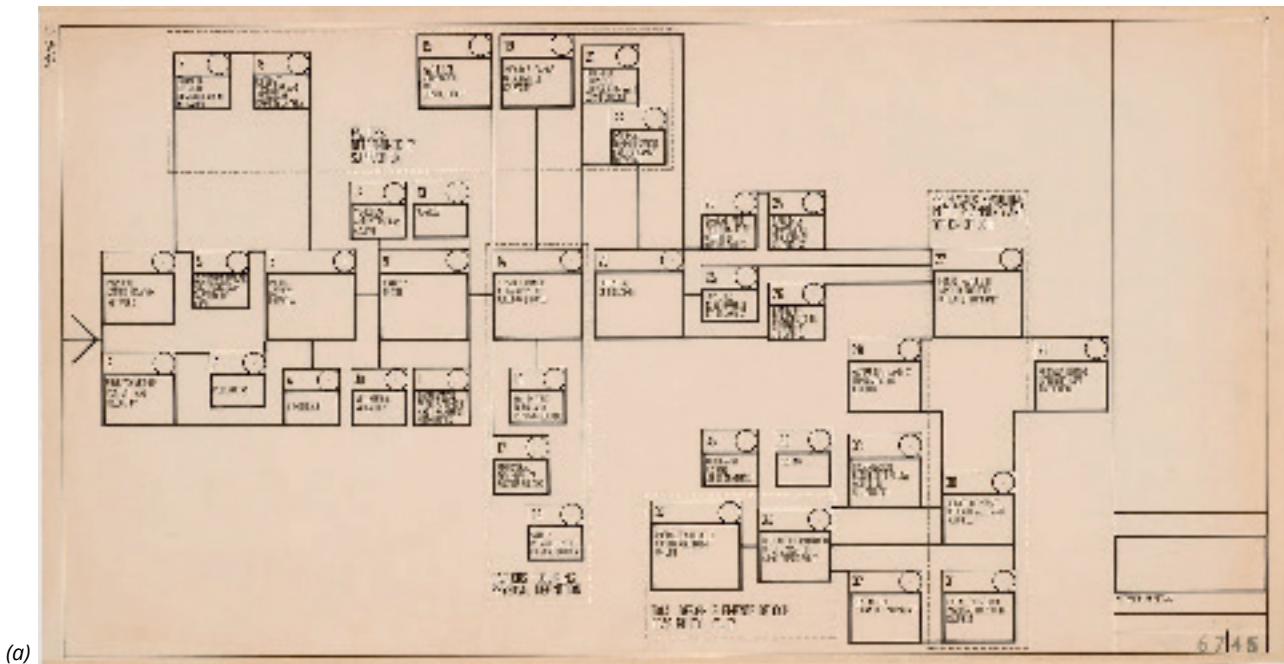
(fig. 39) Generator Project, 1976/1980

Cedric Price, Architecte

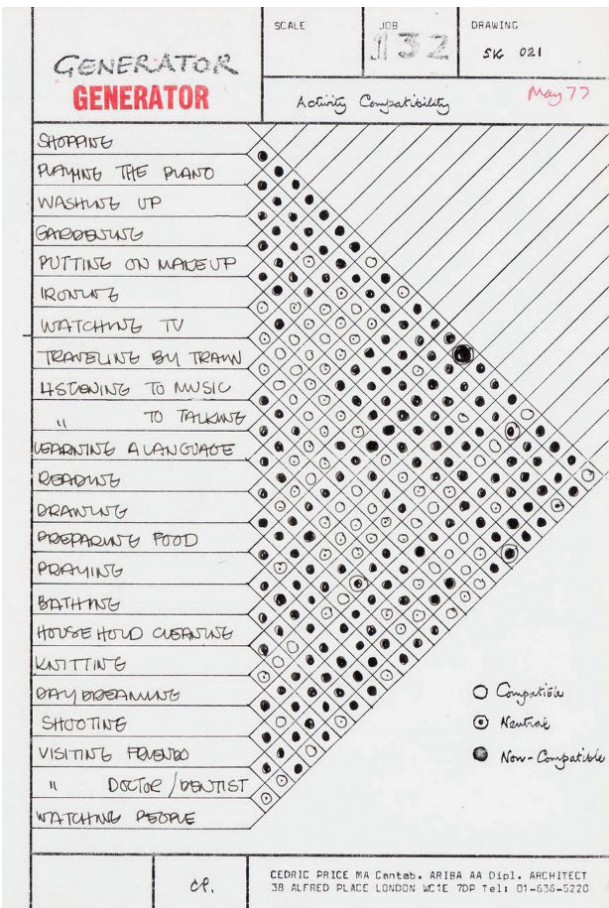
(a) Menu 23 » layout, 1978

(b) Plan of Menu 25, detail of S.W. Zone 1, 1978

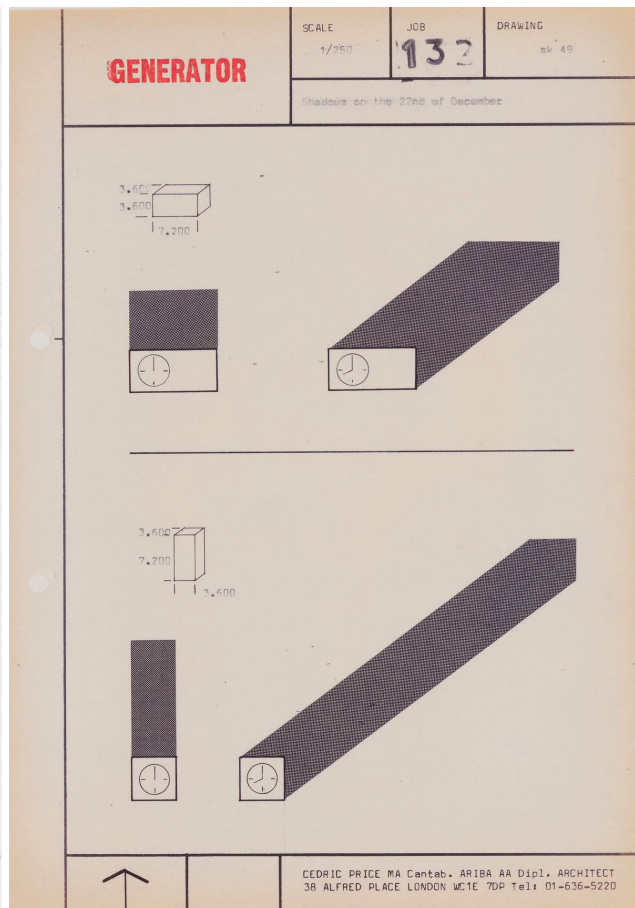




(a)



(a)



(b)

(fig. 40) Generator Project, 1976/1980  
Cedric Price, Architecte

(a) Chart of activity compatibility for Generator, 1977  
(b) : Shadow studies for the 22nd of December



### 3.7.5. *Intelligent Physical Three dimensional Modelling Systems*

Un des défis du Generator est d'intégrer au processus participatif une interface utilisateur qui assure le lien entre conception et utilisateurs, c'est-à-dire un outil facilitateur d'aide à la conception des plans. Au début des années 80, fort de l'expérience du Generator, Cédric Price fait de nouveau appel à John et Julia Frazer pour imaginer l'innovation d'un tel outil. Ils sont chargés d'élaborer un dispositif de modélisation pour permettre aux utilisateurs de faire leurs propres plans l'architecture. L'interface proposée par Frazer, dénommée « *Intelligent Physical Three dimensional Modelling Systems* » (IPTD) est un kit de construction qui rappelle le Lectron Educational Toy<sup>(86)</sup> des designers Georg Franz Greger et Dieter Rams<sup>(87)</sup> (**fig.41**). L'aspect ludique de l'interface répond parfaitement aux exigences de Cédric Price qui a déjà esquissé un projet de jeu de plateau en guise d'outil de programmation participative (**fig.42**)<sup>(88)</sup>. En termes de forme, le kit représente le Generator en maquette. Il se compose d'un socle quadrillé sur lequel sont disposés des blocs mobiles, qui reproduisent les unités fonctionnelles du bâtiment. L'utilisateur peut facilement localiser les principales unités représentées par les blocs et modifier leurs emplacements, en agissant directement sur le kit tangible connecté à l'ordinateur et à l'imprimante. De plus, grâce au programme informatique, l'utilisateur peut aussi sélectionner les options dans un menu qui lui permet d'affecter des fonctions à chacune des unités (usages, activités...), comme le décrit l'historienne de l'architecture Molly Wright Steenson :

*« The initial arrangements for "Generator-menus," as he called them, would be determined through a set of programmatic research tools. Potential users of Generator listed all the activities they might want to do at the White Oak Plantation, such as reading, watching a film, picking one's nose, writing poetry, learning about history, going on a walk. They then rated the requirements for the activities they listed in terms of infrastructure, space, quietness and privacy. »*<sup>(89)</sup>.

Dès que le programme dispose de l'ensemble des données, il les traduit en plans, puis en dessins techniques, explicitant les transformations à mettre en œuvre. Il établit enfin un calendrier destiné aux conducteurs de travaux (que Cédric Price nomme les « grutiers ») qui réaliseront les modifications sur le site<sup>(90)</sup>.

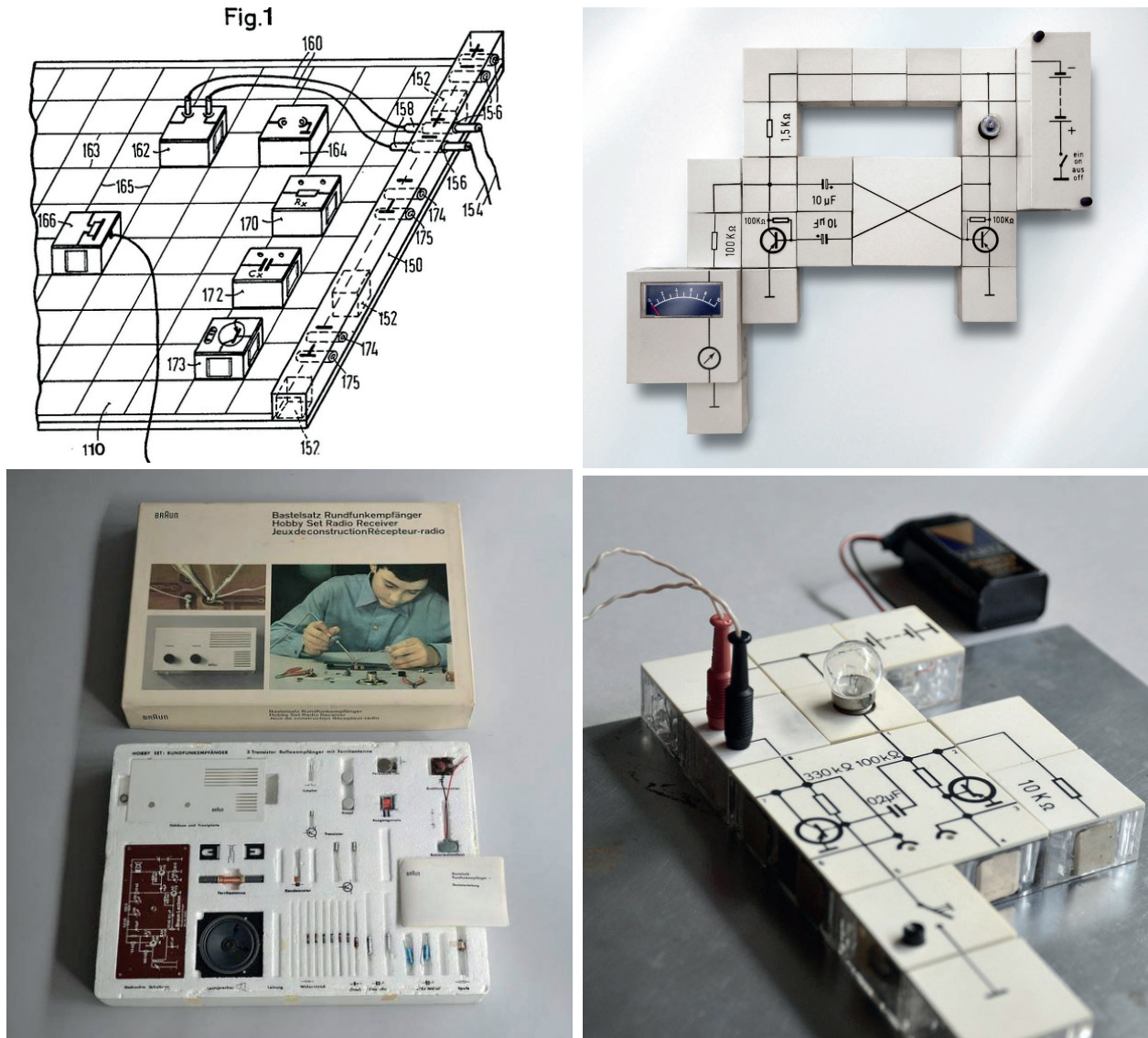
86 Carlson, E. (1967). Electronic Dominos : The Fun Way to Learn Electronics. *Electronics Illustrated*, September, 1014. <http://www.decodesystems.com/lectron.html>

87 Conçu en 1966 par l'ingénieur Georg Franz Greger et le designer Dieter Rams, pour la société Braun, le Lectron Educational Toy est un jeu de construction destiné à apprendre aux enfants les rudiments de l'électronique. On considère que le jeu lectron a largement contribué à la création, une décennie plus tard, du Lego électronique Mindstorm.

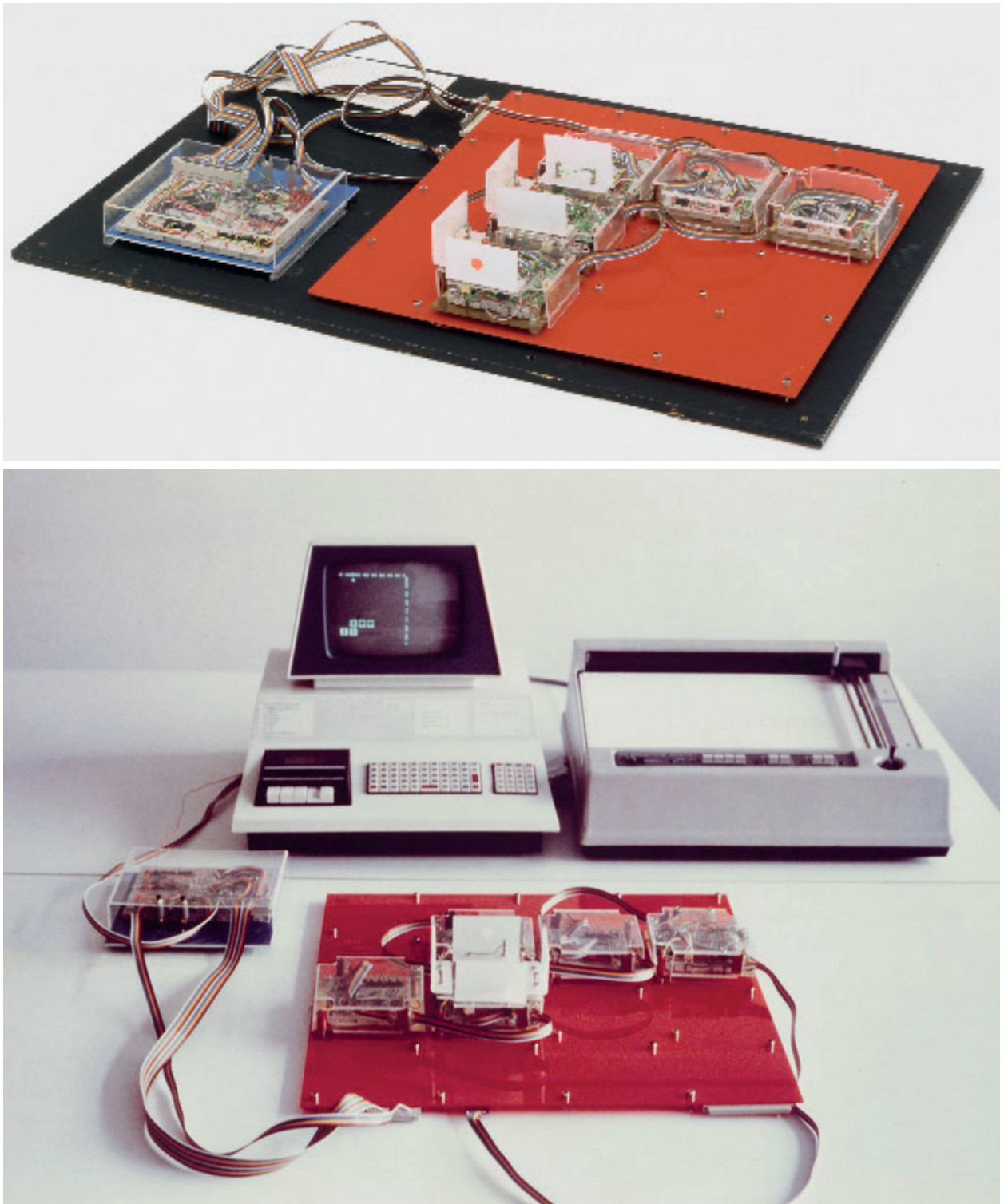
88 « Using a little handheld Three Peg Game, Price determined the first layouts for Generator. The rules for the game were simple: take turns with the other player in forming a line of three same-colored pegs, whether vertically, horizontally, or diagonally. The game, the requirements and the activity questionnaire created what he called menus: arrangements of Generator's cubes, screens and paths that would engage people in unexpected interactions with each other and with Generator as they used it." Wright Steenson, M. *Op.cit.*15

89 *Ibid*

90 *Ibid*



(fig. 41) Lectron Electronic Toys, Braun, 1969  
Conception Dieter Rams and Jurgen Greubel Designers



*(fig. 42) Maquette électronique du Generator, 1980*

**John and Julia Frazer**

*Dispositif de modélisation composé d'une maquette tangible équipée de capteurs et de microcontrôleur, d'un ordinateur et d'un programme, d'un traceur de plan.*



*« As parts are added to the three-dimensional model the microprocessor control unit interrogates the structure to discover the present state of its configuration. A television monitor screen displays statistical data, analysis or just shows projections of the current state of the model. The tape recorder stores the image of the model for future use for further calculations and the production of working drawings »*

L'innovation programmatique la plus importante du « Intelligent Physical Three dimensional Modelling Systems » réside dans le contrôle du risque d'inutilité. En effet, si le Generator existe grâce à l'utilisateur, que se passerait-il s'il ne recevait aucune consigne de modification de la part de l'utilisateur ? Il deviendrait alors inutile et risquerait de disparaître.

Pour répondre à cette hypothèse critique, les Frazer réfléchissent à un programme à différents niveaux. Ceux-ci sont conçus pour répondre non seulement aux besoins de l'utilisateur, mais également pour communiquer avec lui, c'est-à-dire pour l'éduquer à la conception des plans. Mais le programme peut aussi, à l'inverse recevoir des enseignements de l'utilisateur lui-même.

Il existe ainsi trois niveaux successifs d'application. Le premier niveau est un générateur de plan d'architecture, qui se traduit par une interaction simple (unidirectionnelle), permettant de reconfigurer les aménagements du bâtiment indéfiniment. Plus complexe, le second niveau intègre une mémoire heuristique qui archive les propositions des différents utilisateurs. Il en déduit les récurrences et les besoins futurs en faisant apparaître les préférences des utilisateurs précédents, et met également en évidence les unités rarement utilisées ou surchargées. Cette procédure de planification génère des données en feedback qui informent sur l'utilisation la plus efficace du bâtiment. Le programme est ainsi en mesure de conseiller l'utilisateur et de lui faire des suggestions. Enfin, le troisième niveau fait l'hypothèse d'un risque de disparition du Generator, si aucune modification n'est proposée par les usagers. Pour pallier ce risque de dysfonctionnement, les Frazer intègrent dans le programme, des paramètres aléatoires d'autorégulation qui se déclenchent lorsque le programme n'est pas sollicité par l'utilisateur : le système peut alors générer ses propres plans indépendamment de l'utilisateur. Frazer l'exprime ainsi :

*We were concerned that the building would not be changed enough by its users because they would not see the potential to do so, and consequently suggested that a characteristic of intelligence, and therefore the Generator, was that it would register its own boredom and make suggestions for its own reorganization. This is not as facetious as it may sound, as we intended the Generator to learn from the alterations it made to its own organization, and coach itself to make better suggestions.*



*Ultimately, the building itself might be better able to determine its arrangement for the users' better than the users themselves.*<sup>(91)</sup>

Malgré la démonstration magistrale que représente la réalisation du Generator comme manifestation concrète de la souplesse de conception qu'autorise le recours aux calculs informatiques, ce projet, porté par un maître d'ouvrage particulièrement innovant, a fait peu d'émules. Restées à l'état prototypique, les recherches conduites par les Frazer sous l'impulsion conceptuelle particulièrement féconde de Cédric Price n'ont pas vraiment su s'imposer dans la profession. On peut noter que leur connexion à l'architecture s'inscrivait par ailleurs dans le courant de l'architecture modulaire qui ne fut développée que par un petit nombre d'architectes et sur une période assez courte. Mais ces travaux participent à démontrer l'intérêt de l'introduction d'interfaces tangibles dans le domaine de la conception architecturale assistée par ordinateur tout en faisant progresser la recherche sur les systèmes eux-mêmes.

Les recherches réalisées avec Walter Segal représentent un autre aspect de l'intérêt de l'utilisation des outils proposés par les Frazer.

### *3.7.6. Le modèle Segal<sup>(92)</sup> : l'autoconstruction assistée par l'ordinateur.*

Au milieu des années 70, l'architecte britannique Walter Segal est l'un des pionniers de l'autoconstruction<sup>(93)</sup>. Pour défendre ses convictions, Segal initie une méthode de conception collaborative et d'autoassistance à la construction de maisons sociales. L'idée principale consiste à simplifier la conception et les procédés de mise en œuvre afin que des constructeurs inexpérimentés soient capables de construire leurs maisons eux-mêmes, avec des coûts particulièrement réduits.

Il lance, à Lewisham<sup>(94)</sup>, les premiers prototypes de maisons autoconstruites par les habitants. L'objectif de l'architecte vise à offrir des logements à faible coût, à des familles à bas revenus. Désireux d'encourager ses futurs utilisateurs à devenir également des concepteurs, Segal leur propose de suivre des ateliers d'architecture, dans le même esprit que ceux qu'il dirige à l'AA School où il enseigne. Cela leur permettrait

91 Frazer, J. *Op.cit.* Machine Readable Models. 37

92 McKean, J. (1989a). *Learning from Segal* (1re éd.). Birkhäuser Basel.

93 Broome, J., & Richardson, B. (1991). *The self-build book*. Hartland : Green Books. p171-175.

94 *Walters-way-the-self-build-revolution-at-aa-school*. (s. d.). [www.bmiaa.com](http://www.bmiaa.com). Consulté 10-06-20, à l'adresse <https://www.bmiaa.com/walters-way-the-self-build-revolution-at-aa-school-2/>

d'imaginer leur domicile respectif, de le dessiner, puis de le construire de manière quasi autonome. Pour initier les futurs habitants à la conception de l'architecture, Segal a recours à une méthode de simplification des outils de modélisation.

Dans les premiers ateliers, les autoconstructeurs apprennent à visualiser leur projet en réalisant des maquettes avec de simples allumettes en guise de structure, et avec des plaques de différentes formes pour représenter l'enveloppe, les murs, les portes, les fenêtres. Après quelques tentatives, Segal constate que cette méthode ne permet pas aux futurs utilisateurs d'interpréter efficacement leurs propres maquettes, et d'en extraire des plans réellement exploitables. Segal fait alors appel à Frazer pour concevoir une version électronique de sa méthode. Pour que ces familles puissent projeter leur future maison et concevoir aisément les plans de fabrication sans l'aide de l'architecte, Segal et Frazer élaborent un outil de design participatif, le « Self builder design kit » (**fig.43**). Celui-ci ressemble à un jeu de construction lego de la première génération avec ces fameuses briques aux couleurs criardes qui s'emboîtent sur un socle à tenons. Le Self-builder design kit contient toutes sortes d'éléments de construction de formes et de couleurs différentes qui offrent de multiples possibilités d'agencements spatiaux et formels : murs, fenêtres, portes.... On reconnaît dans ce kit la méthode Friedman : c'est un générateur de plan comme le Flatwriter. Mais à la différence du Flatwriter conçu presque une décennie plus tôt, le Self builder design kit propose une interface tangible permettant de simuler le projet avec un réalisme volumétrique. L'interface est composée d'un socle électronique en forme de damier, sur lequel peuvent être disposés des panneaux en plastique coloré. Chaque pièce, équipée d'un composant électronique, est immédiatement identifiée au contact du socle (slot), ainsi que sa fonction (un mur, une fenêtre, une porte). Sa matière, sa position dans le plan et la pertinence de son emplacement dépendent également des autres pièces déjà disposées. Lorsque toutes les pièces sont repérées sur le socle, celui-ci envoie à l'ordinateur une image numérisée du modèle terminé. Ce dernier en extrait les plans. Dans le cas d'une maison à deux étages, on utilise deux socles superposés connectés entre eux, en parallèle. Les plans et les vues axonométriques sont ensuite affichés sur l'écran d'un moniteur ou sur une feuille imprimée. Mais le processus va beaucoup plus loin. Un programme calcule automatiquement les superficies, les coûts de production en fonction des spécificités des matériaux et le calendrier de travaux. Ce programme va jusqu'à extraire les dessins techniques d'assemblages structurels des produits utilisés. En fonction des résultats obtenus, l'autoconcepteur peut évidemment refaire son projet, en réorganisant simplement les objets amovibles sur le socle. Il est ainsi capable de gérer peu à peu la faisabilité de son projet, en réajustant les paramètres au niveau de la maquette, comme par exemple réduire la taille des chambres, pour baisser le coût global. Avec le self-builder kit, les utilisateurs n'ayant aucune connais-

sance en architecture, sont en mesure de concevoir une maison en utilisant un simple jeu de construction. Il permet en outre de résoudre des problèmes complexes, que seul l'architecte sait d'ordinaire maîtriser.

En réalité un seul prototype a été finalisé avec succès en 1982 : la mort prématurée de Walter Segal (1982), n'a pas permis à John Frazer et son équipe d'expérimenter le self-builder kit avec de « vrais » utilisateurs. Ce modèle a évolué par la suite, dans différents contextes universitaires et dans des champs disciplinaires éloignés de l'architecture, comme les sciences de l'éducation, où il a été utilisé comme outil pédagogique.

### *3.7.7 Modélisation physique intelligente*

Les expérimentations réalisées avec Price et Segal, notamment, ont donné l'occasion à Frazer d'explorer et d'approfondir les principes de modélisation physique basés sur un système de plateau quadrillé, équipé d'un processeur électronique, dans lequel s'emboîtent des éléments. Il va progressivement tenter une simplification du dispositif, de sa prise en main pour une sophistication de ses performances de représentation et une amélioration de son ergonomie.

Dans les premiers prototypes, le plateau électronique permet d'identifier et de localiser spatialement les différents blocs. Le plateau transmet ensuite une cartographie du modèle à un processeur de contrôle qui en déduit une représentation en plan (le Generator) ou en isométrie (le modèle Segal). Ce principe de modélisation tangible s'appuie sur un processus analogique, qui consiste à établir une correspondance directe entre le modèle physique et le modèle virtuel, représenté, en attribuant à chacun des blocs l'image d'un archétype architectural (par exemple, un mur). On reconnaît dans ce principe de translation analogique le principe du Flatwriter qui vise à traduire un dessin schématique composé manuellement (avec la machine à écrire) en une représentation architecturale complexe et parfaitement réglée (un plan).

Frazer élabore ces premières expérimentations, sur la base d'une grammaire de formes géométriques, similaire à celle de Friedman, mais en volume, parallélépipède essentiellement. Toutefois cette méthode de conception basée sur des règles de combinaison géométrique produit un résultat encore trop proche du dessin conventionnel. Dans les prototypes suivants, Frazer propose de complexifier cette méthode de composition élémentaire par un « opérateur relationnel », similaire à l'étiquette du Flatwriter. C'est une fonction qui offre à l'utilisateur la possibilité d'attribuer, à chaque bloc, différentes variables, autre que géométrique. Le modèle est ainsi soumis à des règles d'assemblage qui peuvent être de différentes natures : combinaisons géométriques,

mais aussi fonctionnelles. Ces dernières organisent ainsi les modes d'interactions entre les éléments. (**fig.44**)

L'opérateur relationnel consiste alors à attribuer une instruction personnalisée à un bloc. Ces paramètres lui permettent d'interagir par affinité avec les autres blocs, et de se réguler de manière automatique au sein du système global. Avec le principe « d'opérateur relationnel », l'utilisateur ne se contente pas de construire le modèle : il a aussi la possibilité de le personnaliser en changeant les attributs de chaque objet qu'il manipule manuellement. Les instructions peuvent être modifiées indéfiniment pendant le processus de conception, bloc par bloc, donnant à l'utilisateur la possibilité de démonter et reconstruire le modèle physique en changeant les règles d'assemblage entre les éléments. Par conséquent, les combinaisons et les possibilités de conception sont démultipliées de manière quasi infinie. Si chaque bloc correspond à une forme géométrique définie préalablement, le programme permet de spécifier, par exemple, des variables de modifications géométriques, des déformations, des changements d'échelle, des subdivisions, des textures, des sons, des textes (**fig.45,46**) ; en outre ceux-ci impacteront le modèle global et sa représentation finale. Ce principe de personnalisation des attributs du bloc ouvre de nouvelles hypothèses d'interaction tangible entre le modèle physique et le modèle représenté. Dans le prototype conçu par Lydia Haack, et John Höpfner (1986), deux étudiants de l'unité de recherche dirigée par Frazer<sup>(95)</sup>, la représentation visuelle est agrémentée de textures graphiques presque réalistes, appliquées sur des volumes de hauteur variable qui s'apparentent à des tours (**fig.47**). Pour obtenir ce résultat, des blocs cubiques sont paramétrés pour représenter la modification de leur hauteur. Les textures attribuées à chaque bloc s'adaptent directement à la déformation. Toujours au sein de cette unité de recherche, l'étudiant Ian Chee, expérimente un autre type de texture en attribuant à chaque bloc une identité sonore qui varie en fonction de l'emplacement de la pièce dans le modèle global. Le résultat produit une représentation visuelle et sonore, d'une esthétique abstraite qui montre bien le champ des possibles vers les nouveaux médias.

### 3.7.8. L'écriture informatique

Si la démarche tangible consiste à établir une correspondance directe entre le modèle physique et sa représentation, on constate qu'il n'y a pas nécessairement d'équivalence formelle entre les deux. En effet, le modèle visuel ne cherche pas seulement à reproduire, en plus complexe, le modèle physique. Il illustre le résultat du processus de

95 AA Diploma Unit 11, Architectural Association, 1991



conception physique de manière plus ou moins réaliste, tandis que le modèle physique matérialise les règles de combinaison entre les différents blocs, caractérisées par des consignes qui s'assemblent comme des suites algorithmiques. Le modèle physique est un peu comme un programme simplifié qui s'écrit avec des gestes simples, par l'emboîtement des instructions contenues dans chaque bloc. En fin de compte, à travers son concept d'outil d'aide à la conception architecturale, Frazer cherche à sensibiliser les architectes à la culture de l'écriture informatique. Car pour lui, l'apprentissage de la conception d'un projet d'architecture équivaut à l'apprentissage de la programmation informatique, celle d'un ordinateur. Un projet d'architecture procède de la même pensée constructive que la conception d'un programme informatique :

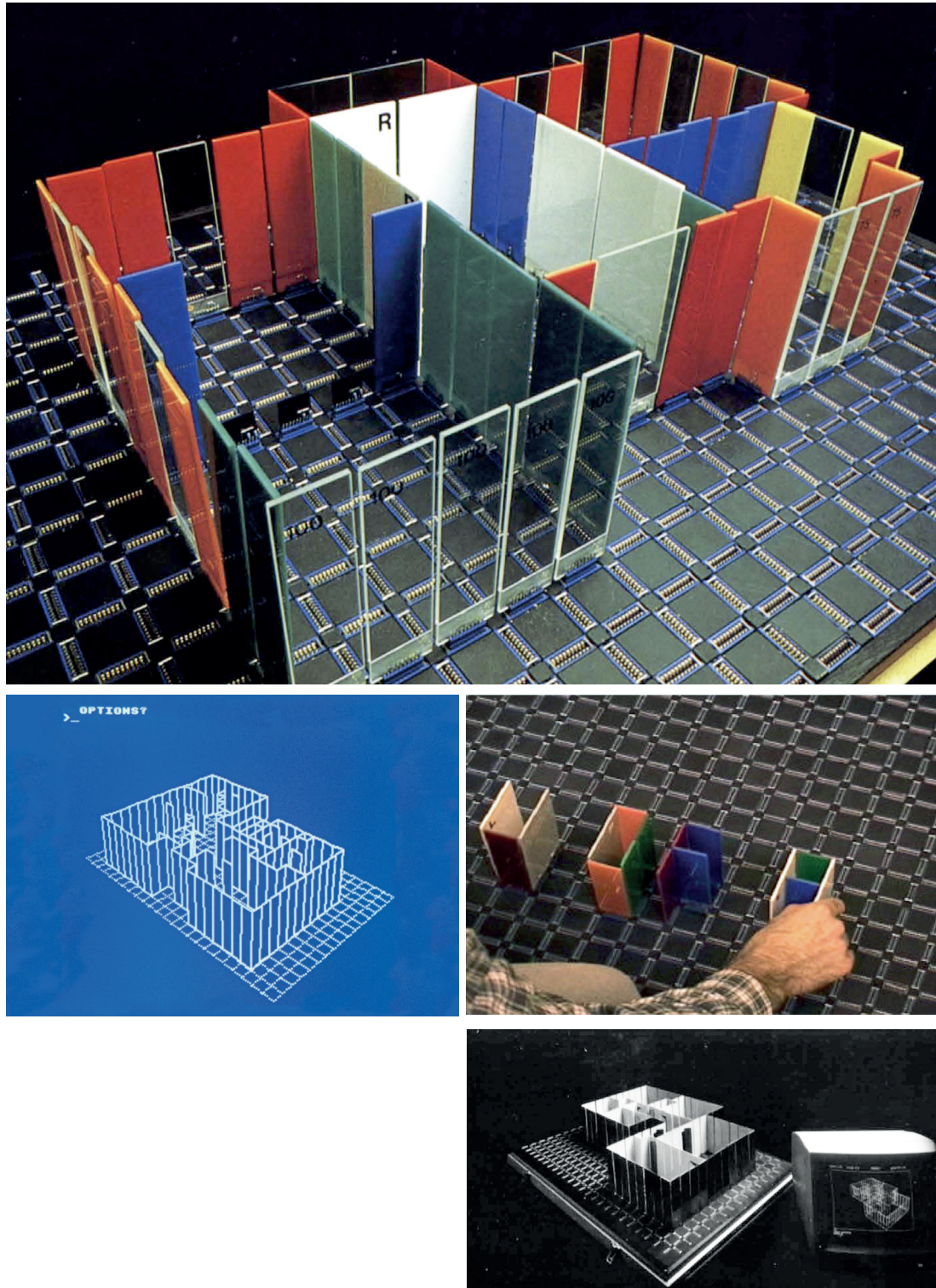
*Our attempts to improve the design of the software of the user-interface were paralleled by attempts to improve the hardware. The keyboard and mouse have never seemed to me well suited to manipulating models or graphics: a digitizing tablet might be closer to a drawing board, but it is rarely used in that way. In any case, we \ (Vere eager to get away from conventional, drawing board dependent design approaches <sup>(96)</sup>.*

### 3.7.9. Le constructeur universel

Les premiers dispositifs génèrent uniquement des représentations bidimensionnelles, des plans ou, au mieux, des vues isométriques. Pour créer des représentations tridimensionnelles, Frazer élabore un second dispositif, plus perfectionné, qui consiste à superposer les blocs cubiques. La technique électronique améliorée dans ce second dispositif vise à intégrer dans chaque bloc les mêmes capacités que celles du plateau quadrillé de la première génération. Ce plateau était chargé de transmettre les informations à l'ordinateur, ou au traceur. Dans ce nouveau concept, chaque bloc peut communiquer avec ses voisins contigus, connectés à chacune de ses faces. Les premiers blocs cubiques s'emboîtent verticalement, et permettent une transmission des données en sous-face, par leur surface. Le plateau calcule le nombre d'empilements de blocs dans chacune de ses cases pour obtenir une représentation tridimensionnelle. Dans les prototypes suivants plus optimisés, le bloc exploite toutes ses faces pour communiquer avec six voisins potentiels. Le plateau est supprimé. Il est remplacé par un bloc « hôte », équipé d'un microprocesseur, qui est chargé de centraliser l'ensemble des données, comme le positionnement dans l'espace de chaque élément, son identité, ses caractéristiques et de les transmettre à l'ordinateur. C'est le principe du « constructeur universel » de John Neumann<sup>(97)</sup>, que Frazer réinvente sous la forme d'un dispositif tangible. Le « constructeur universel » possède une

96 Frazer, J. *Op.cit.* 37.

97 Le mathématicien Von Neumann, auteur de la « Théorie des jeux et comportements économiques », est presque considéré comme le père de l'informatique moderne et des automates cellulaires. Il défend l'hypothèse d'une machine qui peut se reproduire elle-même (l'automate auto-reproducteur). C'est à partir de ce concept qu'a été pensé le Jeu de vie de Conway.

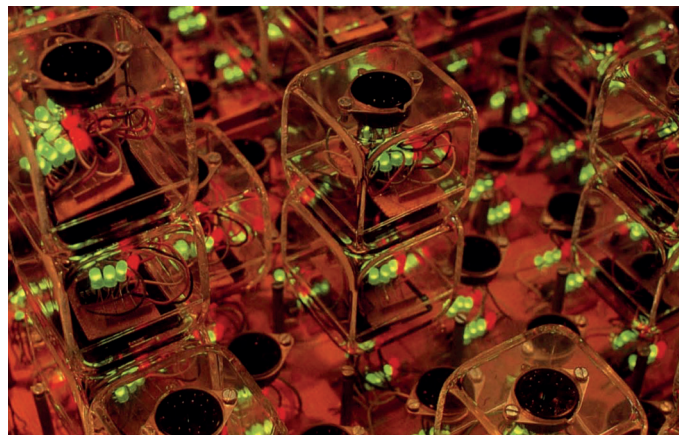
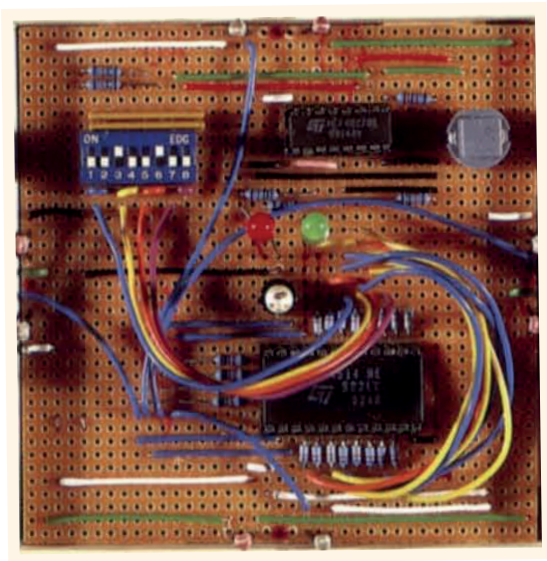


*(fig. 43) Self Builder Kit Working Models, 1982/1985*

*John Frazer et Julia Frazer, avec John Potter et David MacMahon, assistants de recherche.*

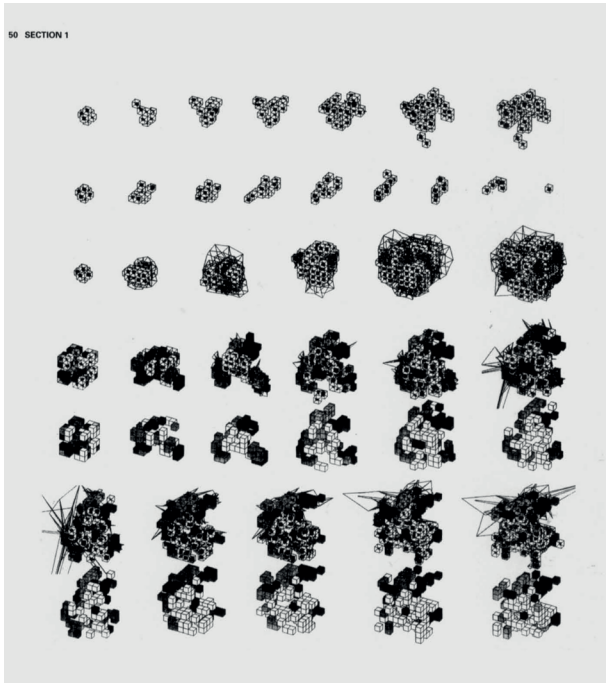
*Outil d'aide à la conception en application au modèle de construction de l'architecte Walter Segal.  
John Frazer et Julia Frazer, avec John Potter et David MacMahon, assistants de recherche.*





*(fig. 44a) Intérieur du bloc autosuffisant, 1990  
Universal Constructor  
John Frazer, Architecte*

*(fig. 44 b) Universal Constructor, prototype, 1990  
John Frazer, Architecte*

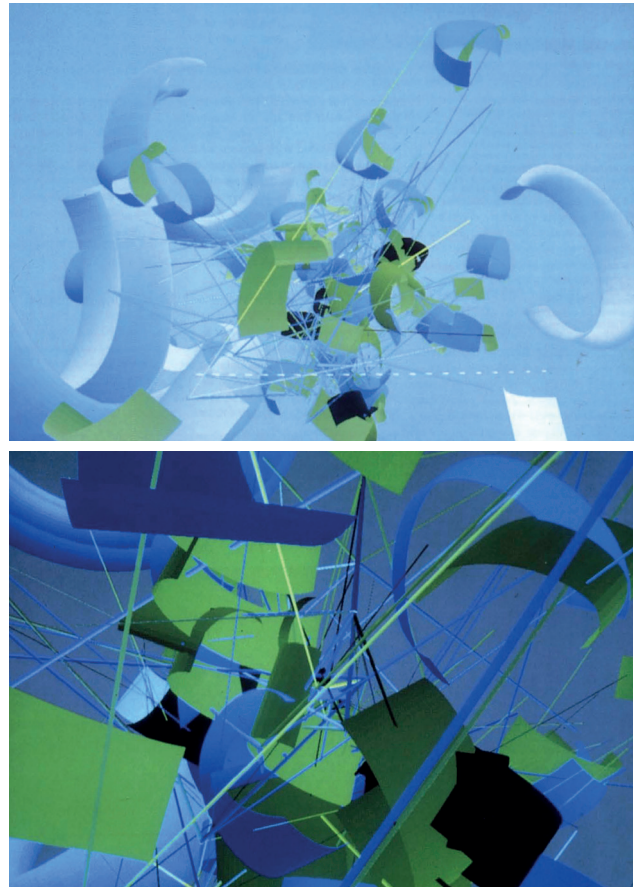


*(fig. 45) Three-dimensional self-organizing constructor, 1991*

*Ichiro Nagasaka, AA Diploma Unit 11, Architectural Association (1990).*

*John Frazer, Architecte*

*This experiment in self-organization works like a three-dimensional cellular automaton except that both positive and negative feed-back are used to modify the way in which adjacent cells interact. The interaction between cells relies on their comparison of the features of their internal growth and their attempt to copy successful behaviour.*



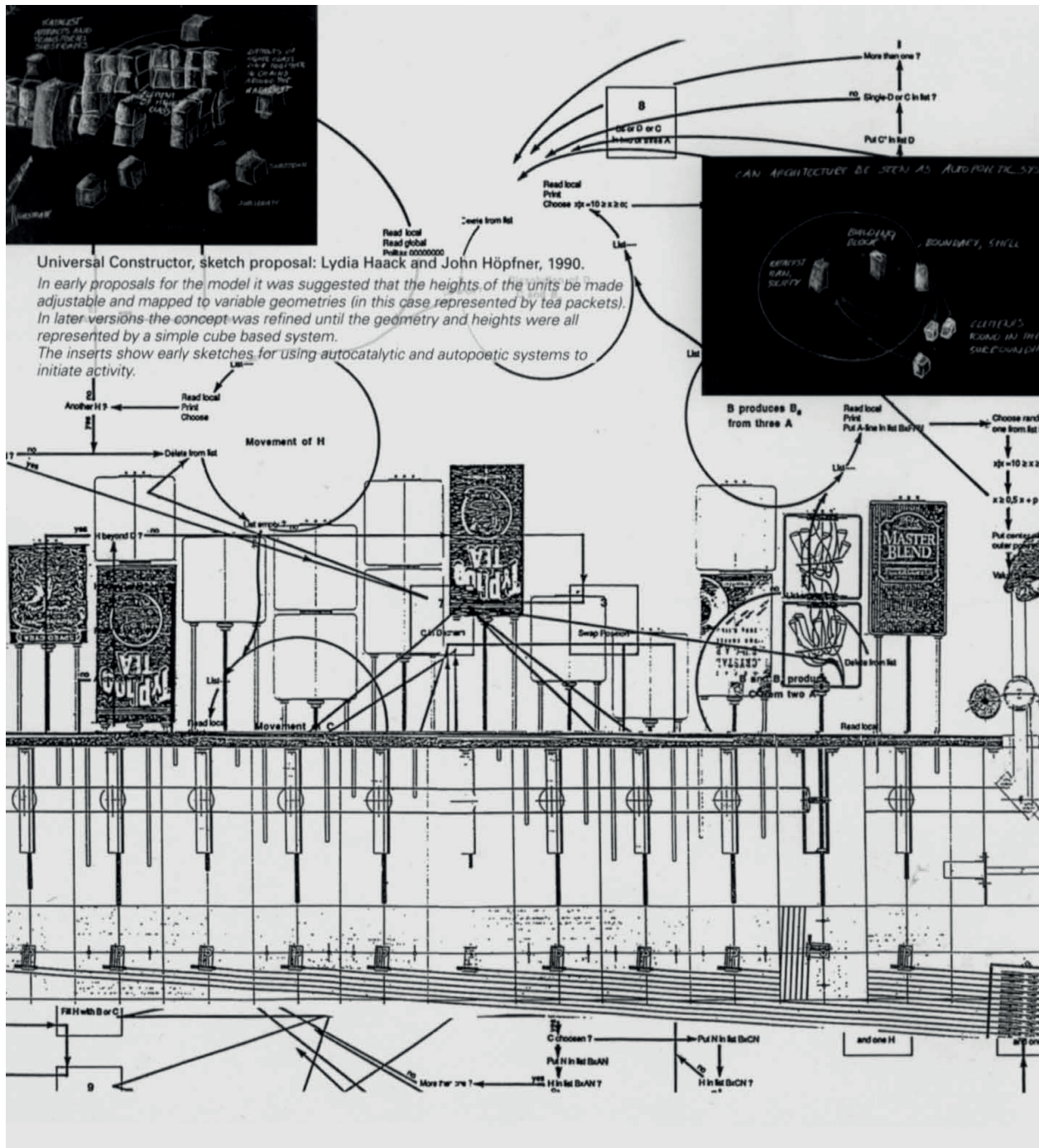
*(fig. 46) Evolving sequence from the universal constructor, 1991*

*Stefan Seemüller, AA Diploma Unit 11, AA School of Architecture*

*John Frazer, Architecte*

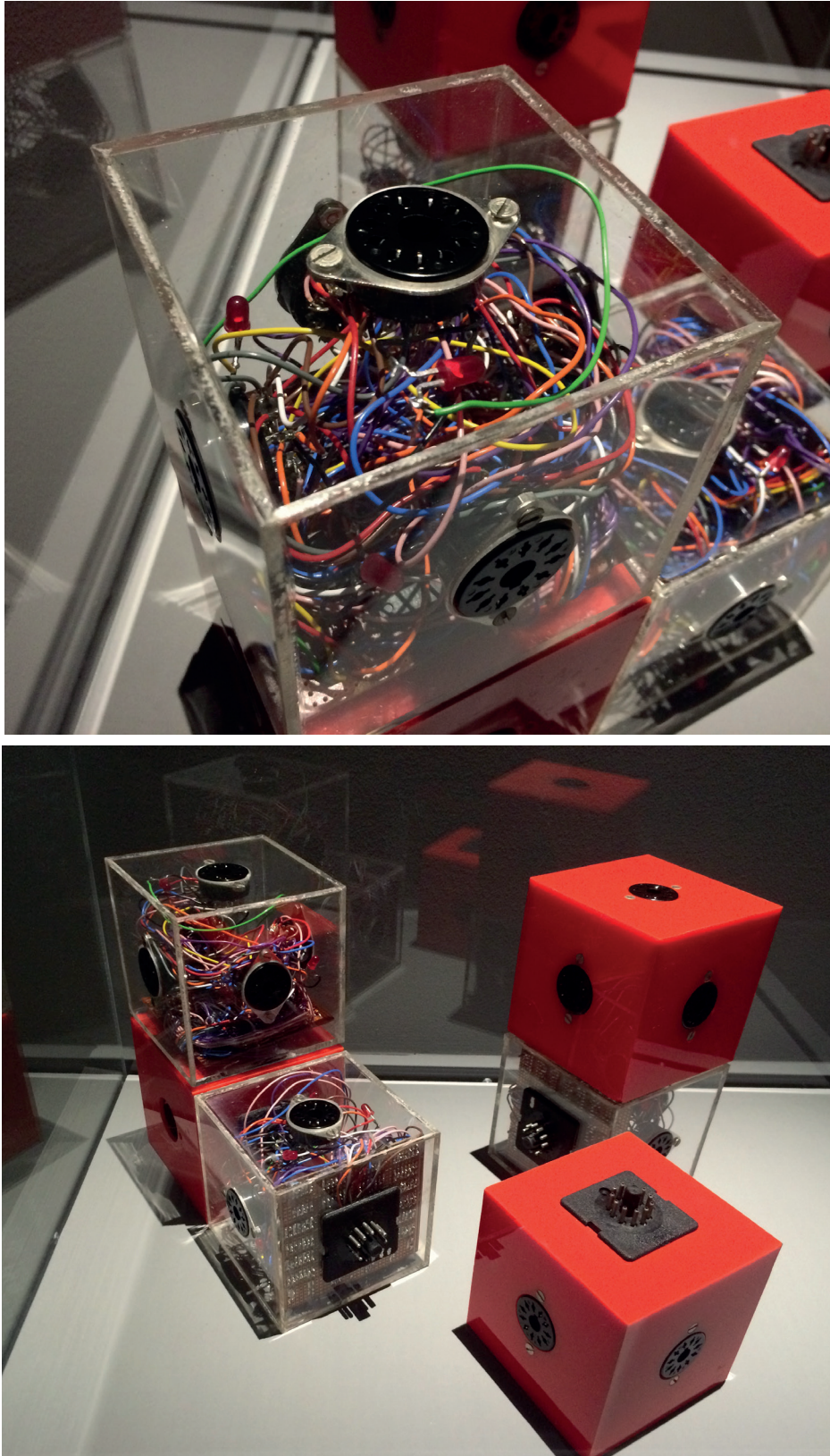
*From an initial configuration of cubes, each with an identifying state derived from the universal constructor, the sequence evolves by using the state numbers to control parameters in a graphic mapping program. The process is a series of loops in a chaotic string where each step in the evolutionary development is continuously read and tested against a rule that defines a path structure in space. Although manual intervention and selection were used to control the development of the 2000 evolutionary steps in this sequence, many stages were entirely unpredicted by what preceded them.*





(fig. 47) *Universal Constructor, Sketch proposal, 1990*  
 Lydia Hopfner, John Höpfner, AA Diploma Unit 11, Architectural Association  
 John Frazer, Architecte

In early proposals for the model it was suggested that the height of the units be made adjustable and mapped to variable geometries (in this case represented by tea packets). In later versions the concept was refined until the geometry and heights were all represented by simple cube based system. The inserts show early sketches for using autocatalytic and autopoietic systems to initiate activity.

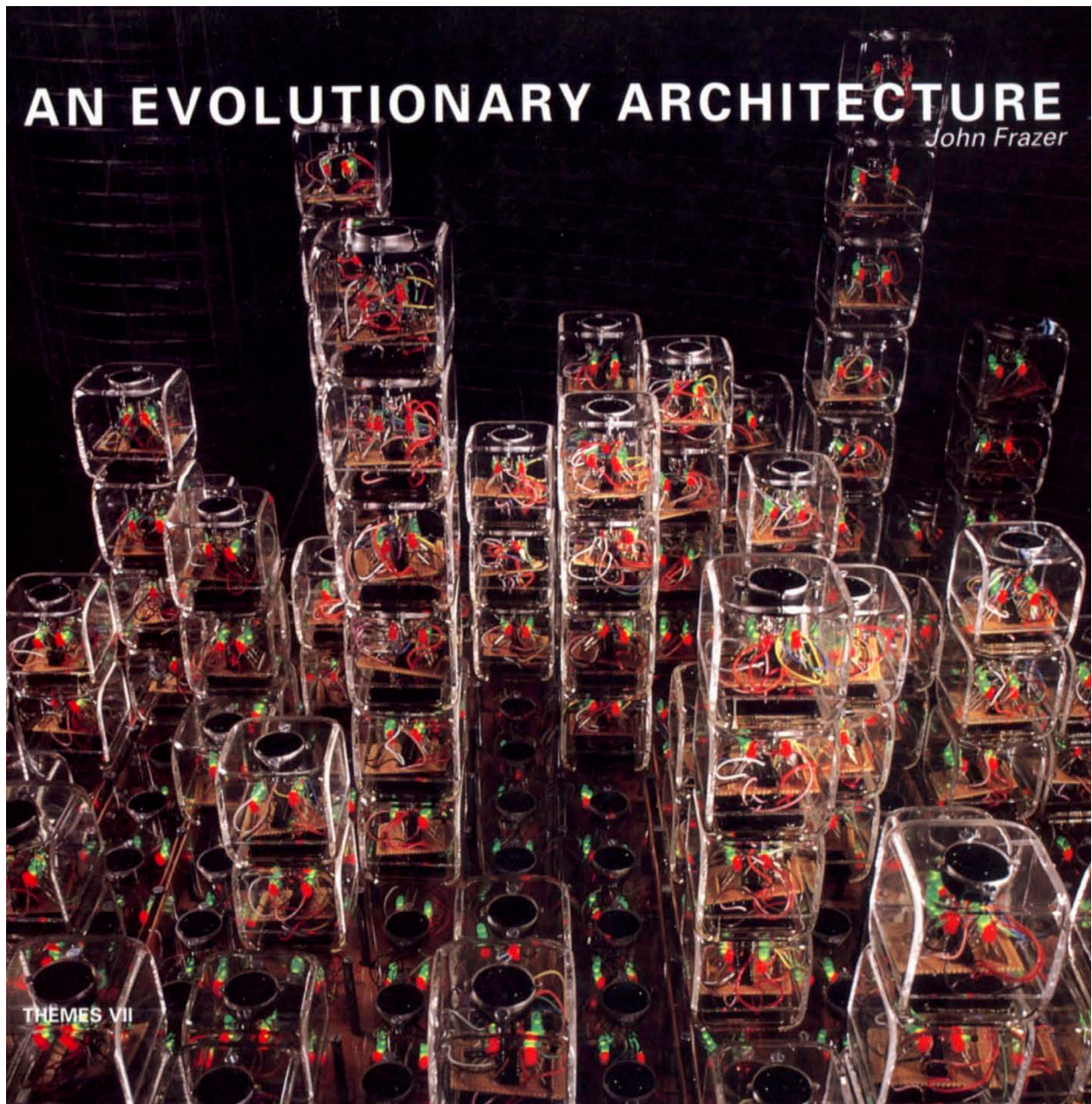


*(fig. 48) Three-dimensional intelligent modelling system, 1980*

*John, Julia and Peter Frazer.*

*Système de modélisation intelligent en trois dimensions*





*(fig. 49) The Universal Constructor, working model of a self-organizing interactive environment, 1990  
John Frazer, Architecte.*

*AA Diploma Unit 11 in collaboration with the University of Ulster, 1990. AA School of Architecture*

faculté nouvelle : les blocs sont autonomes, ils peuvent communiquer entre eux, se transmettre des instructions, réagir et s'adapter au contexte extérieur sans qu'aucun utilisateur n'intervienne dans le processus, donc sans aucun mécanisme de contrôle. Avec cet outil de modélisation tangible, Frazer introduit le concept d'auto-organisation qui s'accompagne de fonctions homéostatiques. Celles-ci régulent automatiquement le processus de formalisation. (*fig. 48, fig.49*)

L'universalité du dispositif tangible signifie aussi une notion nouvelle : les cubes ne servent plus uniquement à représenter les modèles architecturaux. Le constructeur universel peut représenter toutes formes de données et de média. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'invention de Frazer intéressera plus tard d'autres champs disciplinaires comme les sciences des médias ludiques et de l'éducation.

### *Conclusion du chapitre*

Cette tentative de définir le projet comme un jeu s'inscrit dans une perspective de réflexion sur la place de l'architecte en tant que nouvel acteur de la transmission de la culture urbaine et architecturale. La conception ludique est en effet intégrée comme une composante essentielle de la fonction pédagogique englobant les enjeux de l'économie du savoir. Cette recherche s'intéresse ainsi au paradigme du jeu comme art de transmettre et de partager le savoir-penser et le savoir-faire de l'architecte, dans un processus inclusif et réflexif entre expert et non expert ; processus qui inclut de fait les enjeux de solidarité, de l'appropriation du projet par des tiers, de sa co-production, et surtout du débat comme possibilité de confrontations des idées. Cette réflexion s'ouvre sur l'implication « relationnelle » des parties prenantes qui intègrent le processus de projet, et la capacité de ce dernier, à créer de l'empathie et du dialogue, à construire une culture commune et à faire émerger la créativité entre de différents acteurs, à leur laisser de la place même dans une situation de conflit. Cela implique que l'architecte s'impose une mise à distance, un déplacement de son statut de maître d'œuvre au sens conventionnel, pour accepter la prise de risque et l'indétermination qu'induit l'intégration des tiers dans son propre processus de réflexion, puisqu'il n'est plus le seul à penser, puisque d'autres pensent différemment de lui. L'architecte ici prend le rôle, nouveau, de celui d'un designer de processus, plus qu'un designer de projets. Il conçoit les outils qui lui permettent de garantir son propre espace de liberté de création, malgré le fait qu'il soit engagé dans un processus de dépendance réciproque avec des tiers. En même temps, l'architecte doit penser ses outils en adoptant « des techniques hospitalières »<sup>(98)</sup> de manière à leur laisser le plus de liberté possible. De

98 Huyghe, P. D. (2014). Plaidoyer pour une technique hospitalière, *Le Design : Sociétés, Services, Utilités, À quoi tient le design*. De l'incidence. 49-62



sorte que la recherche et l'affirmation de chacune des libertés au sein du processus de conception deviennent le moteur de la création collective du processus d'idéation. C'est le paradoxe entre recherche d'un dialogue d'une part et recherche de liberté de chacun des acteurs d'autre part qui crée la tension nécessaire au processus productif. Il en est constitutif et s'il est structuré comme un jeu ouvert, réversible, rejouable, il s'apparente à une confrontation vécue positivement.

## CHAPITRE 4:

## Éducation et interfaces tangibles: Le rôle majeur de Seymour Papert.

Les expérimentations architecturales destinées à faciliter la conception participative à l'aide de l'ordinateur ont produit des outils de simplification et d'apprentissage qui ont incité les chercheurs à investir le champ de l'éducation. Parmi ceux-ci, l'informaticien Seymour Papert joua un rôle déterminant.

### 4.1 De l'architecture vers l'éducation des enfants.

Dans le domaine des *Computer Aid Design*, les premières recherches qui s'orientent avec détermination vers la conception participative assistée par ordinateur, introduisent en même temps des modalités d'apprentissage pour les enfants. Nicholas Negroponte, très tôt influencé par les travaux préliminaires du cybernéticien Seymour Papert, dira plus tard.

*Pour le dire très simplement, durant les quatre ou cinq premières années de notre vie c'est en jouant que nous apprenons. Au cours des quinze années suivantes, nous apprenons en écoutant ce qu'on nous dit. Le passage de l'un à l'autre est d'une inquiétante brutalité. Mais dès lors que l'ordinateur entre en scène, la ligne qui séparait nettement les deux types d'apprentissages a commencé de se brouiller. Aujourd'hui, plus que jamais, nous avons la possibilité de jouer avec les idées, de construire des théories et d'élaborer des concepts, parce que les ordinateurs sont les nouveaux jouets avec lesquels il nous est donné de réfléchir. Pour ce qui est de la petite enfance, voyez comment des enfants de deux ans manipulent de nos jours les jeux de construction, leur dextérité, leur capacité d'attention et de concentration sont proprement stupéfiantes. Imaginez les attentes de ces mêmes enfants dans une dizaine d'années. Les formes d'instruction ancienne, que ce soit la dimension statique d'une page ou la nature convenue d'un cours magistral, leur apporteront peu de joie. Ces enfants s'attendront plus encore à apprendre en se trompant, comme à interagir et à construire. Le premier apprentissage s'appelle donc jouer. Essayer, se tromper, telle est la base de l'exploration<sup>(99)</sup>.*

Même si on attribue l'émergence de l'architecture participative assistée par l'ordinateur (Computer Aids to Participatory Architecture) et des technologies tangibles dans le

99 Negroponte, N. (2015). Apprendre à apprendre dans un monde connecté. Cités, 63, 119132. <https://www.cairn.info/revue-cites-2015-3-page-119.htm?contenu=resume>

domaine de l'architecture à Nicholas Negroponte, la bifurcation de l'architecture vers les questions éducatives et ludiques s'opère de manière significative à partir des théories piagésiennes de Seymour Papert. On peut même faire l'hypothèse que la recherche en matière d'architecture participative assistée par l'ordinateur, a joué un rôle déterminant dans l'évolution des technologies numériques éducatives et ludiques à partir de la rencontre de ces deux protagonistes : l'architecte Nicholas Negroponte et le pédagogue Seymour Papert.

Notons que les résultats de la recherche de Seymour Papert, fondateur du Laboratoire d'Intelligence Artificielle du MIT avec Marvin Minsky, continuent d'inspirer les chercheurs en technologie de l'éducation. Avec le célèbre logiciel LOGO et sa tortue cybernétique, qu'il a développés dans les années 70, Seymour Papert est considéré comme l'inventeur du premier environnement informatique pour l'apprentissage. De même, avec son manifeste visionnaire « *21 choses à faire avec un ordinateur* »<sup>(100)</sup> écrit en 1971, il anticipe l'émergence du mouvement Maker, et celui, plus actuel, du codage pour les enfants. On considère d'ailleurs qu'il est l'initiateur de ce mouvement<sup>(101)</sup>. Il est sans aucun doute à l'origine de la plupart des utilisations créatives des technologies éducatives, que nous voyons mises en œuvre aujourd'hui<sup>(102)</sup>. Les idées novatrices de Papert – sur la façon dont les ordinateurs peuvent aider les enfants à apprendre activement et à créer des connaissances – ont résisté fermement au test du temps, et deviennent le modèle des actuels jeux de construction. Ces constructions tangibles, aident notamment les enfants à développer des modes avancés de réflexion. Pour citer Nicolas Negroponte qui écrit à propos de Seymour Papert à ce propos :

*Le pivot central de l'entreprise fut la création d'un environnement d'apprentissage pour les enfants au sein même des bâtiments qui abritent le laboratoire d'intelligence artificielle du MIT et le laboratoire de recherche informatique (projet MAC). En introduisant dans un monde d'ordinateurs et d'informaticiens, des enfants et des personnes s'intéressant avant tout aux enfants, nous espérons créer les conditions optimales pour donner naissance à un courant d' idées dans la recherche pédagogique.*<sup>(103)</sup>

100 "In our image of a school computation laboratory, an important role is played by numerous "controller ports" which allow any student to plug any device into the computer... The laboratory will have a supply of motors, solenoids, relays, sense devices of various kinds, etc. Using them, the students will be able to invent and build an endless variety of cybernetic systems. Papert, S., & Solomon, C. (1972). Twenty things to do with a computer. Educational Technology Magazine, Memo n° 248, 40. 39. <https://el.media.mit.edu/logo-foundation/docs/AIM-248.pdf>

101 « When Dr. Seymour Papert died in July 2016, the world lost one of the great philosophers and change-agents of the past half-century. Papert was not only a recognized mathematician, artificial intelligence pioneer, computer scientist, and the person Jean Piaget hired to help him understand how children construct mathematical knowledge; he was also the father of educational computing and the maker movement. » Stager, G. (2017, 13 mars). Seymour Papert – Father of the Maker Movement. Invent To Learn. <https://inventtolearn.com/seymour-papert-father-of-the-maker-movement/>

102 Resnick, M., Philbin, C. A., & Kölling, M. (2017, 1er janvier). Papert's Legacy, How the creator of Logo paved the way for modern computing education. Hello World. <https://helloworld.raspberrypi.org/issues/1>

103 Negroponte, N. (1995). L'Homme numérique (French Edition). Robert Laffont. 243

S. Papert élabore ici une théorie générale de l'intelligence appelée « *théorie générale de la société de l'esprit* ». Cette théorie mène de front la manière dont les enfants pensent et celle dont les ordinateurs fonctionnent ou pourraient penser. Papert précisait ainsi son propos :

*L'une des idées essentielles qui nous a guidé dans la conception de nos environnements d'apprentissage était de mettre les enfants en mesure de se servir des idées productrices se dégageant des mathématiques et des sciences pour leur usage personnel comme outils réels. Par exemple, la géométrie deviendrait un moyen de produire des effets visuels sur un écran de télévision* <sup>(104)</sup>.

## 4.2 L'outil pédagogique de Seymour Papert

Seymour Papert comprend que pour apprendre à communiquer avec la machine, il faut élaborer un nouveau langage facilement compréhensible. Si les enfants apprennent à parler très tôt, ils peuvent sans difficulté apprendre à communiquer avec un ordinateur, du moment que le langage est intuitif. Et si ce langage est intelligible pour les enfants, il le sera pour toute la société. S. Papert imagine l'ordinateur aussi accessible qu'un crayon capable d'expression directe en opposition à la vision habituelle de l'ordinateur comme machine à enseigner :

*I would like to think of the computer as a clapping hand, as a mudpie, as the pencil that you use to scribble on the walls and get into trouble with (because you want to get into trouble too, it's a highly charged thing to do). This is the kind of use of the computer that I think is radically, deeply important for changing the conditions of learning. Needless to say, I am not talking about the computer as a "teaching machine." We all recognize the popular image of the computer being used to teach or to program the child, and I would like to emphasize the absurdity of that.* (105)

Avant d'être co-directeur du Laboratoire d'Intelligence Artificielle du MIT, Papert est un mathématicien et un enseignant engagé dans le combat pour la démocratisation de l'enseignement comme outil d'émancipation sociale. Il commence par enseigner les mathématiques en Afrique du Sud, pendant l'apartheid, en organisant des cours pour les jeunes de la communauté noire n'ayant pas accès aux institutions scolaires. Qualifié de dissident, Papert fuit son pays d'origine et rejoint l'Université de Genève au début des années soixante où il collabore avec le philosophe et psychologue Jean

104 Papert, S. A. (1993a). *Mindstorms : Children, Computers, And Powerful Ideas* (2e éd.). Basic Books.10

105 Papert, S. (1984). *Computer as mudpie* (*Intelligent Schoolhouse : Readings on Computers and Learning* éd.). Dale Peterson.10



Piaget<sup>(106)</sup>. À partir des théories constructivistes de Piaget, Seymour Papert réfléchit aux possibilités de l'informatique à affecter nos manières de penser et d'apprendre. Il tend alors à proposer de nouveaux modèles d'apprentissage, qui défendent l'idée que la connaissance de l'apprenant se développe à partir de constructions actives (les inventions) et collaboratives (la participation), toutes deux aidées par l'informatique.

Le concept constructiviste selon Seymour Papert suppose que l'on acquière de nouvelles connaissances, avec une efficacité augmentée, lorsque nous sommes impliqués activement dans la construction d'un projet qui apporte une valeur ajoutée sur le plan personnel et émotionnel. Cette motivation alimente l'appétit d'apprendre. Dans le constructivisme, l'apprenant doit d'abord comprendre comment analyser les problèmes pour élaborer ses propres stratégies. Il devra ensuite les expérimenter plutôt que de chercher à aboutir à des solutions. Mais pour que ce processus soit réellement efficace, il faut que l'apprenant ait à sa disposition un matériau ou un artefact, afin qu'il puisse concrétiser le cheminement de sa propre réflexion, que Papert nomme « engrenage »<sup>(107)</sup>. « *Ce qui m'intéresse, c'est le processus d'invention de ces "objets-pour-penser-avec", des objets qui doivent comporter l'intersection d'une présence culturelle, d'un savoir incorporé et de la possibilité d'une identification personnelle* », explique Papert.<sup>(108)</sup>

Cet « objet-pour-penser-avec » doit être manipulable et propre à favoriser l'autoacquisition de notions et de concepts. Il est collaboratif et communicatif, dans un contexte pédagogique qui se caractérise par une absence d'enseignant désigné. Papert insiste sur le nouveau rôle « inversé » de l'enseignant, qui met les matériaux pédagogiques à disposition des élèves. Il s'inspire ici des concepts d'une des grandes figures de la

106 « On sait que Jean Piaget s'est intéressé à l'essor de la cybernétique dès le début de cette discipline. Marc Richelle (*L'acquisition du langage*, 1971) évoque les nombreux points communs entre les théories de Piaget et certaines analyses cognitivistes qui comparent l'esprit humain à un ordinateur. Ces travaux seront à l'origine de la notion d'intelligence artificielle. Il n'est donc pas étonnant qu'une entente particulière ait pu exister entre le vieux maître de Genève et Seymour Papert, un chercheur américain passionné par les engrenages. Seymour Papert décrit lui-même sa démarche (1981). Un de ses buts est de comprendre comment les ordinateurs peuvent affecter nos manières de penser et d'apprendre. Seymour Papert refuse de considérer les outils informatiques comme des objets matériels : ils sont selon lui porteurs d'idées productrices et vecteurs d'évolution culturelle. On peut donc affirmer que Piaget a été indirectement associé à la révolution informatique qui commence alors à se dessiner » Meljac, C., & Shoov, E. (2011). Piaget : un inconnu. *Contraste*, 3435(1). <https://doi.org/10.3917/cont.034.0031>

107 J'ai raconté comment les engrenages ont aidé les mathématiques à s'introduire dans ma vie. (...) D'abord, ils faisaient partie de mon « paysage » naturel (...) ce qui m'a permis de les découvrir par moi-même, et de faire leur connaissance à ma façon. En second lieu, ces engrenages faisaient aussi partie du monde des adultes qui m'entouraient (...). En troisième lieu, mon corps lui-même pouvait m'aider à comprendre les engrenages (...) ce qui me permettait de faire appel à mon expérience concrète, au « savoir de mon corps » pour réfléchir sur les systèmes d'engrenages (...). Les engrenages me tinrent bientôt « d'objet-pour-penser-avec ». Je les ai utilisés en ce sens pour m'aider à devenir mathématicien. » Papert, S. (1981). *Jailissement de l'esprit*. Flammarion. 22

pédagogie française du XXe siècle, Célestin Freinet<sup>(109)</sup>. L'apprentissage se fait alors naturellement, en confrontant l'apprenant à ses propres limites, sans jugements de valeur, en lui permettant de les dépasser et d'être toujours force de proposition. Au lieu de fournir des modèles préconçus sur la manière de résoudre des problèmes, les « nouveaux » enseignants jouent un rôle de « facilitateurs de connaissances ». De surcroît, ils sont également capables d'apprendre en observant les expérimentations de leurs élèves. Comme le décrira plus tard Michael Resnick<sup>(110)</sup>, qui fut l'étudiant de Papert :

Le processus implique (au moins) deux niveaux de conception : les éducateurs doivent concevoir des choses qui permettent aux élèves de concevoir les choses <sup>(111)</sup>.

Ainsi la pédagogie constructiviste s'inscrit-elle dans un environnement « matériel » où les élèves agissent comme des inventeurs<sup>(112)</sup>. Ils n'apprennent pas simplement des faits, des concepts et des techniques. Ils apprennent à penser de manière pertinente et autocritique sur le processus de résolution de problèmes. Les élèves font des propositions, les testent, changent leurs propositions et les testent à nouveau dans un processus d'apprentissage itératif :

*« Beaucoup d'enfants, par exemple, sont bloqués dans l'acte d'apprendre parce que, pour eux, quand on apprend, c'est tout ou rien : on a compris, ou pas compris. Mais quand on apprend à programmer un ordinateur, on n'y arrive presque jamais du premier coup. Apprendre à passer maître en l'art de programmer, c'est devenir hautement habile à déceler où se nichent les "bugs" et à y remédier, autrement dit à écheniller les points du programme qui l'empêchent d'avancer. La question à se poser, au sujet d'un programme, n'est pas de savoir s'il est juste ou faux, mais si l'on peut l'arranger. » écrit Seymour Papert dans son ouvrage « Jaillissement de l'esprit »<sup>(113)</sup>.*

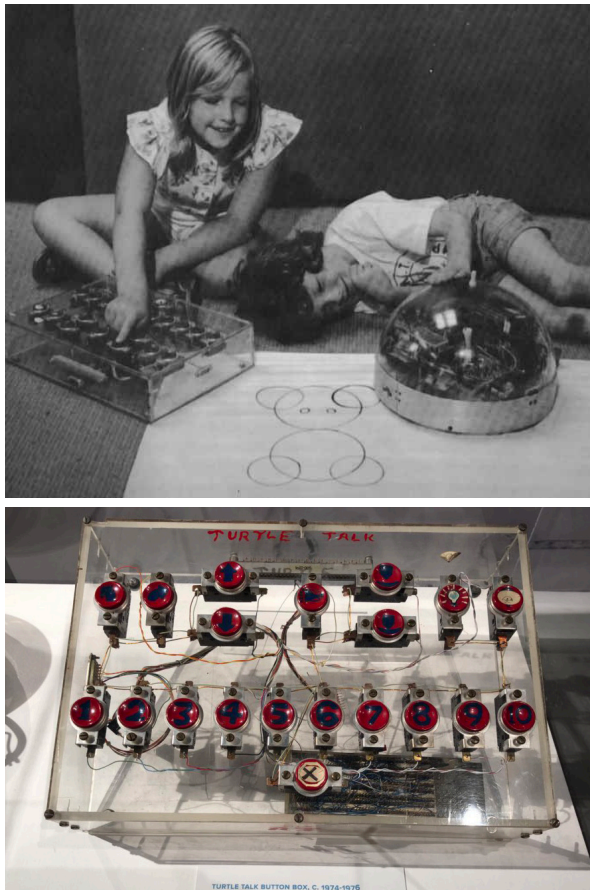
109 « Les éducateurs de l'ancienne école sont persuadés en effet qu'ils ont à résoudre exclusivement des problèmes d'intelligence et de compréhension, et non des problèmes de comportement et de vie. Si l'enfant n'a pas compris, il faudra, vous dira-t-on, lui expliquer, et on ne peut expliquer qu'intellectuellement, comme si les mécanismes sensibles des individus fonctionnaient en circuit fermé, dans le cerveau souverain. L'idée ne viendrait jamais à ces éducateurs intellectualistes que l'enfant, placés dans certaines conditions favorables, après avoir fait observations et expériences, puisse, de lui-même, dominer des difficultés dont le maître croit seul détenir le secret. La science, selon eux, ne descend que d'en haut ; elle ne saurait monter d'en bas, puisqu'elle est la « science ». La mécanique peut aider les élèves à répondre aux questions posées, tout comme les explications du manuel permettent de faire les exercices préparés par les leçons ». Freinet, C. (1964). *Bandes Enseignantes et programmation* (Vol. 2932). Bibliothèque de l'école moderne. <https://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/18356>

110 Michael Resnick

111 Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46(4), 4355. <https://doi.org/10.1007/bf02299672>

112 "Constructionism is built on the assumption that children will do best by finding ("fishing") for themselves the specific knowledge they need; organized or informal education can help most by making sure they are supported morally, psychologically, materially, and intellectually in their efforts. The kind of knowledge children most need is the knowledge that will help them get more knowledge." Papert, S. A. (1994). *The Children's Machine : Rethinking School In The Age Of The Computer* (Revised ed.). Basic Books.

113 Papert, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit* (1éd.). Flammarion. 36.



**(fig. 50) Mindstorms : Children, computers, and powerful ideas, page de couverture, 1re édition, ed. Basic Books, NY, 1980**

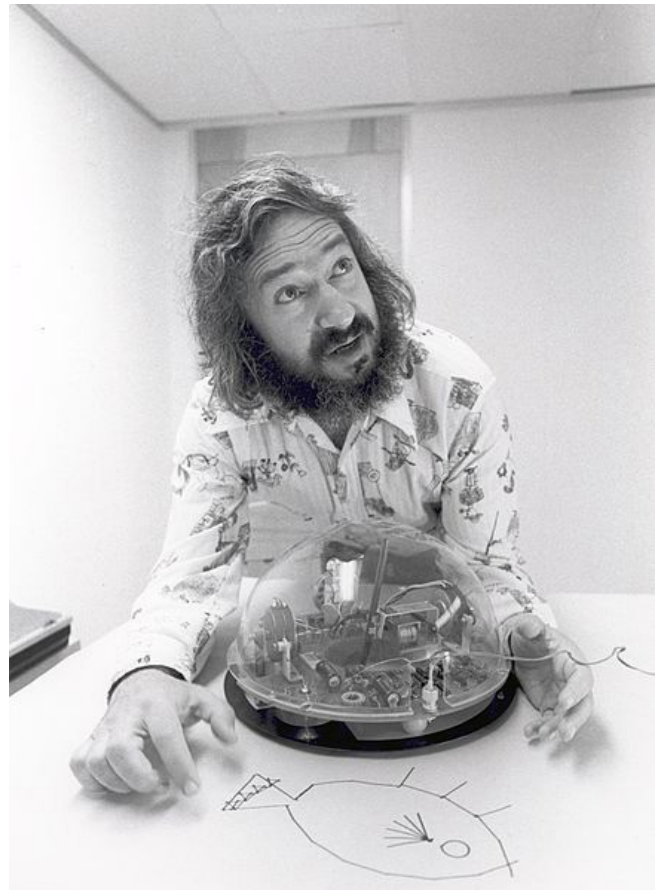
**Seymour Papert**

Basic Books, Inc., Publishers / New York

**(fig. 51) Tortis/Turtle talk button box, 1974**

**Radia Perlman, ingénieur et chercheur**

Radia Perlman, chercheur en informatique au MIT met au point la première interface permettant aux jeunes enfants d'effectuer de la programmation informatique. Elle un système de programmation tangible, à partir du langage LOGO, appelé TORTIS. La « Button Box », programmée via TORTIS, permet aux plus jeunes enfants de contrôler le robot TURTLE.



**(fig. 52) Seymour Papert avec un des premiers modèles de Turtle Logo, 1971**

Le premier robot TURTLE Logo arrive au MIT grâce à Mike Paterson le robot Turtle. Connecté à l'ordinateur via des lignes câblées, il se déplace physiquement au sol, pour dessiner des traces géométriques. À l'aide du programme Logo, un élève peut commander le robot à distance pour dessiner. En 1972, l'ingénieur Paul Wexelblat conçoit une nouvelle version du robot, sans fils, nommé « Irving ». Irving est capable de se déplacer librement via un émetteur-récepteur radio connecté à un ordinateur distant. Ce robot Turtle, qui évoluera progressivement en intégrant des fonctionnalités de plus en plus complexe, tel que la reconnaissance vocale, synthèse, capteurs tactiles, boussole électronique, mouvement du moteur pas-à-pas, interface infrarouge, ports d'extension.

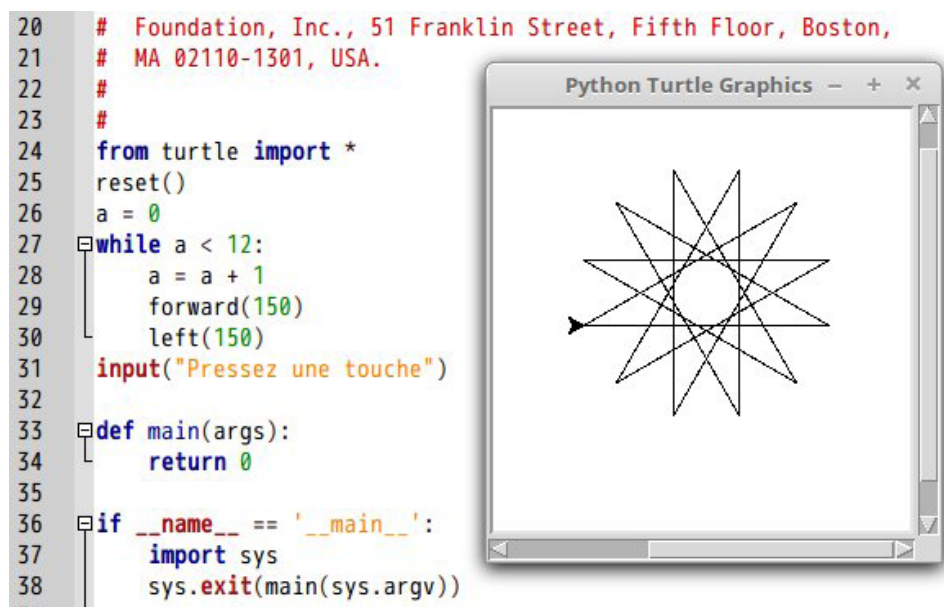
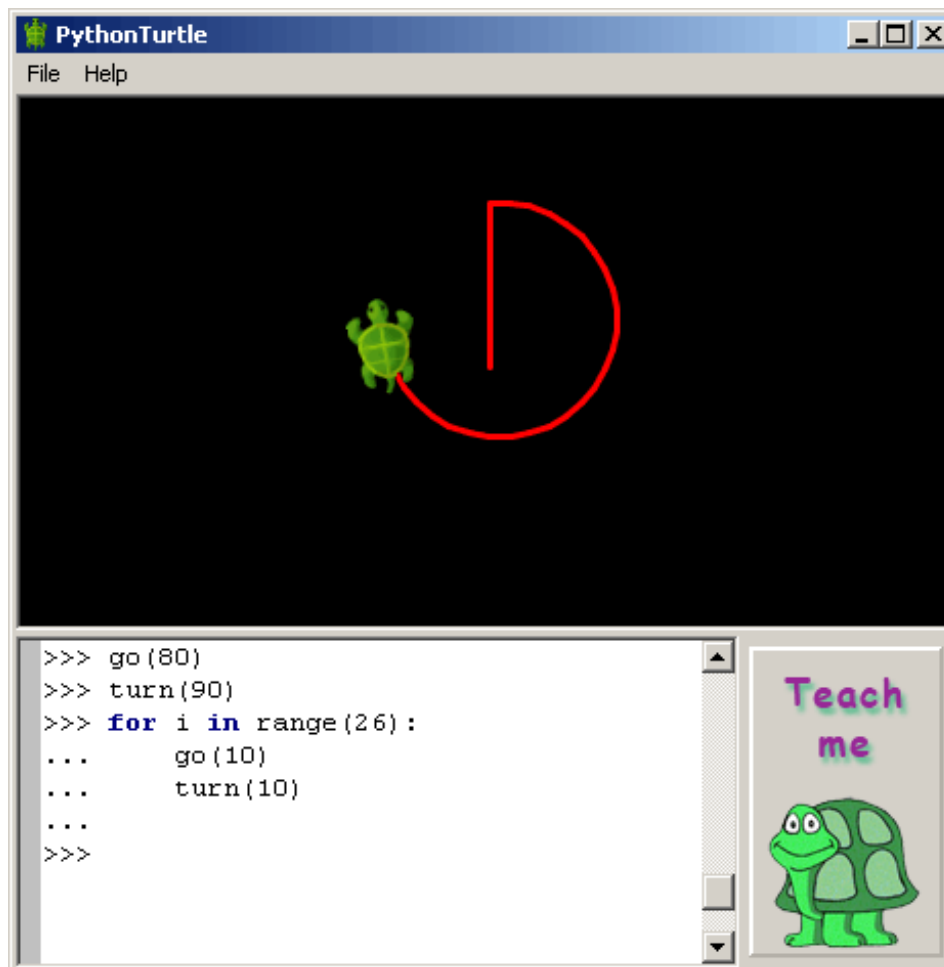


(fig. 53) Valiant Turtle, 1983

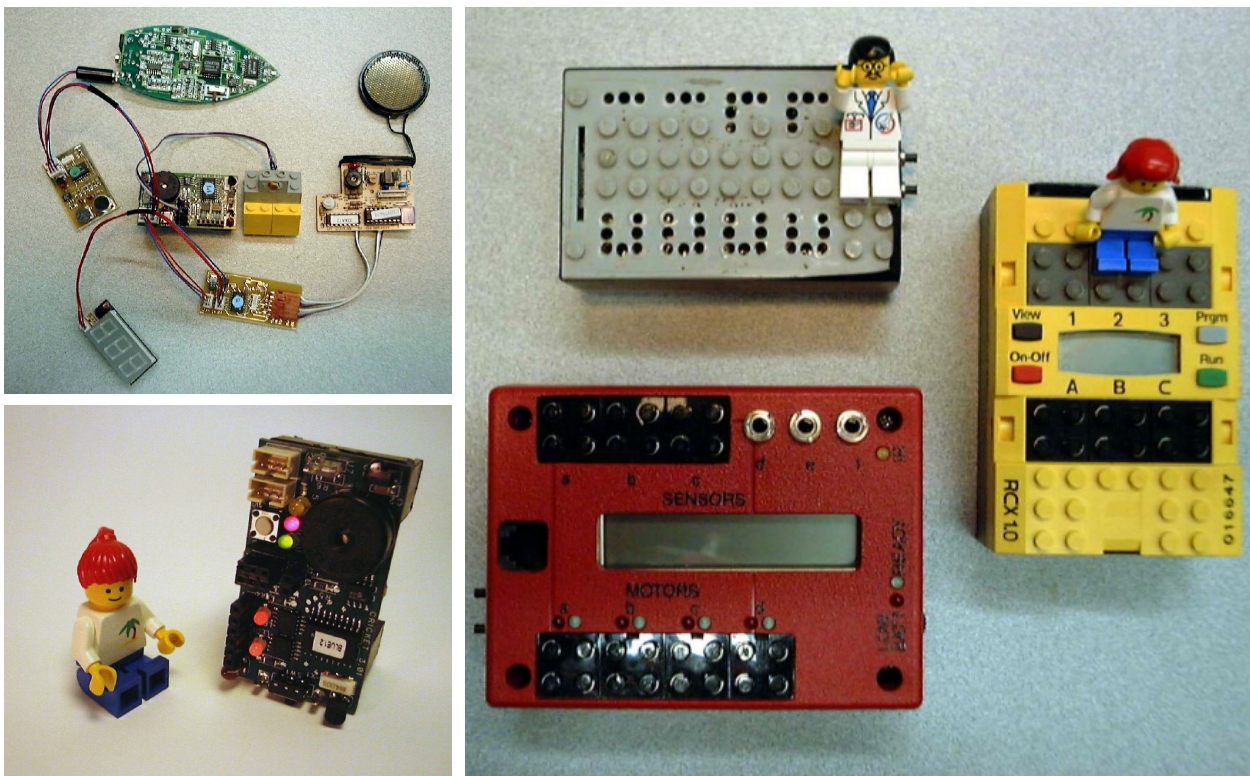
Seymour Papert, Dave Catlin

Le robot éducatif Turtle est diffusé massivement dans les écoles pour enseigner le logo aux jeunes enfants. Celui-ci est connecté à l'ordinateur par infrarouge. Il est motorisé, se déplace dans l'espace grâce à des capteurs qui lui permettent d'éviter les obstacles. Le « Valiant Turtle » est spécialement conçu pour être utilisé avec le programme Logo. Il est équipé d'un stylo traceur lui permettant de créer un dessin sur une grande feuille de papier, à partir du programme.





(fig. 54) Interface du « Logo Turtle », 1980



**(fig. 55) Brique programmable MIT**

The Programmable Bricks have been developed at the MIT Media Laboratory by Fred Martin, Randy Sargent, and Brian Silverman, with the guidance of Professors Seymour Papert and Mitchel Resnick and support from the LEGO Group and the National Science Foundation.

The Programmable Brick is part of the ongoing LEGO/Logo research project at the Epistemology and Learning Group at the MIT Media Laboratory. About 40 Programmable Bricks are currently in use at school sites and other locations.

Il s'agit ici de miser davantage sur l'expérience non linéaire de l'action comme mode d'acquisition des connaissances, plutôt que la recherche d'un résultat. La stratégie déductive ou inductive, « l'erreur » comme stimulant de reconceptualisation, la prise en compte de l'imprévu figurent parmi les clés de ses principes éducatifs.

### *4.3 Logo et turtle, premières interfaces tangibles orientées objet.*

Pendant plusieurs années, Seymour Papert<sup>(114)</sup> et son équipe de recherche s'attachent à mettre en pratique ces hypothèses constructivistes. Papert commence à élaborer un matériel pédagogique ludique, dédié à l'apprentissage des mathématiques et de la géométrie. Il centre ses investigations sur l'appropriation par les enfants d'outils computationnels et sur l'invention d'un langage informatique simplifié. À la fin des années 60, il conçoit LOGO, la première langue de programmation « orientée objet » pour les enfants. Malgré sa simplicité apparente, LOGO est un véritable langage de programmation qui permet d'aborder des concepts fondamentaux de l'informatique tels que la récursivité, le traitement de listes ou la pleine fonctionnalité.

LOGO est une variante du langage de programmation LISP<sup>(115)</sup>, utilisé par les chercheurs et les étudiants du MIT. LISP est à l'époque le langage le plus populaire dans l'enseignement universitaire, du fait de son efficacité. Il permet en effet d'explorer la résolution de problèmes linguistiques et mathématiques, parce qu'il permet aussi de développer d'autres langages de programmation.

LOGO est ainsi une simplification de LISP, relativement exempte des règles syntaxiques qui rendent les langages de programmation complexes et difficiles à apprendre aux néophytes. LOGO, comme LISP permet de créer de nouvelles applications dans beaucoup d'autres domaines. C'est un langage évolutif en quelque sorte qui préfigure la génération des logiciels libres à « scripts ouverts ».

LOGO est d'abord un outil de construction géométrique et de résolution de problèmes logiques, facile à apprivoiser par les enfants grâce à son expression graphique colorée et ludique. Puis il devient un langage de programmation à part entière, permettant notamment aux enfants de piloter un petit robot électromécanique, présenté sous la forme d'un animal cybernétique nommé « TURTLE » (**fig. 50, 51,52,53**). Contrôlé par

114 *Ibid*, 269.

115 LISP: Langage de programmation inventé au MIT par John McCarthy en 1957. Le Lisp fonctionne par assemblage de blocs d'instructions (listes de syntaxe) prédéfinies.

l'ordinateur, ce robot est capable de dessiner des figures géométriques et des formes graphiques, sur une simple feuille de papier posée sur une table, ou directement sur le sol en utilisant tout l'espace d'une salle. C'est en lui transmettant des consignes que les enfants apprennent le dessin à la tortue : des formes basiques, telles que des triangles, des carrés, des cercles, ou des lettres et des phrases simples. La tortue peut aussi intégrer des consignes plus complexes telles que les décalages mesurés, les copies, les répétitions, les rotations... pour tracer des formes sophistiquées. LOGO est un langage qui augmente et s'enrichit avec son utilisateur, grâce à une procédure en feedback aussi simple qu'un jeu. L'enfant apprend à la tortue et la tortue apprend à l'enfant. Avec LOGO, les enfants jouent, et créent eux-mêmes leurs projets, mais ils contribuent surtout à faire évoluer le programme LOGO (**fig. 54**).

Fidèle aux théories de Piaget, Papert fait une place importante à l'expérience spatiale, qu'il considère comme essentielle dans l'apprentissage des concepts géométriques abstraits. Cette approche est appelée « body-centered geometry »<sup>(116)</sup>. Avec LOGO et TURTLE, les enfants apprennent à modéliser des figures géométriques dans l'espace physique, en utilisant leur propre corps. Ainsi, avant de programmer la tortue pour dessiner une forme, l'enfant explore la création de cette forme en déplaçant son propre corps dans l'espace de sorte que, en les intégrant physiquement, l'enfant comprend concrètement les instructions abstraites qu'il doit écrire pour faire reproduire ses mouvements par un autre « lui », artificiel. L'enfant apprend alors le langage de programmation et la notion de procédure d'exécution des tâches par l'action, par la mémorisation de ses propres mouvements, par l'anticipation, par les erreurs<sup>(117)</sup>, et par la rétroaction<sup>(118)</sup>.

Cependant le mode d'écriture dactylographique demeure pour l'enfant un obstacle à l'apprentissage de la programmation informatique. L'enjeu ne se situe pas seulement au niveau de la syntaxe de la langue et de l'écriture abstraite du code informatique,

116 Papert, S. A. (1993). *Mindstorms : Children, Computers, And Powerful Ideas*. Basic Books.

117 « En 1968 – il y a déjà bien longtemps ! – un langage de programmation informatique nommé LOGO fut inventé pour les enfants. Son inventeur, Seymour Papert, était convaincu que le codage (comme nous l'appelons aujourd'hui) était important, mais n'était pas une compétence qui, en tant que telle, donnerait à quiconque un emploi. Il y voyait un moyen pour que les enfants réfléchissent à la réflexion. Et ce dans la mesure même où les langages de programmation ne fonctionnent presque jamais la première fois. Il défendait l'idée que le débogage se rapprochait le plus de l'apprentissage de ce que c'était qu'apprendre. Autrement dit, on écrit un programme, on l'exécute, on procède au débogage et on le répète. Ces étapes peuvent sembler quelque peu évidentes ou abstraites en elles-mêmes ; les parcourir n'entraînait pas moins des conséquences tout à fait spécifiques. Par exemple, les enfants qui apprirent ainsi la programmation entre l'âge de 8 et 10 ans firent des progrès en orthographe. Mais quel rapport pouvait-il bien y avoir entre l'orthographe et la programmation informatique ? Aucun. Cependant, le processus du débogage avait transformé l'attitude des enfants face aux erreurs. Au lieu d'essayer de dissimuler leurs erreurs, ils se réjouissaient au contraire de les avoir commises, parce que rien n'était plus amusant que les erreurs. » Negrogonte, N. (2015). Apprendre à apprendre dans un monde connecté. *Cités*, 63, 119132. <https://www.cairn.info/revue-cites-2015-3-page-119.htm?contenu=resume>

118 « The central role of the Turtle in this book should not be taken to mean that I propose it as a panacea for all educational problems. I see it as a valuable educational object, but its principal role here is to serve as a model for other objects, yet to be invented. My interest is in the process of invention of "objects-to-think-with", objects in which there is an intersection of cultural presence, embedded knowledge, and the possibility for personal identification. » Papert, S. A. *Op.cit.*



mais il se situe aussi dans le lien sensible et instinctif avec l'ordinateur, lien qui se traduit par l'exploration physique et tactile.

Pour remplacer le clavier qui peut s'avérer difficile à manipuler pour un enfant, Seymour imagine une interface externe à l'ordinateur capable de communiquer directement avec lui, à base de jeux de cubes électroniques. L'écriture programmatique est ainsi remplacée par une collection d'objets cubiques, qui se manipulent selon une logique d'assemblage « pas à pas ». Les enfants peuvent écrire des algorithmes en emboîtant manuellement les objets cubiques, sans avoir recourt à l'interface complexe de la machine. Papert imagine ainsi un système LOGO hybride à la fois manuel et textuel, qui fonctionne sur le même principe d'assemblage des listes d'ordres, de procédures, de mots ou d'objets. Cette recherche répond aux interrogations qui l'animent alors à propos de l'ordinateur et de la nécessaire simplification de son usage :

*Nearly fifteen years ago it became clear to me that certain changes having to do with computers were going to seep into the culture and become part of everyone's life. These changes would occur because of economic and historical and intellectual forces vastly more powerful than those of any school board, or even the National Science Foundation. The computer is a product of history, a cultural force, and we cannot change that fact. What we can do, however, is try to deviate this force a little. Thus, I arrived at the idea of integrating a programming language with the concrete world of visual events, making graphics available through "turtles," making programming and all the mathematics and conceptual events programming entails—making that concrete instead of abstract. The importance of the computer is that a whole range of abstract entities which could not physically be manipulated before can be now. They can become concrete. One can play with them, push them around. The computer is a universal machine, and if we are clever enough, if enough of us get involved in the process, perhaps one day we can use it to fill all the gaps. That is the general goal.<sup>(119)</sup>*

#### 4.4 La première brique de construction tangible.

L'hypothèse de Papert sera mise en application par Michael Resnick<sup>(120)</sup> au sein du Médialab, nouvellement dirigé par Negroponte, au début des années 80. Resnick commence à travailler sur un nouveau type de jeu éducatif plus évolué. Il conçoit, avec son équipe d'ingénieurs, une brique programmable (« MIT Programmable Brick »), un dispositif ludique électronique, permettant aux enfants de construire soit des programmes, soit des objets en trois dimensions (robots, bâtiments, paysages...). Bien qu'agissant comme n'importe quel jeu de construction en bois ou en plastique, la « MIT Programmable Brick » possède des fonctionnalités électroniques intégrées dans chaque pièce du jeu, qui communiquent avec l'ordinateur. On peut désormais

119 Papert, S., P.3-4, <http://dailypapert.com/wp-content/uploads/2011/03/Computer-as-Mudpie.pdf>

120 Mitchell Resnick est professeur et chercheur dans la discipline des Sciences de la communication au sein du Medialab (MIT). Il dirige le groupe de « Lifelong Kindergarten » créer à partir du projet Logo. Mitchell Resnick a créé l'interface « Scratch », un langage de programmation encore utilisé aujourd'hui dans l'apprentissage de la culture numérique aux enfants et aux étudiants. « Scratch » est une application contemporaine, adaptée de Logo.

concevoir des créations dynamiques, en animant des objets ou des dessins et en les contrôlant avec un programme informatique. (**fig. 55**)

La « MIT Programmable Brick » incarne parfaitement l'objectif de conception « à faible barrière à l'entrée et à haut plafond » cher à Papert. Elle adopte le principe d'assemblage du LEGO avec ses tenons, suffisamment simple pour que les utilisateurs débutants puissent apprendre à les utiliser, et particulièrement efficace pour les utilisateurs plus expérimentés lorsqu'il s'agit de tester rapidement leurs concepts. Les premières briques programmables en forme de LEGO compatibles avec les briques standard sont utilisées par les étudiants de Resnick pour tester leurs projets d'études, avant de devenir un outil éducatif et ludique destiné aux jeunes scolaires. Le premier prototype de la LOGO Tangible Programming Bricks est un LEGO de format 4x2, qui contient un microcircuit électronique lui permettant une communication vers ses voisins au-dessus, et en dessous. Chaque brique correspond à une commande déterminée. Certaines actionnent le mode entrée ou sortie des informations, tandis que d'autres envoient des instructions exécutables. Dans les premiers modèles, les constructions sont fixées sur un socle connecté qui sert de relais pour communiquer les informations à l'ordinateur, ou à l'objet.

En outre, le programme LOGO s'adapte au nouvel outil tangible, en adoptant visuellement le même principe d'emboîtement. À ce stade, les instructions sont aussi représentées sur le programme par des motifs imitant les briques, motifs qui s'assemblent selon les mêmes règles. Les briques physiques et les motifs graphiques s'utilisent avec la même dextérité et la même logique algorithmique. LOGO devient un langage de programmation orientée objet « réflexif » hybride, c'est-à-dire qu'il peut s'enrichir des procédures tangibles créées par l'utilisateur avec les briques, et vice versa.

La LOGO *Tangible Programming Bricks* marquera l'entrée de l'interaction tangible dans le monde des médias pédaogo-ludiques.

#### 4.5 Évolution du langage de programmation : LogoBlocks

Dans les années qui suivent, M. Resnick, directeur du Learning Research au Media Lab, continue les recherches initiées par Papert et fait évoluer l'environnement de la modélisation programmable, pour aider ses propres étudiants à explorer les nouveaux systèmes d'interactions tangibles pour les enfants. La nouvelle génération de la brique programmable est maintenant dotée d'un microprocesseur intégré, elle communique sans fil avec l'ordinateur grâce à un émetteur, et sa taille est considérablement réduite. De plus, comme elle ne nécessite plus de connexion filaire à un ordinateur lors de l'exécution des tâches, elle possède son propre environnement de modéli-

sation et de programmation, indépendamment de l'ordinateur. Elle est équipée de multiples capteurs de lumière, de couleurs, de sons et de températures, d'actionneurs, d'accéléromètres, de gyroscopes, de port d'entrées, et de sortie audio... D'autres fonctionnalités peuvent être ajoutées via des périphériques externes, tels qu'un micro, un moteur, ou une mémoire annexe. La brique initiée par S. Papert devient un microcontrôleur à multiples entrées et sorties, comme nous le rappelle M. Resnick :

*Ces décisions de conception cadraient bien avec la vision globale du projet, car les enfants n'avaient pas à limiter leurs créations à des choses à l'intérieur d'un ordinateur de bureau ou à des choses qui devaient être connectées à un ordinateur. Leurs créations pourraient être «vivantes» et interagir avec d'autres objets dans le monde réel. La brique a été conçue pour «libérer les enfants» de la mentalité de l'ordinateur de bureau et les amener dans un monde informatique omniprésent, dans lequel les ordinateurs sont connectés et répartis dans tout l'environnement. Les enfants ont été autorisés à être des architectes et des ingénieurs, et pas seulement de simples utilisateurs [...]*<sup>(121)</sup>

Les premières générations de la brique ont été programmées en utilisant une interface LOGO basée sur le texte, trop abstraite pour les enfants. Afin de mieux satisfaire l'objectif de conception accessible « à faible barrière », Resnick travaille à élaborer la version graphique de l'interface LOGO appelée LogoBlocks. Celle-ci fonctionne sur le même principe d'assemblage des briques. On emboîte des « blocs graphiques » pour programmer la brique avec la même logique de manipulation. Chaque bloc représente une action (telle « paramétrer la valeur du capteur »), ou une requête (« répéter l'action x fois »). Les blocs enregistrent les données et se les transmettent les uns aux autres : ils définissent ainsi un programme qui est compilé, puis exécuté, par le microcontrôleur contenu dans la brique tangible. Cependant LogoBlocks fonctionne avec des consignes préétablies qui peuvent s'avérer vite limitées quand il s'agit de produire des programmes plus sophistiqués. Mais l'interface est conçue pour évoluer et s'adapter à un projet sur mesure. Le LogoBlock, tout comme son prédécesseur LOGO, est un descendant de LISP, c'est-à-dire un langage ouvert. Ainsi, derrière l'interface enfantine de Logoblock, on trouve instantanément l'accès au code source. Par conséquent, les recherches ultérieures cherchent à produire une interface hybride à la fois simple d'accès, mais aussi performante : les programmes peuvent être vus et manipulés sous une forme ou sous une autre, graphique ou textuelle. Logoblock offre aux débutants l'avantage d'une interface graphique simple, mais leur permet également d'apprendre la syntaxe LOGO et de passer peu à peu au codage textuel dès qu'ils deviennent plus compétents. Avec ces nouvelles compétences acquises, ils sont capables de faire évoluer la syntaxe LOGO, afin de transmettre leurs connaissances à d'autres débutants.

121 Vallance, M., Martin, S., Wiz, C., & Van Schaik, P. (2009b). LEGO Mindstorms, The Structure of an Engineering (R)evolution. *Proceedings of the 2009 British Computer Society Conference on Human-Computer Interaction, BCS-HCI(09)*, 159162. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1671011.1671029>

## 4.6 LOGO Mindstrom, Partenariat avec LEGO.

À partir de 1985, Resnick et son équipe initient une longue collaboration avec la société LEGO qui partage avec Microworlds la même philosophie de l'apprentissage constructiviste. LEGO voit dans les travaux du laboratoire Microworlds, une opportunité de repenser l'économie et l'idéologie de la célèbre brique imaginée depuis quarante ans. Il s'agit alors de la placer au cœur de l'innovation technologique. L'équipe Microworlds a commencé à relier les briques de construction LEGO avec le langage de programmation LOGO, dans une combinaison qu'ils ont nommée LEGO / LOGO.

Cette expérience aboutit à la démocratisation et à la diffusion commerciale des nouveaux jeux connectés, programmables. Notons que l'interconnexion entre les supports de jeux physiques et numériques est un enjeu déterminant depuis le milieu des années 90 : les jeux numériques et les jeux tactiles transportent les joueurs dans des expériences ludiques, imaginaires, et créatives qui ne mobilisent pas les mêmes fonctions sensorielles. On assiste bien à un transfert des jeux tactiles et physiques vers le numérique et le virtuel, avec l'invention de nouveaux dispositifs d'interactions, et de nouveaux contenus. À l'inverse, c'est-à-dire l'expérience vidéo ludique dans l'espace matériel de la réalité tangible, restera, pendant plus d'une décennie un chantier incertain. À l'arrivée des technologies transmédias, on dissocie nos modes d'existence en deux mondes distincts, certes continus, mais différenciés et distancés : celui d'internet et du réseau dans lequel nous vivons notre existence sociale virtuelle, et l'autre, le réel, toujours associé aux contingences matérielles. L'expérience de l'immatérialité dans le quotidien de l'homme fera naître autant d'espoirs de conquêtes de nouvelles capacités surhumaines (l'homme augmenté) que d'effrois quant à l'apparition de possibles pathologies schizophréniques (l'homme ubiquitaire).

Les recherches, en particulier dans le domaine vidéo ludique et dans celui de l'éducation, vont tendre à créer plus de porosité entre les deux mondes. Elles iront jusqu'à des points de rencontre qui étendent l'expérience virtuelle à celle de l'espace physique, hors de toute connexion, grâce à l'utilisation des capteurs. La miniaturisation des capteurs autorise cette évolution technologique. On trouve aujourd'hui ces capteurs dans les interfaces tangibles et les dispositifs narratifs transmédias.

Les premières expérimentations d'interface vidéoludique tangibles ont été développées au tout début des années 2000, pour faciliter l'accès à la modélisation 3D, en particulier pour un public d'enfant, alors que l'économie des jeux vidéo entame, à la



même époque, son plein essor et devient omniprésente pour une grande partie de la population.

Dans un contexte dans lequel l'industrie du vidéoludique va favoriser le déploiement de l'innovation technologie, les sciences du jeu, ont le vent en poupe.

### *Conclusion de la première partie*

L'une des caractéristiques de la révolution numérique, depuis son origine, est qu'elle a engendré une pluralité d'expérimentations. Ces dernières résultent du rapprochement inattendu, même incongru, entre différents domaines disciplinaires. Cette transversalité a construit la mutation, non pas comme un tout homogène et cohérent, mais comme une succession d'expérimentations singulières dont certaines ont connu leurs heures de gloire dans la pratique architecturale, tandis que d'autres n'ont pas conquis le marché. En effet, un certain nombre de démonstrations technologiques (considérées comme inexploitable en tant qu'outils d'architecture) ont été paradoxalement très convoitées par les sciences de l'éducation, des médias et du jeu et le demeurent aujourd'hui.

Parallèlement, elles constituent le terreau de l'innovation actuelle en matière d'outil de conception d'architecture. En d'autres termes, les explorations architecturales adoptées vis-à-vis des technologies depuis l'émergence de l'informatique s'affirment comme un corpus d'étude riche et fécond pour rendre compte des différentes conduites et attitudes adoptées vis-à-vis des technologies numériques d'aujourd'hui.

## DEUXIÈME PARTIE :

### Du virtuel au tangible : Convergences entre l'architecture et le jeu de construction

Au cours des années 90, la société plonge dans les technologies de l'informatique et de la communication (TIC) qui amorcent la révolution des médias numériques. L'intégration progressive des TIC dans le champ architectural va modifier en profondeur tous les aspects de sa production. Les ordinateurs personnels remplacent définitivement les grandes tables d'architectes, et tous les équipements qui les accompagnaient font place aux interfaces graphiques. Les architectes, les designers adoptent les logiciels d'aides aux dessins (CAO, DAO, CAAD), pendant que d'autres logiciels dédiés à la retouche photographique, à l'écriture typographique, au montage vidéo arrivent sur le marché de l'industrie créative et culturelle (Adobe Photoshop, Illustrator...). La standardisation des interfaces des logiciels et des formats numériques permet très vite la mise en relation des différentes pratiques professionnelles. Les architectes explorent, souvent en amateurs, les moyens de conceptions des autres disciplines en expérimentant leurs logiciels, puis les adoptent en les détournant à leur propre compte. Ces processus en « vases communicants » permettent le rapprochement désinhibé et spontané de l'architecture, avec les nouveaux médias numériques : le cinéma, la photographie, le graphisme, l'édition... L'architecture entre dans la transmédiatité, ou narration transmédia, tel qu'Henry Jenkins l'a définie au début des années 2000<sup>(122)</sup>. La définition de ce concept se base sur l'observation des interactions complexes entre les différents médias, génératrices de nouveaux récits tant culturels que sociaux.

---

122 Jenkins, H. (2013). *La culture de la convergence - Des médias au transmédia (French Edition)*. Armand Colin.

Ce nouveau contexte de contamination des différents médias et des disciplines crée de nouvelles interconnexions entre l'architecture et la culture de masse et des loisirs : l'architecture se médiatise, se transmet, se communique, s'apprend, se partage.

C'est exactement ce nouveau terreau qui va permettre le déploiement, pendant plus d'une décennie, du numérique tangible et du jeu. Ils matérialiseront d'une certaine manière la rencontre, c'est-à-dire l'interconnexion entre les différentes « natures » des formats numériques.<sup>(123)</sup> .

---

123 Tschumi, B., *L'inter-textualité et la contamination des disciplines*, Bernard Tschumi, Conférence, centre Pompidou, 2014. Consulté le 15/04/2017.

## CHAPITRE 1 :

# La révolution transmédia

L'exploration des nouveaux médias par les architectes se produit selon plusieurs stratégies autorisées par les constants progrès de la technologie : le développement du web, la découverte et l'exploration du cyberspace et les jeux vidéo. Ces aspects sont développés dans le premier chapitre de cette partie. Parallèlement et paradoxalement, l'immatérialité qui résulte de ces nouvelles appropriations va engendrer de nouvelles quêtes liées au corps et à sa matérialité avec l'élaboration d'objets tangibles, dont la conception et la fabrication procèdent aussi des avancées technologiques. Ces recherches sont présentées dans le deuxième chapitre de cette partie.

### *1.1 Le web et la révolution transmédia*

Le net est désormais accessible dans tous les milieux professionnels et dans la société civile aisée. Il plonge la société dans l'ère de la communication dématérialisée. Il abolit les anciennes frontières entre les cultures et les métiers, se diffuse très rapidement à travers le monde, notamment grâce au développement des langages numériques universels permettant le partage et la diffusion des formats visuels et textuels. Cela donne lieu à la prolifération des mélanges des genres et à l'invention de différents formats de médias interactifs, qui caractériseront la mutation fulgurante des modes de communication.

### *1.2 La combinaison des médias*

L'écosystème médiatique lié au développement du numérique et à Internet se définit alors par la notion de multimédia : c'est-à-dire l'utilisation de l'image, de l'animation, du son, du texte sur un seul et même support. À partir du multimédia s'agrègent d'autres termes : le transmédia, l'hypermédia et le cross média. Cette nouvelle sémantique traduit le fait que la combinaison des médias touche tous les domaines.



Si la notion d'hypermédia qui fait référence à celle de l'hypertexte enrichi d'images et de sons est plutôt familière des pratiques éducatives, on peut noter que le cross média fournit une nouvelle façon d'élaborer les campagnes publicitaires, mises en place par les entreprises pour toucher le plus de monde possible en cumulant des médias complémentaires.

Ces nouvelles formes de communication visent à qualifier l'émergence de nouvelles stratégies narratives, et de nouveaux processus de production dans le domaine des éditions culturelles propres à chaque domaine. Ce florilège de termes traduit la nécessité de nommer les nouveaux modes d'existence des contenus fictionnels ou documentaires, qui se construisent grâce à l'agencement et la complémentarité de différents médias et de différents formats (CD, Internet...) Pour le théoricien des médias, Henry Jenkins, la société entre dans la « culture de la convergence ». Celle-ci se caractérise par l'émancipation des modes de diffusion et de communication des objets culturels (livres, film, musique...) ainsi que leur développement économique. Ils traversent maintenant toutes les disciplines de la création.

### 1.3 Convergences collaboratives et médias hybrides

Dès lors que l'accès aux technologies du web se démocratise, introduisant l'interactivité dans la pratique des médias, la « culture de la convergence » laisse une nouvelle place au public. Celui-ci s'approprie les nouveaux supports culturels et peut désormais interférer dans l'élaboration des contenus devenus interactifs et collaboratifs. La « culture de la convergence » est *participative*. Elle rapproche les experts de la société civile dans un processus de dialogue qui crée de nouvelles formes de contenus informationnels, sociaux et politiques.

En outre, la convergence des médias incite tout un pan de l'architecture à se lancer dans la conquête de nouveaux concepts, par contamination avec d'autres champs disciplinaires concernés par la révolution numérique. Avec l'interconnexion des supports de communication, il est désormais possible pour l'architecte d'explorer de nouvelles formes de représentation narratives entremêlant l'image, l'animation, le son, le texte avec des formats et des supports hybrides qui enrichissent l'outillage traditionnel de l'architecte (photos, caméra, enregistrement sonore...).(124)

124 Migayrou, F. (2014). *Bernard Tschumi, Architecture : Concept et Notation*, Ed. Centre Pompidou. 23.

## 1.4 L'architecture dans le cyberspace et l'espace médiatique en 3 dimensions

L'introduction de la troisième dimension dans les représentations diffusées sur Internet offre de nouveaux modes d'expression de plus en plus réalistes qui définissent la réalité virtuelle. Si cette innovation est en priorité exploitée par les jeux vidéo en ligne, elle participe aussi à renouveler des éléments de langage et des pratiques de communication dans les agences d'architecture.

À la fin des années 1990, la révolution des médias s'ouvre vers de nouvelles opportunités visuelles, grâce à la progression rapide des performances du matériel informatique. L'évolution de la capacité de calcul de l'ordinateur permet la montée en puissance de la modélisation et de la visualisation de l'espace en 3 dimensions, notamment avec l'image de synthèse, fixe ou animée. Puis apparaissent, avec le transfert des formats en 3D vers le web, les prémices de la réalité virtuelle. À cette époque, la réalité virtuelle définit plus précisément le cyberspace, identifié comme l'espace tridimensionnel d'Internet. Le cyberspace est alors perçu comme un vaste territoire vide et libre d'occupation, ou comme une terre promise qui éveille les passions dans tous les milieux de la création et de la communication. Le cyberspace offre en outre une porte d'entrée vers l'industrie du jeu de rôle et de stratégies en ligne <sup>(125)</sup> qui font une percée fulgurante.

## 1.5 Émergence d'une utopie sociale

Parallèlement, on peut observer que ce nouveau territoire virtuel héberge une utopie sociale, concrète et réelle. En son sein, la société civile peut s'exprimer librement. Elle peut s'organiser et s'unir pour lutter contre les forces politiques qui gouvernent le monde. Le cyberspace est l'emblème d'un nouvel espace démocratique en construction, sans frontière ni loi. C'est ici que s'expriment les protagonistes du mouvement du logiciel libre (Unix) et de l'open source, défendant la gratuité de l'accès à Internet... Le philosophe activiste de la révolution numérique, John Perry Barlow (1947-2018), rédigé en 1993, une déclaration d'indépendance du cyberspace qui fait figure de référence <sup>(126)</sup> :

125 MMORG (Massivement Multi-joueurs Online Rôle Playing game).

126 John Perry Barlow (1947-2018), philosophe activiste de la révolution numérique, fondateur de l'Electronic Frontier Foundation (EFF) avec Mitchell Kapor en 1990, pour défendre la liberté d'expression dans les réseaux. John Perry Barlow est aussi l'un des pionniers d'une des premières communautés en ligne, The Well (Whole Earth Lectronic Link), fondée en 1985 par Stewart Brand. [The Well est l'héritière](#) directe du Whole Earth Catalog, qui constituera la matrice du futur magazine *Wired*.

*Je déclare que l'espace social global que nous construisons est indépendant, par nature, de la nature, de la tyrannie que vous cherchez à nous imposer. Vous n'avez pas le droit moral de nous donner des ordres et vous ne disposez d'aucun moyen de contrainte que nous ayons de vraies raisons de craindre [...] Le cyberspace n'est pas borné par vos frontières. N'oubliez pas que vous puissiez le construire, comme s'il s'agissait d'un projet de construction publique. Vous ne pouvez pas. C'est un acte de la nature et il se développe grâce à l'action collective. Vous n'avez pas pris part à notre grande conversation, qui ne cesse de croître [...] Vous ne connaissez ni notre culture, ni notre éthique, ni les codes non écrits qui font de notre société un monde plus ordonné que celui que vous pourriez obtenir en imposant toutes vos règles [...] Le cyberspace est constitué par des échanges, des relations, et par la pensée elle-même, déployé comme une vague qui s'élève dans le réseau de nos communications. Notre monde est à la fois partout et nulle part, mais il n'est pas là où vivent les corps.*

Au même moment, Hacking Bey<sup>(127)</sup> défend l'appropriation de l'informatique et des réseaux par la société civile. Il invente le célèbre concept de TAZ (Temporary Autonomous Zone), qui définit l'occupation libre des espaces fluctuants du cyberspace. Il construit une analogie avec la philosophie des pirates qui consiste à s'exiler de toutes nations, afin de mener une vie plus libre. TAZ devient le premier manifeste éthique référent pour la communauté naissante des hackers du net :

*La TAZ occupe un lieu temporaire, mais actuel dans le temps et dans l'espace. Mais elle doit aussi être clairement localisée dans le Web, et ce lieu est d'une nature différente, virtuelle et non actuelle, instantané et non immédiat. Le Web offre non seulement un support logistique à la TAZ, mais il l'aide également à exister ; sommairement parlant, on peut dire que la TAZ «existe» aussi bien dans le monde réel que dans l'espace d'information.<sup>(128)</sup>*

## 1.6 Dématérialiser l'architecture dans le cyberspace

Pour certains architectes, le cyberspace est aussi une terre d'exil. En effet, après la guerre du Golfe (1990), la société plonge dans une crise économique qui impacte fortement le marché de la construction et de l'immobilier. Cette crise systémique fait naître le mouvement de la Transarchitecture qui incite la culture architecturale et urbaine à migrer vers les terres dématérialisées et sans pesanteur du monde virtuel du cyberspace. À l'intérieur du cyberspace, une nouvelle société peut s'exprimer et se construire, en dehors des contingences de la vie réelle. Sans savoir réellement vers quelles destinées ce Nouveau Monde les emmènera, les jeunes architectes sont prêts à le conquérir. Le marché du travail est en berne. Exercer leur métier comme leurs pères leur semble impossible. Ces jeunes architectes ne sont pas passionnés par la maîtrise de l'« outil informatique technico-professionnel » qu'ils jugent peu créatif, et sans envergure politique et sociale. Ils souhaitent se tourner vers un outil qui s'infiltrerait dans la culture populaire et dans la sphère publique du net. Ils abordent ainsi l'ère

127 Hakim Bey est le pseudonyme de Peter Lamborn Wilson, écrivain politique et poète américain.

128 Bey.H., *TAZ. Zone autonome temporaire*, Editions de l'Eclat, Paris, 1997. Texte intégral en libre accès sur [www.lyber-eclat.net](http://www.lyber-eclat.net)

de la dématérialisation virtuelle et du transmédia, avec la naïveté et l'inventivité du néophyte. Ils explorent spontanément les ramifications culturelles et les connexions sociales du cyberspace. Ils les perçoivent comme une possibilité d'émancipation de leur propre métier. Pour eux, il s'agit d'un nouveau concept de l'écriture architecturale, pensé à la manière d'un médium de communication de masse. Le concept de l'architecture virtuelle hypermédia, est ainsi porté par les architectes Marcos Novak<sup>(129)</sup>, Asymptote Architecture<sup>(130)</sup> (Hani Rashid, Lise Anne Couture), Greg Lynn, Karl Chu, dECOi Architects (Mark Goulthorpe), Nox (Kass Oosterhuis).

*The dematerialization of artificial environment will lead to novel temporal and spatial standards. The concepts of formalization and representation of our systems of thought and the material frameworks of our experiences will be progressively modified. Our contemporary tools allow us to endlessly configure scenes and constantly vary moments and places. This enables the individual to create an environment in which he will operate his own space. The space will take on the author's own qualities. The collective spaces will propose evolutionary, transient and diffuse scales reflecting the quality of exchanged information.*<sup>(131)</sup>

### 1.7. Alphaworld : jeu de simulation urbaine dans le cyberspace

Ainsi, délaissant le monde réel, un certain nombre d'architectes s'engagent dans la conquête de l'espace virtuel tridimensionnel transmédia. Ce dernier est imaginé comme un gigantesque territoire vierge, qu'il faut d'abord rendre habitable pour pouvoir le peupler et l'organiser sur le plan social, politique et économique. Dans l'entourage des architectes, de nouveaux explorateurs de tous bords – artistes, urbanistes, entrepreneurs et citoyens lambdas – se rencontrent dans l'espace euclidien du cyberspace. Ils structurent peu à peu leur territoire en un kaléidoscope de terrains virtuels et de villes hypermédiés. Ces terres virtuelles que chacun peut parcourir, en incarnant un autre soi « avatar », sont libres d'usages. Elles cherchent à représenter les hyperliens du web par une seule navigation globalisée et spatialisée. Il s'agit d'un système d'exploitation basé sur une représentation graphique tridimensionnelle, dans laquelle les utilisateurs peuvent se représenter, se déplacer et interagir les uns avec les autres instantanément. La seule condition est de posséder un permis spécial<sup>(132)</sup> pour naviguer sur le premier web 3D, le métayer ActiveWorld<sup>(133)</sup>. L'utilisateur peut choisir son mode de déplacement parmi un panel de choix multiples, lui offrant différentes possibilités de mouvement : en marchant, en courant, en volant... Cette multiplicité

129 Trans-architecture, 1996.

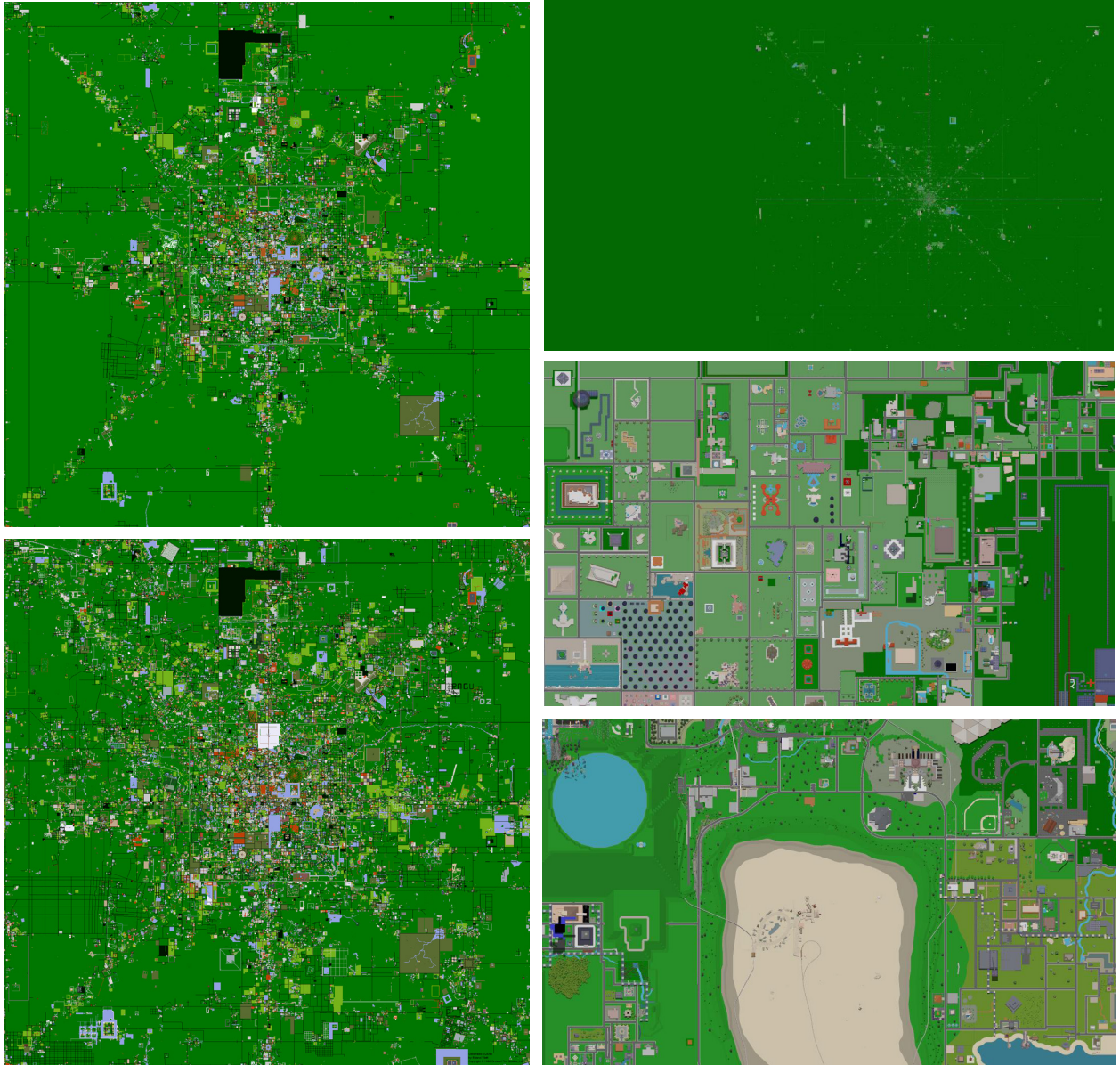
130 Guggenheim Virtual Museum, 1997, New York Stock Exchange Virtual Trading Floor, 1999.

131 Grégoire, P., Kligerman, B., Petetin, C., "Modus Endogen- Transarchitecture 02", The art of the accident. Nai Publisher 1998.

132 Blaxxun interactive Viewer, un visualiseur qui permet d'accéder à des communautés virtuelles en 3D.

133 Active Worlds est un univers virtuel en 3D en activité depuis le 28 juin 1995, c'est l'un des plus anciens métavers d'Internet. Il est développé par la société Activeworlds Inc. basée à Las Vegas aux USA.





**(fig. 56) Cartes d'AlphaWorld, 1996/2000**

*Vues en plan d'AlphaWorlds en pleine croissance du monde virtuel d'AlphaWorld réalisé par le cartographe Roland Vilett, le principal programmeur du système de monde virtuel d'Activeworlds.*

de points de vue permet à l'utilisateur d'élaborer sa propre expérimentation spatiale et sociale. Il est libre de se « montrer » pour entrer en discussion avec d'autres, grâce à une messagerie instantanée en 3D ou de se « cacher » pour observer une scène à distance sans être vu.

ActiveWorld est donc surtout un territoire de construction d'architecture virtuelle dont la première version élaborée en 1995, Alphaworld,<sup>(134)</sup> se présente au départ comme un immense terrain de jeu dans lequel la société peut s'essayer à changer les règles urbanistiques de la vie « réelle ». Alphaworld<sup>(135)</sup> (**fig.56**) est le premier environnement de modélisation urbaine participatif, basé sur l'autoplanification et sur l'implication collective des utilisateurs.

*« We all acknowledge the importance of carefully planning urban environments to make functional for the people living and working in them. Everything from the creation of a working infrastructure to considerations of sociocultural character has to be taken into account. When virtual worlds reach high enough levels of complexity, these issues become relevant for them as well » écrit Mikael Jakobsson à propos de l'Active World<sup>(136)</sup>.*

Dotés d'un logiciel de modélisation en 3D, vulgarisant les outils de conception architecturale, les utilisateurs peuvent construire leurs propres habitations en VRML<sup>(137)</sup>, un dérivé en 3D du langage HTML. Ils peuvent choisir un quartier précis, moyennant l'achat virtuel<sup>(138)</sup> d'un terrain constructible. Le mode de construction, similaire à la méthode LEGO, consiste à assembler des polygones de dimensions et de volumes variables, pour créer une maison avec ses meubles, son jardin ou encore un immeuble. Ici est architecte qui le souhaite, nul besoin d'un diplôme. En revanche, Alphaworld intègre dans sa programmation un système d'agencement automatique qui régule le développement équilibré du paysage collectif urbain. Chaque terrain acheté génère proportionnellement un espace public, des rues, des parcs, des forêts, en guise d'impôt foncier en quelque sorte. Cette règle paramétrique garantit l'équilibre entre l'espace collectif et l'espace privé, au fur et à mesure de son développement urbain. Elle s'appuie sur un outil didactique que tous les utilisateurs peuvent comprendre, grâce à une visualisation cartographique à échelle variable qui s'affiche en temps réel sur l'écran, parallèlement à la visualisation personnalisée. Martin Dodge, chercheur

134 <http://www.cybergeography-fr.org/index.php>; [https://mappa.mundi.net/maps/maps\\_013/](https://mappa.mundi.net/maps/maps_013/) consulté le 24/04/2017

135 Brent, R. (2004). Alphaworld : The urban design of a digital city. *Journal of Urban Design*, 9(3), 287309. <https://doi.org/10.1080/1357480042000283850>

136 Jakobsson, M. (2007). Activity flow architecture, Environment in Active Worlds and Everquest. Dans *Space Time Play : Computer Games, Architecture and Urbanism : The Next Level* (1re éd., p. 194167). Birkhäuser Architecture.

137 Vrmml (Le Virtual Reality Modeling Language) est un format de modélisation d'univers virtuels en 3D. Les fichiers VRML ont pour extension wrl comme pour le langage multimédia HTML. Le VRML (1994) est un langage de présentation permettant d'afficher les éléments (polygones 3D, lumières, textures, hyperliens, animations...) Le but premier de ce langage est de permettre la représentation d'univers interactifs 3D virtuels.

138 Monnaie virtuelle.

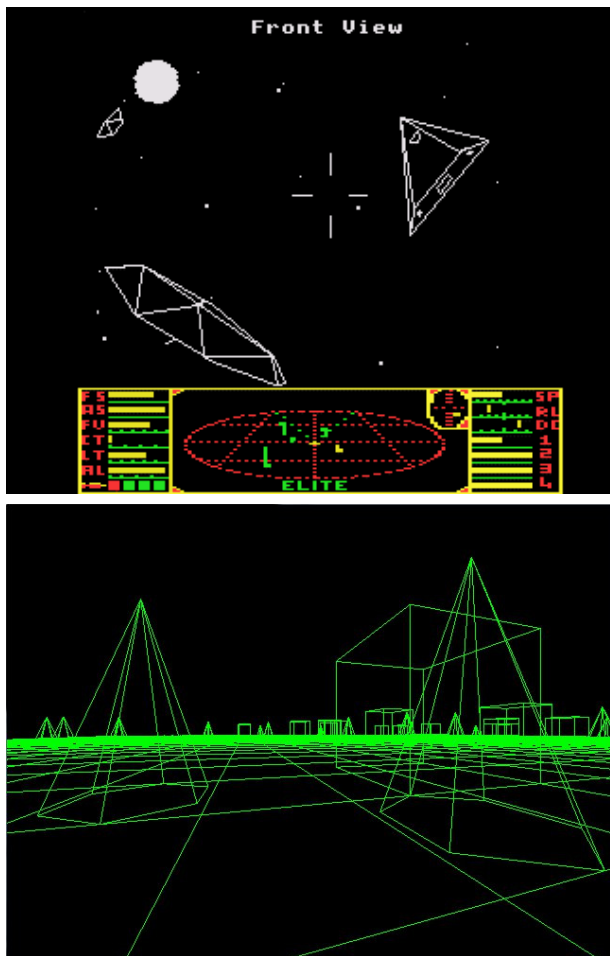
au Centre for Advanced Spatial Analysis ( Casa, University College London) et créateur de *l'Atlas des Cyberspaces* écrit :

*AlphaWorld comprises a massive virtual space, exactly 429,038 square kilometers, an area four percent larger than California. It opened to the general public on the Internet in June 1995, beginning sustained colonization with many thousands of people leading a virtual land-rush to claim the terra nullius of AlphaWorld. The virtual space came into existence as a flat, featureless plain stretching for hundreds of virtual kilometers in every direction, colored a lush shade of green to denote that it was virgin territory waiting to be claimed by bold homesteaders. There were no 'natural' features, no mountains or rivers, just a perfect green plain sheltering under a unceasing bright blue sky. Everything that now exists in AlphaWorld - 48.9 million objects as of February 2000 - has been placed there by the homesteaders, using simple block-building tools. Of course, the virtual geography of AlphaWorld, with all its buildings and trees, is a illusion of 3d computer graphics conjured from a big database running on some anonymous Internet server machine. Nevertheless it is a convincing illusion that can be shared over the Net.*<sup>(139)</sup>

Le processus de développement urbain d'Alphaworld est concentrique, empruntant ce principe aux traditionnels modes de développement des villes. Le centre d'Alphaworld, un « portail » par lequel tous les utilisateurs arrivent, n'est pas constructible : c'est ici que se concentrent les activités collectives les plus attractives (débat, forum ...). Autour du centre, les terrains constructibles sont très convoités, donc rapidement saturés. Comme l'activité principale d'Alphaworld est la construction d'édifices, les utilisateurs déplacent peu à peu leurs projets vers la périphérie, qui offre plus d'opportunité en termes d'espace, de stratégies de construction, et en termes de choix d'affiliations communautaires. En effet, des quartiers de communautés se forment spontanément et affichent leurs spécificités identitaires. Quatre années après son lancement, le modèle urbain et social Alphaworld ressemble au développement de nombreuses villes réelles, avec un centre dédié au divertissement qui se vide peu à peu, de beaux quartiers périphériques régulés par des communautés plus habiles que d'autres, des quartiers « ratés », en déshérence, des architectures à l'abandon, dans un paysage global qui arrive à saturation, et qui préfigure sa fin. Un débat s'instaure dès lors sur la régulation urbaine d'Alphaworld. Peut-on détruire certains bâtiments et selon quels critères ? La discussion s'ouvre à l'ensemble de la communauté. Certains prétendront que tous les bâtiments sont précieux et doivent être conservés afin de préserver l'histoire d'Alphaworld<sup>(140)</sup>, d'autres diront que les immeubles virtuels détériorés par manque d'entretien doivent disparaître. Malgré le débat qui s'installe, la persistance du matériau de construction numérique révèle ses limites, quand l'urbanisation virtuelle dysfonctionne et se dérégule. Après six années de vie, Alphaworld s'est désagrégé spontanément, effaçant définitivement presque toutes les traces de sa courte existence, comme dans un jeu. Comme le rappelle Jacques Henriot : « *Le propre du jeu est*

139 Dodge, M., [https://mappa.mundi.net/maps/maps\\_013/](https://mappa.mundi.net/maps/maps_013/) le 24/04/2017

140 Cumin, D. (2012). Exposition Playtime — Vidéogame mythologies. Maison d'Ailleurs, Yverdon.

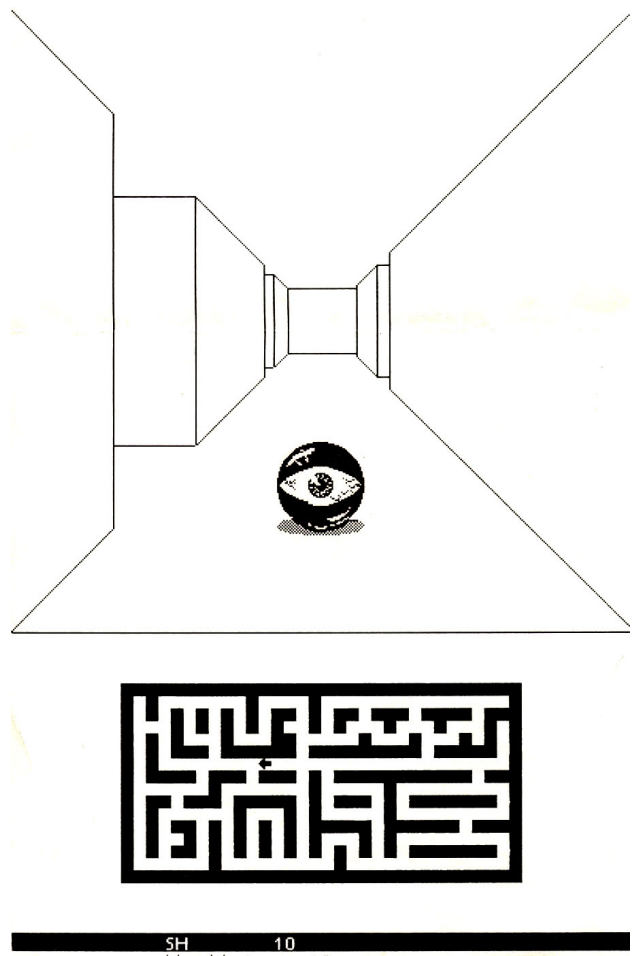


**(fig. 57a) Elite, Acornsoft, 1964**

Jeu vidéo de conquête de l'espace, écrit et développé par David Braben et Ian Bell à l'origine par Acornsoft. La règle stratégique est basée sur la régulation du commerce illégal, et sur le combat spatial. Elite est considéré par certains comme l'un des jeux les plus innovants de l'histoire du jeu vidéo.

**(fig. 57 b) Batelzone, 1980**

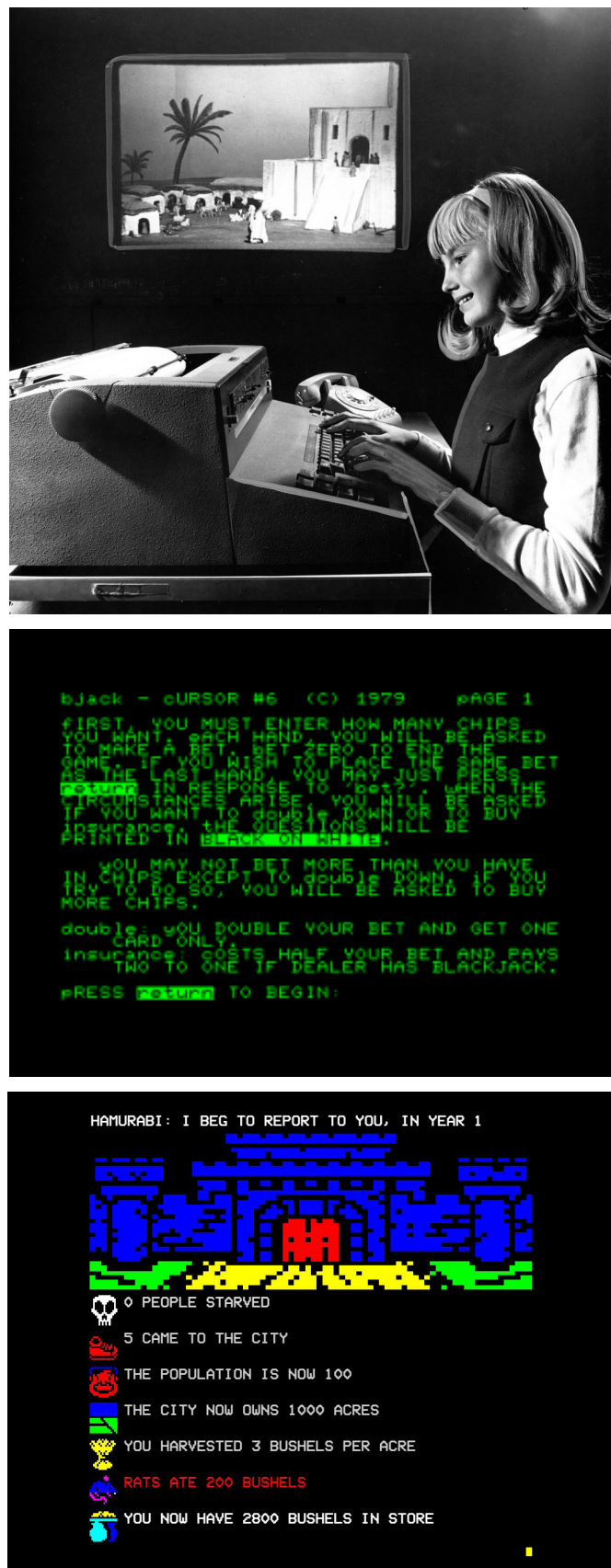
Créé par Ed Rotberg et Ed Rotberg pour Atari, le jeu Battelzone est un simulateur de combat automobile qui utilise des graphiques vectoriels pour produire des images filaires 3D de chars ennemis, ovnis, et terrain; l'interface visuelle, divisée en deux fenêtres, inclut une vision simultanée en perspective et en plan.



**(fig. 57c) MazeWar, 1974**

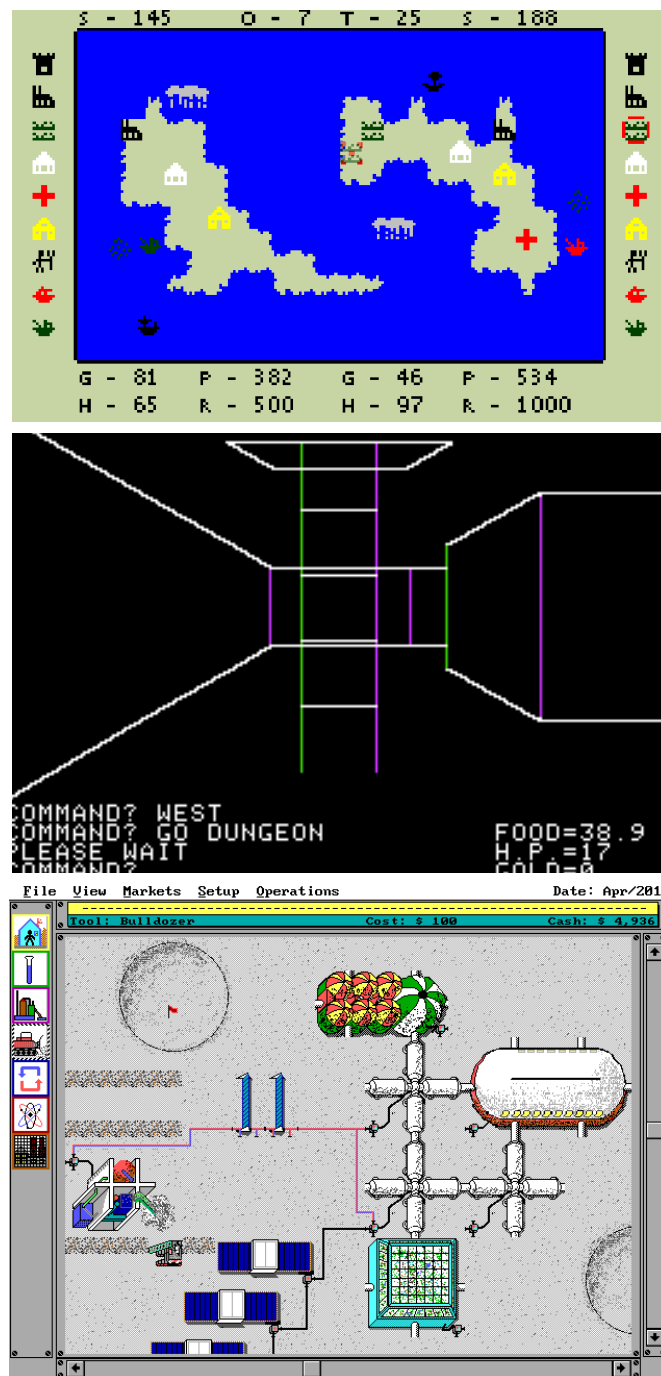
Maze War, est un jeu de tir en 3D créé par Steve Colley, Greg Thompson et Howard Palmer. Développé au départ sur le réseau universitaire ARPANET, le Maze War a été le premier jeu vidéo graphique à être mis en réseau et à permettre à plusieurs joueurs, en particulier des étudiants, d'interagir et de se battre entre eux, en particulier.





(fig. 58) Hamurabi, 1968

Hamurabi est la version suivante du Sumer Game, programmée par Doug Dyment en 1968 à la Digital Equipment Corporation. Le jeu se déroule en dix parties dans lesquelles le joueur incarne l'ancien roi de Babylone Hammurabi et doit notamment gérer la quantité de graines à attribuer aux cultures, la nourriture de la population et l'achat de nouvelles terres tout en faisant face à des rendements aléatoires dus aux conditions naturelles (fléaux, catastrophes naturelles...).



**(fig. 59a) : Utopia, 1981**

**Don Daglow**

*Utopia est un jeu vidéo de stratégie considéré comme parmi les premiers jeux de construction urbaine. Utopia est un jeu à deux joueurs dans lequel chaque joueur contrôle une des deux îles, sa régulation démographique et économique, et doit, en outre gérer les risques de rébellion de sa population.*

**(fig. 59 b) Akalabeth, 1979**

**Richard Garriott**

*Akalabeth est considéré comme un des premiers exemples de jeu vidéo de rôle inspiré du jeu de rôle Donjons et Dragons et des œuvres de J. R. R. Tolkien. Le jeu se déroule dans un souterrain représenté en perspective filaire, vue complétée par une carte sommaire qui offre une vue en plan.*

**(fig. 59c) MoonBase, 1990**

*Moonbase is a 1990 city-building game set on the Moon. Developed by Wesson International, it was published for Amiga and MS-DOS. An updated version, called Lunar Command, was published in 1993 by Mallard Software.*

*de s'élaborer, de se poursuivre, d'aller jusqu'à son point d'achèvement dans un climat de constante incertitude.* »<sup>(141)</sup> D'ailleurs, cet univers de conception, que les architectes apprécient particulièrement, appartient à l'écosystème des jeux de simulation vidéo ludiques en mode MMOGS<sup>(142)</sup>. Ces derniers se déploient dès les années 2000 sur la toile planétaire, comme Everquest, World of WarCraft, GTA, ultima on line... Ils utilisent les mêmes standards graphiques qu'ActiveWorld. Cette rencontre entre l'informatique, le jeu virtuel et l'architecture démontre bien que les trois domaines s'influencent mutuellement, qu'ils partagent une culture et un vocabulaire communs, au niveau spatial et social.

### *1.8 Convergence entre l'architecture et les jeux vidéo dans l'informatique*

En favorisant la productivité dans la sphère économique, le progrès informatique rend possible la réduction de la durée moyenne du travail, développant ainsi l'émergence du temps du loisir<sup>(143)</sup>. Le contexte fournit un terrain propice au déploiement des industries vidéo ludiques. D'une certaine manière, le développement du jeu vidéo est à mettre en parallèle avec l'extension des outils de conceptions en architecture. Les technologies vidéoludiques et celles de la CAO en architecture progressent simultanément en tirant profit des mêmes innovations technologiques.

La convergence entre les domaines du jeu et de l'architecture se produit dès l'arrivée de l'informatique dans les laboratoires scientifiques et technologiques qui expérimentent les premières interfaces utilisateurs<sup>(144)</sup>. Pour tester les premiers programmes graphiques, les étudiants et les chercheurs en informatique adaptent, sur les nouveaux supports, les traditionnels jeux de plateau qui font appel à des logiques d'interactions spatiales<sup>(145)</sup> (*fig. 57,58,59*). Il s'agit pour eux de reproduire le plan en deux dimensions du plateau de jeu sur l'écran, représentant un lieu ou un territoire délimité spatialement et géographiquement. Cette représentation infographique de l'espace doit circonscrire un contexte dans lequel le joueur peut se repérer pour pouvoir s'orienter et maîtriser son déplacement et ses décisions stratégiques<sup>(146)</sup>. Autrement dit, la représentation planaire contribue à accompagner le raisonnement des utilisateurs/joueurs. Elle faci-

141 Henriot, J. (1989). *Sous couleur de jouer*. 236.

142 Massively Multiplayer Online Games.

143 Rivkin, J. (1997). *La fin du travail*. La Découverte.

144 Turner, F. (2012a). *Aux sources de l'utopie numérique : De la contre-culture à la cyberculture*. C&F Editions. 217-218.

145 Des jeux de simulation, jeux de stratégie, jeux de guerre...

146 C'est notamment le cas dans les jeux de stratégie territoriale, les jeux de guerre, les jeux de conquêtes... Voir à ce sujet, *Cartographie et processus d'intelligence économique, L'analogie du plateau de jeu comme aide à la décision stratégique*, Stéphane Goia. Les cahiers du numérique 2009/4 Vol.5, pp.111 à 137.

lite l'apprentissage et l'appropriation des règles du jeu. Ces recherches préliminaires serviront autant à préparer les premiers jeux vidéo<sup>(147)</sup>, que les logiciels de dessin assisté par l'ordinateur. Les deux domaines s'enrichissent mutuellement lorsqu'il est question des modalités de représentation de l'espace sur l'écran de l'ordinateur, c'est-à-dire d'une topologie et d'un vocabulaire propres à l'espace numérique et communs aux deux disciplines. Les cadrages, les perspectives, les vues en plan, les vues panoramiques perspectives, les changements d'échelles (agrandissement, zoom...) y sont similaires. Citons dans ce domaine de recherche, les travaux de Fabien Duchène qui a effectué sa thèse au sein du LéaV sur les rapprochements entre architecture et jeux vidéo. Il y explore notamment les analogies entre les systèmes de représentation architecturaux et ceux qui sont utilisés dans le jeu vidéo. Il montre notamment comment la conception des jeux vidéo s'est progressivement enrichie en utilisant des représentations de l'espace de plus en plus complexes : du simple plan orthogonal pour les premiers jeux, à l'image tridimensionnelle animée pour les plus récents. <sup>(148)</sup>

## 1.9 Représentation de l'espace et mécanisme ludique

La représentation de l'espace est au cœur du mécanisme ludique des jeux vidéo. La première évolution technologique du jeu vidéo ludique concerne en priorité le traitement du « décor » du jeu qui constitue le cadre de l'action. L'image de fond doit donc représenter le paysage narratif dans lequel le jeu se déroule. Ce paysage définit l'aire potentielle exploratoire du jeu, ainsi que les modalités de sa visualisation et de sa navigation. Il permet au joueur de comprendre les limites du terrain dans lequel l'action ludique se déroule.

Dans les premiers jeux vidéo, le rendu visuel est entièrement conditionné par le dispositif matériel : le terrain de jeu y est limité à la taille de l'écran. Cela induit une homologie directe entre le traditionnel plateau de jeu de table et le plateau « écran ». Par conséquent, une limite de l'action ludique dans l'espace et dans le temps est rendue possible. En effet, comme dans un jeu de plateau traditionnel, la durée d'une partie est conditionnée par la surface jouable sur l'écran. Pour dépasser cette contrainte limitative, l'enjeu des premières générations de jeux informatiques concerne principalement l'augmentation de la représentation au-delà du cadre de l'écran. Il n'y a pas réellement d'invention de nouveaux contenus narratifs, car les recherches se focalisent presque

147 SpaceWar (1962), MazeWar (1974), Night Driver (1976), Adventure (1979), Battelzone (1980), Zaxxon (1982) entre autres.

148 Duchène, F. (2020), « L'architecture dans la machine : le jeu vidéo, d'une représentation architecturale à une représentation architecturée ». Thèse réalisée sous la direction de Nadia Hoyet, soutenue en mars 2020.



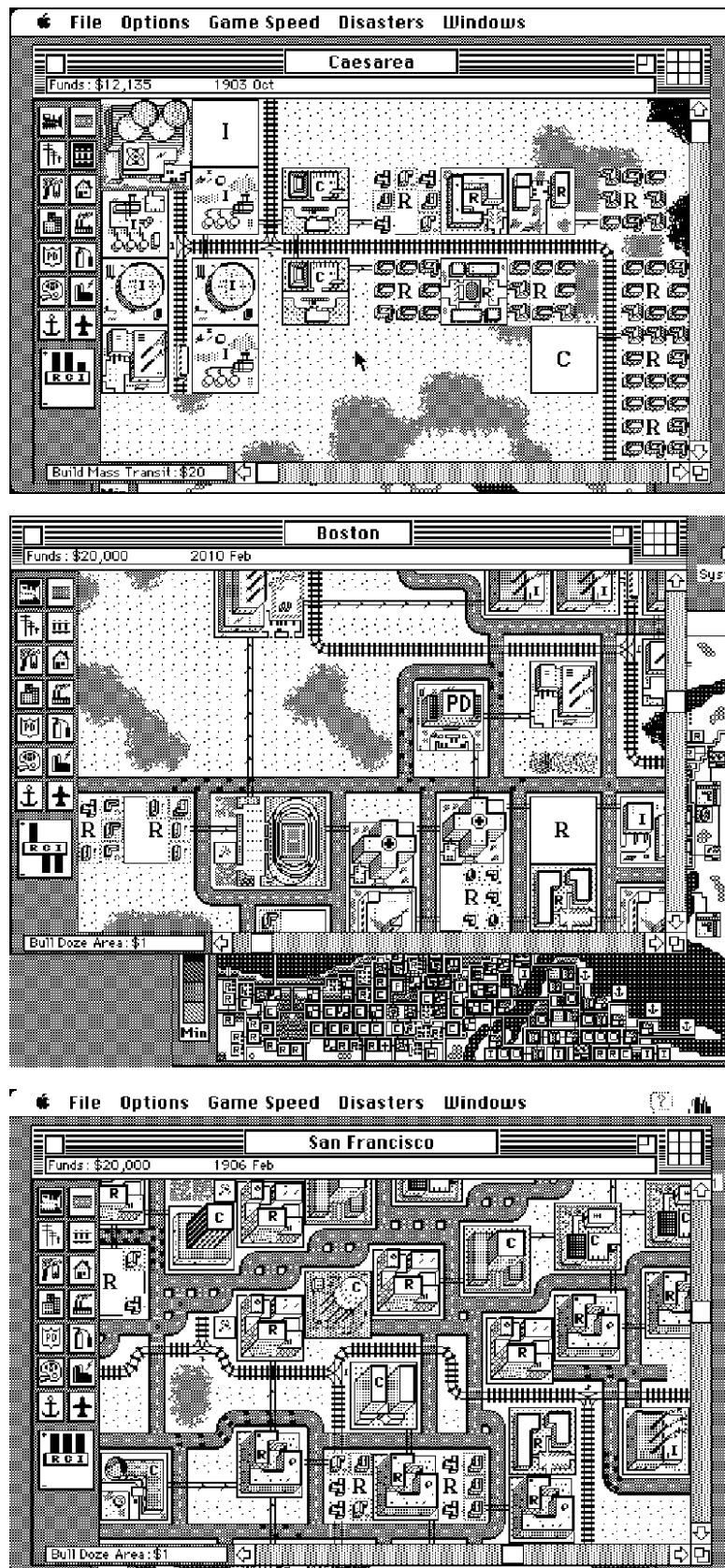
exclusivement sur l'échelle planaire du jeu, influençant sa durabilité<sup>(149)</sup>. Plus l'espace du jeu est vaste, plus le jeu s'étend dans la durée. Autrement dit, les paramètres « taille de l'espace » et « durabilité du jeu » améliorent l'attractivité ludique et in fine, le contenu narratif. Cette contrainte espace-temps est évidemment conditionnée par la performance de l'ordinateur. Ainsi, l'évolution progressive du calcul computationnel graphique et du matériel informatique permet l'extension du terrain de jeu. Peu à peu, ce dernier peut s'étendre de manière illimitée séquence après séquence ; il apparaît par portion sur l'écran, au gré des mouvements du joueur, comme une carte routière en papier que l'on déplie progressivement pour atteindre un objectif.

L'extension du terrain de jeu a pour corolaire l'évolution des modes de déplacement dans l'espace du jeu. Le mouvement du joueur dépend donc de la nature du terrain. Lorsque le calcul computationnel est en capacité de gérer des paysages graphiques en 3D de plus en plus complexes visuellement et contextuellement, l'expérience de la navigation devient plus riche, et les modalités d'appréhension et de déplacement du terrain sont aussi plus élaborées.

L'interface graphique est alors un élément central, puisqu'elle canalise le regard sur le terrain afin de faciliter sa perception. En même temps, elle invite à un mode opératoire adapté : elle doit permettre à l'utilisateur d'avoir en même temps une visibilité stratégique du terrain, et une possibilité d'action précise et efficace. Pour répondre à cette double contrainte visuelle et opératoire, l'interface graphique propose différents points de vue simultanés, présentés sur un seul écran divisé en « fenêtres » que le joueur peut choisir stratégiquement au fil de l'action. Vues en plan globales sur lequel sont visibles les autres joueurs, vues en perspective personnalisée qui permettent au joueur de se projeter dans l'espace au plus près des détails, zoom, agrandissement... sont autant de possibles. Ces modalités d'affichage flexibles et interchangeables sont presque identiques à celles que proposent les interfaces de conception architecturale, notamment dans les premiers logiciels de CAO.

---

149 Mauco, O. (2013). *GTA IV, L'écran comme terrain opérationnel du jeu, L'envers du rêve américain* (Jeux vidéo et critique sociale éd.). Questions Théoriques. 11-12.



(fig. 60) SimCity, 1989

**Will Wright, concepteur du jeu, éd. Maxis**

SimCity est une série de jeux vidéo de simulation urbaine paramétrique initiée par Will Wright en 1989. Le but du jeu est de créer sa ville, et de gérer sa croissance exponentielle. Le joueur prend le rôle d'un maire à la tête d'un budget qui doit lui permettre d'aménager un terrain vide en agglomérations de taille illimitée. SimCity est révolutionnaire à l'époque. C'est en effet le premier jeu vidéo « sans fin ».



(fig. 61) SimCity, 2002  
Will Wright, concepteur du jeu, éd. Maxis



## 1.10 SimCity et Christopher Alexander

Il n'est pas étonnant que cette proximité visuelle influe sur le contenu narratif de certains jeux vidéo qui choisissent la planification urbaine comme cadre ludique. C'est par exemple le cas du célèbre jeu de construction SimCity<sup>(150)</sup>, mis sur le marché au début des années 1990 (**fig. 60,61**).

Le créateur du jeu, l'ingénieur Will Wright, prétend que son intérêt pour l'architecture et pour le développement urbain l'a conduit à imaginer la conception de son premier jeu. En outre, il défend l'idée que SimCity a été programmé à partir des « patterns » de Christopher Alexander<sup>(151)</sup>. Les motifs picturaux d'Alexander, lui ont permis d'élaborer la structure formelle et générative du jeu, qu'il a su complexifier grâce aux théories de la planification urbaine de Jay Forester<sup>(152)</sup>. À ce propos, dans un entretien pour le magazine Icon<sup>(153)</sup>, Will Wright précise :

*Chris Alexander I find particularly interesting because he was writing about architecture, but not in terms of form.../...Christopher Alexander approached the whole thing much more like an anthropologist and he would go and study culture and understand what people spend their time doing, and in what sized groups, and what they need around them to facilitate that activity, and then design from the ground up from there.../... In SimCity, in a similar way but on a larger scale, you were designing this layout to facilitate certain forms of human interaction, so really design is serving human interaction at the end of the day. That's the point of pure design. And I really wanted to put the player, in both games, in that role of designer, where you design something, and then the simulation takes over and shows you the fitness of that design.*

L'anthropologue américaine Jenny Quillien, ex-collaboratrice de Christopher Alexander, va jusqu'à affirmer que la méthode APL a bien plus influencé les informaticiens et les concepteurs de jeu vidéo, que les professionnelles de l'aménagement urbain. Dans son ouvrage « Saisir l'insaisissable : des patterns aux séquences », elle revient sur l'utilisation qui fut faite du « langage » élaboré par C. Alexander avec ses patterns<sup>(154)</sup> :

*Bien que A Pattern Language soit utilisé par les amateurs et bricoleurs de tout genre pour retaper leurs maisons, cet ouvrage n'a guère inspiré de construction de grande échelle et issue de la base [...] Pour sortir de cet échec et même en tirer parti, une autre proposition pragmatique pourrait revenir*

150 Jeu de stratégie et simulation urbaines dont le but est de créer sa propre ville. Le joueur prend le rôle du maire, à la tête d'un budget qui doit lui permettre d'aménager un terrain vide dans une agglomération de n'importe quel taille (gestion des dépenses municipale, construction des routes, des zones résidentielles et commerciales, des équipements publics, des bureaux, infrastructure touristique, distribution de l'eau, de l'électricité, gestions des déchets..., gestion des crises (catastrophes naturelles, crises sociales).

151 Lolbo, D. G. (2007). Playing with urban life : How SimCity Influences Planning Culture. Dans *Space Time Play, Computer Games, Architecture, and Urbanism: The next level*. Birkhäuser Architecture. 207.

152 Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics* (1st éd.). MIT Press.

153 Wiles, W. (2008, 14 mai). *Will Wright interview*. ICON Magazine. <https://www.iconeye.com/icon-056-february-2008/will-wright-interview-3>

154 Quillien, J. (2007). Saisir l'insaisissable : Des « patterns » aux « séquences » dans l'œuvre de Christopher Alexander. *Environmental Architectural Phenomenology*, 18(1), 926. <http://archive.mcxapc.org/docs/conseilscient/0701quillien.pdf>



*d'une source surprenante. Des lecteurs inattendus d'APL, dans les années 80 et 90, furent des informaticiens qui virent dans le langage de patterns la possibilité d'une approche à un métaniveau de leurs problèmes de génie logiciel. Selon moi, cette communauté informatique est en passe de nous renvoyer l'ascenseur.*

Elle salue la reconnaissance de Will Wright qui su mettre en œuvre dans Sim City notamment l'intérêt des séquences pour renouveler la découverte au sein de la pratique du jeu :

*Will Wright, auteur de jeux informatiques tels que Sim City, reconnaît très volontiers sa dette envers APL. Le génie de Wright, ainsi que les recherches d'autres informaticiens tels que Raph Koster, nous apprennent pourquoi les jeux « accrochent » les gens, pourquoi APL a plu à quantité de gens, pourquoi les séquences préliminaires ont déplu et comment construire des expériences avec des séquences qui pourraient séduire un large public. La clé de l'addiction aux jeux se trouve dans l'expérience de la découverte, au travers de niveaux emboîtés de révélations partielles. Les logiciels de jeux favorisent une démarche abductive qui permet aux joueurs d'avoir une appréhension croissante de leur ordre sous-jacent. Jouer « contient » sa propre récompense, dès lors que le joueur ne cesse de produire de nouvelles perceptions pour surmonter les obstacles, gagner en cohérence et marquer plus de points. La validation est contenue dans la progression des scores et l'exemple plus ancien des mots croisés nous montre combien l'appréhension d'une unité croissante peut maintenir notre attention et soutenir nos efforts. <sup>(155)</sup>*

De nombreux jeux informatiques puisent leurs inspirations spatiales dans l'architecture et l'urbanisme, en adoptant leurs langages. Les jeux informatiques s'explorent les caractéristiques et les qualités spatiales des modes de représentation de l'architecture pour déterminer la jouabilité et l'esthétique ludique qui induisent un rapprochement entre les pratiques de conception dans la discipline de l'architecture et dans celles des médias vidéo ludiques.

CHAPITRE 2 :

## Recherches dans le monde de l'éducation : De l'importance des objets tangibles.

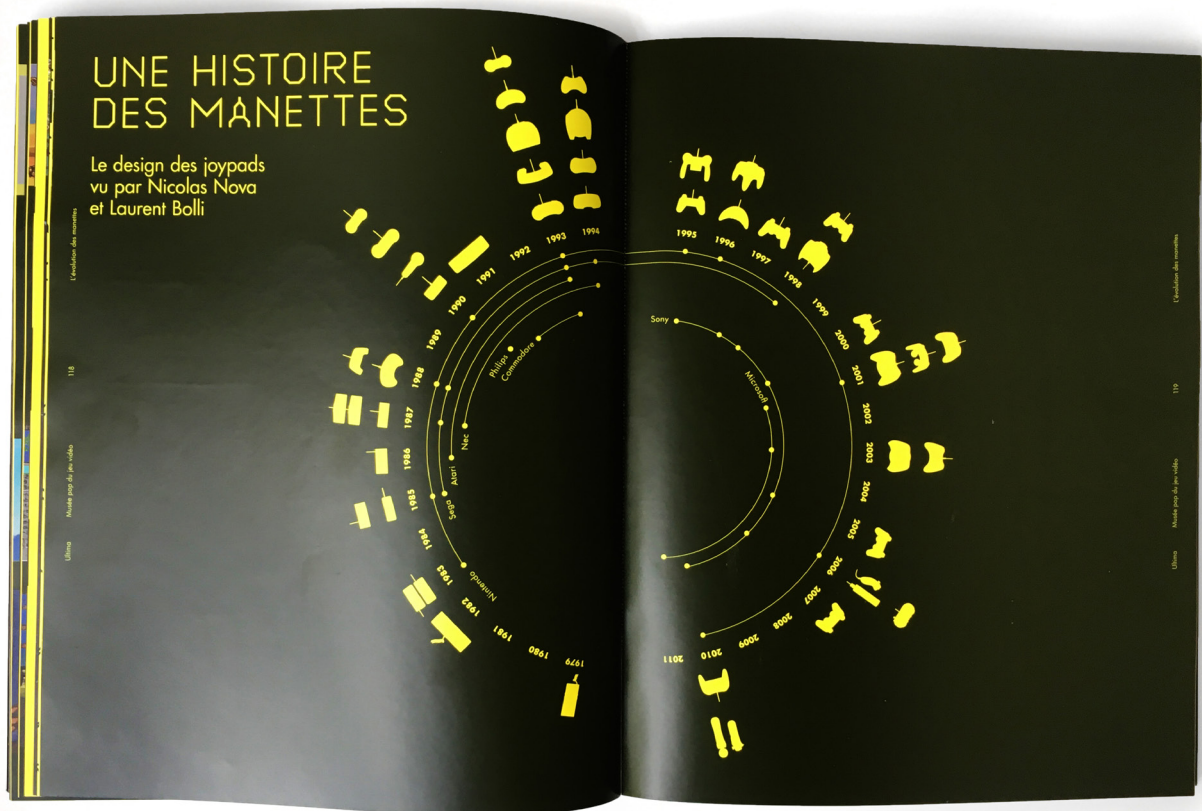
La sophistication des univers graphiques des jeux vidéo creuse l'écart entre la richesse du monde virtuel et l'environnement physique et kinesthésique du joueur. Ce chapitre s'intéresse aux effets de cette réalité et les placent en regard des recherches sur d'autres formes de jeux où l'interface tangible avec la machine informatique participe d'une stratégie où la globalité de l'individu, physique autant que mentale et émotionnelle est prise en compte, à des fins éducatives notamment.

### *2.1 Le paradoxe de l'immatérialité : les interfaces tangibles (TUI) contre le monde virtuel des jeux*

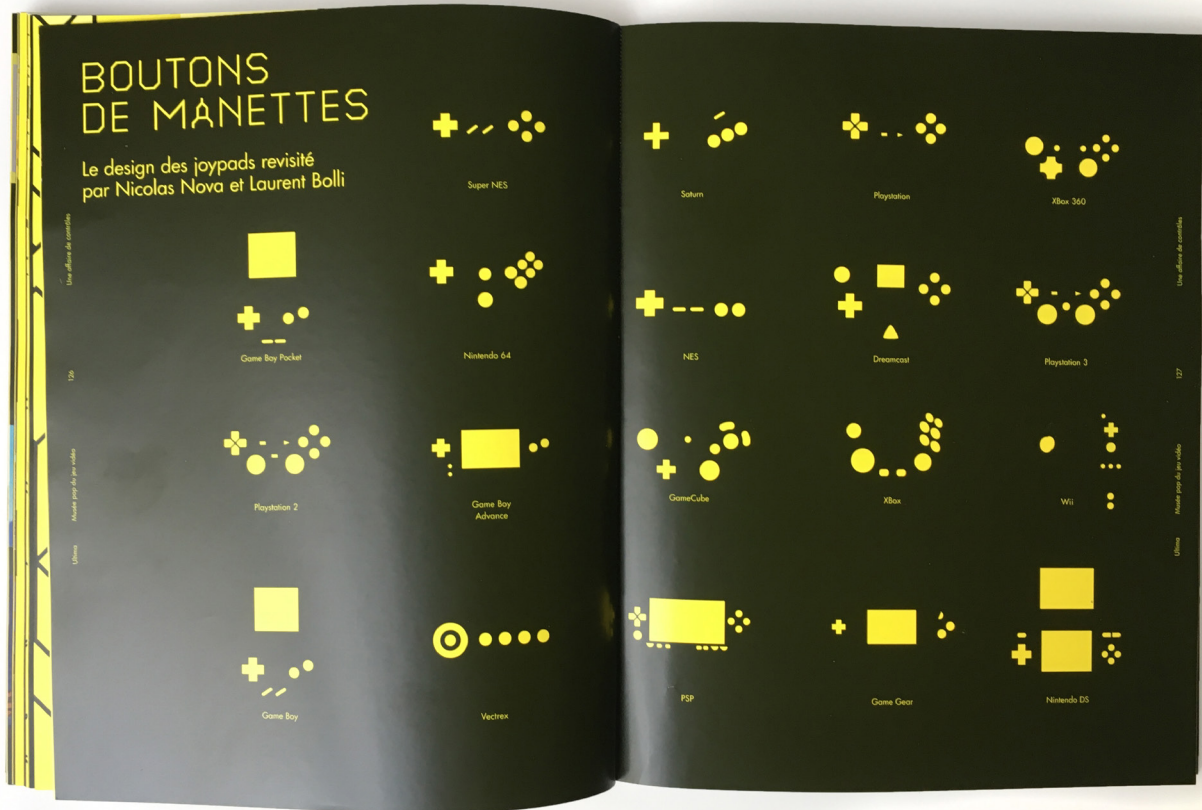
Dans le champ des jeux vidéo, les spécialistes utilisent les termes de « virtuel » ou « d'immatériel » pour parler des modalités d'expérimentations ludiques. Ils font ainsi oublier le contexte de ces pratiques et les contraintes kinesthésiques du dispositif matériel (écran, ordinateur). En effet, la dimension exploratoire du jeu ne se limite évidemment pas à l'aspect visuel du rendu graphique.

Parallèlement, la révolution des médias numériques inaugure un grand chantier dans le domaine de l'éducation, qui associe les sciences de l'éducation et la recherche en informatique. L'enjeu des nouveaux programmes pédagogiques vise à introduire la micro-informatique à l'école, afin d'amener le plus grand nombre de jeunes à maîtriser les nouveaux outils contemporains. Dans ce contexte, les jeux vidéo sont perçus comme une opportunité pour l'initiation à la prise en main de l'ordinateur. Mais si l'enfant doit passer par la pratique du jeu vidéo pour s'approprier l'outil informatique, il ne faut pas que celui-ci soit un frein au développement de ses facultés cognitives, kinesthésiques et sociales.

(a)



(b)



(fig. 62) Une histoire des manettes (a), Boutons de manettes (b).  
 Le design des Joy pads vu par Nicolas Nova et Laurent Bolli  
 Jeux vidéo, Étapes : n° 231, p. 118, 119, 126, 127. (juin 2016).

## 2.2 La prise en main tangible du jeu

L'appréhension de l'espace du jeu vidéo est conditionnée par les dispositifs de contrôle tactile du jeu que sont les manettes de jeu ou les joysticks. Comme le souligne Olivier Mauco : « *Partir du support matériel pour définir le terrain de jeu permet d'insister sur l'articulation entre la dimension technique et la mécanique du jeu : rendre visible le terrain est aussi lié aux modalités d'appréhension de ce terrain* »<sup>(156)</sup>. Autrement dit la « prise en main » de la machine par l'utilisateur est un autre pan de la culture vidéo ludique, reliée à l'enjeu des interfaces tangibles.

Avec l'arrivée du jeu vidéo, le geste manuel du joueur traditionnel qui consistait à déplacer un pion sur un plateau en comptant le nombre de cases que celui-ci peut parcourir, a fait place aux quatre flèches (droite, gauche, avant, arrière) du clavier de l'ordinateur. Dorénavant, ces déplacements permettent à l'utilisateur d'avancer pas à pas dans l'aire de jeu représenté sur l'écran. Depuis les années 90, on voit apparaître sur le marché vidéo ludique, un certain nombre de contrôleurs de jeux comme les manettes électroniques à « deux mains » qui remplacent les touches du clavier ou les joysticks motorisés à « retour de force » qui permettent aux joueurs de sentir les effets d'une chute ou d'un impact grâce aux vibrations déclenchées simultanément par le contrôleur que le joueur tient dans ses mains (**fig. 62**). Assez restreintes d'un point de vue sensoriel, ces contrôleurs haptiques ne sont pas en mesure de suivre l'évolution fulgurante des interfaces graphiques qui, par contre, permettent d'augmenter très vite les dimensions narratives et multimédias des univers vidéoludiques<sup>(157)</sup> créés avec les effets visuels et sonores.

Dans le jeu de plateau traditionnel, à l'inverse, si la dimension narrative est plus restreinte en raison de la limite du cadre du jeu, celui-ci se déroule dans l'espace qui a un autre rôle fondamental dans la dynamique ludique. Un tel jeu, posé sur une table, elle-même située dans une pièce, s'inscrit par exemple dans un contexte spatial réel, dans lequel coexistent différents dispositifs. Il met en tension kinesthésique les joueurs qui s'impliquent collectivement ou individuellement avec leur corps, leurs mouvements, leurs gestes, et avec des objets tactiles, ajoutant une complexité tangible dans le déroulement de l'action ludique. De plus la dimension matérielle du jeu, comme la texture et l'esthétique des matériaux, sont des éléments importants

156 Mauco, O. (2013). *GTA IV, L'envers du rêve américain ; Jeux vidéo et critique sociale*. Questions Théoriques. Collection Lecture Play.15.

157 *La véritable révolution des contrôleurs de jeu arrive avec les manettes sans fil. Elles permettent une mise à distance du joueur par rapport à l'écran, et la prise en compte du corps dans l'interaction avec le jeu : WaveBird, Wii, Kinect... à partir de 2006.*



de l'expérience sensible et imaginative du joueur : ils contribuent à son engagement dans la mécanique du jeu<sup>(158)</sup>.

La transposition des supports de jeux physiques sur supports numériques montre bien qu'ils ne mobilisent pas les mêmes fonctions sensorielles et kinesthésiques. Cette transition est donc confrontée à un paradoxe difficile à dépasser. Il y a bien un transfert des structures de jeux tactiles et physiques vers le numérique et le virtuel, et l'invention de nouveaux dispositifs d'interactions médiatiques et de nouveaux contenus ludiques. Cependant, l'inverse, c'est-à-dire l'expérience vidéo ludique dans l'espace matériel de la réalité tangible, reste un chantier incertain<sup>(159)</sup> qui ouvre en revanche de nouvelles perspectives de réflexion sur les interfaces hybrides transmédias.

### *2.3 Réaction au diktat du jeu vidéo et informatique éducative.*

Si les jeux vidéo deviennent très vite l'une des activités les plus significatives du mode de vie des jeunes générations, ils suscitent des interrogations légitimes quant aux dangers de ces nouvelles pratiques ludiques. Dans les milieux de l'éducation, les scientifiques et les pédagogues y voient une sous-culture inquiétante faisant l'apologie de valeurs souvent immorales, comme celles de l'accumulation des ressources, ou celles qui prônent des valeurs guerrières et sexistes ou encore celles qui cultivent le culte de la loi du plus fort et de la réussite individuelle. On y dénonce aussi les dangers d'addictions multiples qui menacent les jeunes joueurs excessifs risquant de les faire décrocher de la réalité et de les rendre impotents, privés de lien social, et en marge de la société.

À l'arrivée des technologies de l'information et de la communication (Internet, jeux vidéo, communication transmédia), on dissocie nos modes d'existence en deux mondes distincts, certes continus, mais différenciés et distanciés<sup>(160)</sup> : celui d'Internet, du réseau, dans lequel on vit notre existence sociale virtuelle d'une part et le réel d'autre part, toujours associé aux contingences matérielles. L'expérience de l'immatérialité dans le quotidien de l'homme fait naître autant d'espoirs de conquêtes de nouvelles capacités humaines sur les plans cognitifs et sociaux, que d'effrois quant à de possibles apparitions de « troubles schizophréniques ». Comme si, finalement, notre existence était coupée en deux réalités opposées et discontinues. En 1996, Philippe

158 Zimmerman, E. (2015b). Le rôle des matériaux pour un concepteur de jeux. *Tracés*, 28, 199214. <https://doi.org/10.4000/traces.6241>

159 Vétel, B., & Turquier, B. (2015). Le jeu au prisme de la matérialité. *Tracés*, 28, 721. <https://doi.org/10.4000/traces.6153>

160 QuéAu, P. (1993). *Le virtuel : Vertus et vertiges (Collection Milieux)*. Institut national de l'audiovisuel.

Quéau écrit à propos des environnements numériques qui accompagnent désormais notre quotidien :

*Le virtuel sera probablement à l'origine d'une nouvelle manière d'oublier la parole, d'oublier l'être, d'oublier le réel. Mais nous pensons aussi que, par l'effet dialectique, à force de s'entourer d'illusions, nous serons amenés à réaliser de manière criante le statut pathogène de notre immersion virtuelle, nous serons amenés à nous remémorer notre condition oubliée. Nous serons conduits à devenir un peu plus des épistémologues de notre propre vie. [...] Le virtuel sert aussi bien à représenter et à simuler la réalité qu'à donner chair et consistance aux imaginations les plus libérées. Il sert de pont entre les divers régimes de réalité qu'il induit, qu'il confronte, qu'il hybride [...] Ceci entraîne un risque croissant de confusion, et aussi un risque d'aliénation pour ceux qui ne sauraient maîtriser les articulations entre la réalité et ses diverses représentations virtuelles.*<sup>(161)</sup>

Les interrogations concernant l'impact des nouvelles technologies vidéoludiques sur le développement sociocognitif,<sup>(162)</sup> ont conduit nombre de spécialistes à douter de l'ordinateur et du jeu vidéo comme ressources éducatives adaptées à enfance et à l'adolescence. Bailey & Weippert soulignaient déjà en 1991 que les jeunes apprennent mieux en mobilisant tous leurs sens, c'est-à-dire en manipulant et en transformant activement de vrais matériaux, ce que l'usage de l'ordinateur ne permet pas. Ils considèrent même que l'ordinateur n'est pas une ressource éducative appropriée pour la petite enfance :

*However, within the field of early childhood, the issue of integrating computers into the curriculum has been debated for the past 20 years. Concerns about young children's physical and cognitive readiness to use computers and the impact of computer use upon their social and educational development has led to a reluctance on the part of many teachers and school administrators to view computers as an appropriate early childhood educational resource.*<sup>(163)</sup>

Ce climat d'inquiétude favorise l'éclosion d'une contre-culture du jeu et de l'informatique éducatifs. Elle se déploie dans les milieux universitaires, pendant que l'économie des jeux vidéo entame son plein essor et devient omniprésente pour une grande partie de la population. Cette contre-culture réunit différentes disciplines scientifiques qui s'intéressent à l'innovation pédagogique en tant que culture constructiviste de l'informatique. Les nouveaux modèles éducatifs revendiquent alors leur filiation avec les grands penseurs de la pédagogie comme Friedrich Fröbel, Maria Montessori et Jean Piaget<sup>(164)</sup>. Tous défendent l'importance des activités corporelles et manuelles dans

161 Ibid. p. 165

162 «La cognition sociale ou intelligence émotionnelle, a des implications majeures sur le développement social et émotif de tout enfant. Il est important de comprendre ce que c'est et comment l'environnement de l'enfant peut affecter le développement de cette habileté.» Miller, S. A. (2019, 1er décembre). *Cognition sociale | Développement sociocognitif dans la petite enfance*. Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. <http://www.enfant-encyclopedie.com/cognition-sociale/selon-experts/developpement-sociocognitif-dans-la-petite-enfance>

163 Bailey, J., and Weippert, H. (1991). *Educational computing challenges for early childhood educators*. Australian Journal of Early Childhood 16, 3, 28-33.

164 Resnick, M., Martin, F., Sargent, R., & Silverman, B. (1996c). Programmable Bricks : Toys to think with. *IBM Systems Journal*, 35(3.4), 443-452. <https://doi.org/10.1147/sj.353.0443>

l'acquisition des compétences cognitives<sup>(165)</sup>. Ainsi le noyau de cette contre-culture milite pour l'invention d'un matériel pédagogique annexe à l'ordinateur, permettant une relation plus dynamique entre l'enfant et la machine, à la fois spatiale, tactile et sociale. Le matériel est constitué d'objets manipulables, préhensibles, palpables, stables que l'enfant peut agencer pour élaborer des représentations, des raisonnements, des stratégies, dans l'espace qui se situe à proximité de l'ordinateur. Il peut dès lors procéder par tâtonnements, réajuster ses formes, accroître peu à peu sa dextérité manuelle et son habileté intellectuelle par la répétition des gestes, en déplaçant librement son corps dans l'espace. Tous ces exercices forment à l'autonomie et créent des aptitudes que ne permet pas l'interface statique du jeu vidéo bien qu'elle soit plébiscitée par l'industrie du loisir. De nouveaux principes pédagogiques dénoncent l'inefficacité de ces interfaces statiques et se penchent sur l'élaboration d'autres formes de mise en relation avec la machine.

En se rapprochant des sciences de l'éducation, l'évolution de l'informatique et des interfaces homme-machine va s'attacher à rendre plus concrète l'expérience virtuelle, en puisant dans le registre formel des « dons » de Frœbel et des jeux de construction pour enfants. Ceux-ci deviennent le matériau de prédilection pour ceux qui tentent de rendre les mondes virtuels et physiques plus poreux. Ainsi les innovations se concentrent autour de l'objet le plus élémentaire, appartenant au vocabulaire du traditionnel jeu de construction pour enfant : le bloc, le cube ou la brique, qui deviendront les artefacts tangibles, à la fois manuels et connectés pour nouvelle génération d'enfants.

## 2.4 Le matériau de manipulation numérique

M. Resniks, chercheur au Media Lab du MIT, s'inspirant des facultés des enfants à programmer leurs propres jeux, propose de nouvelles technologies et stratégies pour stimuler des expériences d'apprentissage créatives. Il s'agit de l'invention d'un nouveau matériau de manipulation numérique :

*Give a child Pattern Blocks, and geometric relationships become more salient. Our goal in designing new "digital manipulatives" is to make a new set of concepts salient for children. Our basic strategy is to embed computational and communications capabilities in traditional children's toys. By using traditional toys as a starting point, we hope to take advantage of children's deep familiarity with (and*

165 "Researchers have found that interaction with the physical world is a critical factor in the development of a child's mental model. A particularly notable example is Frœbel's collection of twenty gifts [1], and Montessori's materials, each carefully designed to enhance learning of important concepts through physical manipulation (concepts such as shape and number). Seymour Papert, building on the work of Piaget, has shown how children can refine their mental models of the world through constructive processes." Zuckerman, O., & Resnick, M. (2003). A physical interface for system dynamics simulation. *CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '03*, 2348. <https://doi.org/10.1145/765891.766005>.

*deep passion for) these objects. At the same time, by endowing these toys with computational and communications capabilities, we hope to highlight a new set of ideas for children to think about.*<sup>(166)</sup>

Ce matériau numérique concerne en réalité toute une génération de projets de recherches et de prototypes, développés dans de nombreux laboratoires universitaires, dont le MIT Medialab, qui s'intéresse à une méthode de modélisation ou de programmation plaçant l'ordinateur en arrière-plan<sup>(167)</sup>. Le « Computational Building Blocks », est un nouveau protocole de « jeu de table »<sup>(168)</sup> en quelque sorte, agrémenté de nouvelles capacités électroniques et informatiques qui lui permettent de communiquer avec l'ordinateur.

Dans la même mouvance, les chercheurs du Mitsubishi Electric Research Laboratory, David Anderson, James L. Frankel et son équipe proposent de nouveaux systèmes de modélisation tangibles, simples d'utilisation. Ils les présentent ainsi, dans « *Tangible Interaction and Graphical Interpretation : A New Approach to 3D Modeling* » :

*Construction toys are a superb medium for creating geometric models. We argue that such toys, suitably instrumented or sensed, could be the inspiration for a new generation of easy-to-use, tangible modeling systems - especially if the tangible modeling is combined with graphical-interpretation techniques for enhancing nascent models automatically. The three key technologies needed to realize this idea are embedded computation, vision-based acquisition, and graphical interpretation. We sample these technologies in the context of two novel modeling systems: physical building blocks that self-describe, interpret, and decorate the structures into which they are assembled; and a system for scanning, interpreting, and animating clay figures.*<sup>(169)</sup>

## 2.5 Le Computational Building Block :

Le « Computational Building Blocks » dont la dénomination est due à Mitchel Resnick est une interface de conception tangible (TUI) dont l'objectif est multiple. Elle est basée sur une méthode d'assemblage physique d'objets, à la manière du Lego. Cette méthode permet d'abord aux jeunes élèves d'interagir haptiquement sur des animations multimédias complexes, en particulier en 2D, de concevoir leur interactivité ou de modéliser des univers en 3D, des paysages, des architectures. Dans tous les cas, les

166 Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46(4), 4355. <https://doi.org/10.1007/bf02299672>

167 "The brick was designed to "break children free" from the desktop computer mentality, and bring them to a ubiquitous computing world, in which computers are connected to and spread throughout the environment. Children were empowered to be architects and engineers, and not just simple users ». Vallance, M., Martin, S., Wiz, C., & Van Schaik, P. (2009a). LEGO Mindstorms The Structure of an Engineering (R)evolution. *Proceedings of the 2009 British Computer Society Conference on Human-Computer Interaction*, 159172. [https://www.researchgate.net/publication/221436867\\_LEGO\\_Mindstorms](https://www.researchgate.net/publication/221436867_LEGO_Mindstorms)

168 Le terme de « bac à sable », est emprunté à la théorie jungienne du jeu de sable, développée spécifiquement en pédo-psychiatrie dans les années 1960.

169 Anderson, D., Yedidia, J. S., Frankel, J. L., Marks, J., Agarwala, A., Beardsley, P., Hodgins, J., Leigh, D., Ryall, K., & Sullivan, E. (2000). Tangible interaction + graphical interpretation. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '00*, 2347. <https://doi.org/10.1145/344779.344960>



objets physiques sont directement reliés à la représentation multimédia (image, son, animation). Ils participent à l'action ludique ou à la conception narrative, ils agissent en fonction des caractéristiques qu'on leur a préalablement assignées. De manière générale, les objets physiques sont matérialisés par des volumes élémentaires, des blocs ou des briques, qui représentent numériquement des formes plus complexes, de tailles variables, texturées, ou des personnages, des fonctions dynamiques, des sons, des mots... L'agencement manuel et intuitif des objets physiques se construit à l'écart de l'ordinateur. Il est reproduit en même temps sur un écran – sous la forme d'une image virtuelle implémentée par des données numériques – influençant la complexité de la représentation.

En mobilisant ses facultés manuelles, l'élève joue de façon proactive : il intervient dans la conception du jeu sans même savoir dessiner. Cette méthode « d'aide à la conception » repose sur la plus-value éducative dépendante du fait de prendre part à la création du jeu. De plus, cette expérience tactile, qui se situe hors de l'écran, peut être partagée et discutée avec d'autres élèves, rendant l'acte de conception collaboratif, un facteur efficace en termes d'apprentissage.

Ainsi le « Computational Building Block » est d'abord envisagé comme une alternative éducative à la pratique courante des jeux vidéo, en particulier pour permettre aux élèves de construire leurs propres univers animés, tout en apprenant.

## *2.6 L'Open source et l'éducation :*

Mais en réalité, au-delà de la fonctionnalité ludo-éducative, le « Computational Building Blocks » prétend donner aux jeunes générations une plus grande maîtrise du langage informatique, de la programmation et de l'électronique. Il s'agit pour eux de comprendre la structure des programmes qui calculent et animent les modèles graphiques. Les blocs électroniques servent de support de programmation tangible. Leurs constructions remplacent la syntaxe textuelle des algorithmes. Elles aident à formuler de manière préhensible le programme informatique conventionnel en langage codé, peu accessible pour les néophytes. Ainsi l'outil donne aux jeunes générations l'occasion d'explorer la technologie qui se cache derrière la machine, de manière ludique et personnalisée. De sorte que ces jeunes jouent un rôle critique dans leur rencontre avec la technologie, pour, in fine, non seulement être en capacité de concevoir leurs jeux, mais aussi pour mieux comprendre les environnements numériques qui les accompagnent dans leur vie quotidienne.

Ces finalités s'inscrivent dans le sillon idéologique des logiciels à codes ouverts et de l'essor du label « open-source »<sup>(170)</sup> qui s'imposent déjà dans la société, notamment pour lutter contre le capitalisme industriel et la société consumérisme de masse. L'open source, qui consiste à libérer gratuitement l'accès au code source d'un logiciel pour autoriser son appropriation et sa transformation, nécessite une sorte de retour aux bases de l'apprentissage de l'informatique. À cette époque déjà, c'est un enjeu social et démocratique qui vise à éduquer la société civile à la culture informatique afin de lui donner des moyens d'actions et de productions. Cette idéologie de l'apprentissage du langage source de l'informatique incite à replonger dans les constructions du langage et de l'apprentissage cognitif de l'enfance, pour élaborer les méthodes et les outils pour tous, toutes les générations et tous les publics.

## 2.7 L'influence de Frazer : du modèle Segal au Computational Building Block

C'est donc dans le domaine de l'apprentissage créatif et de l'éducation de l'enfant que l'on trouve les modèles d'expérimentation les plus audacieux, en particulier lorsqu'il s'agit de l'apprentissage intelligent de l'informatique et du numérique. À cet endroit, le jeu et l'informatique se rejoignent comme un effet miroir : on utilise le jeu de construction pour apprendre à déconstruire l'ordinateur, dans le but de le reconstruire soi-même à la manière d'un nouveau jeu.

Les auteurs de ces nouveaux modèles, professeurs, chercheurs, étudiants, n'hésitent pas à reconnaître que l'origine de leurs travaux prend sa source dans la discipline de l'architecture, chez les précurseurs du « ordinateur aidé design to participatory ». De nombreuses publications et actes de colloques spécialisés dans les recherches en informatique et en interface homme-machine citent les projets expérimentaux des architectes Nicholas Negroponte, John Frazer, Georges Stiny, ou Robert Aish<sup>(171) (172)</sup>

170 La désignation « open source » ou « code source ouvert », s'applique aux codes dont la licence respecte des critères précisément établis par l'« Open Source Initiative ». Il s'agit des possibilités de libre redistribution, d'accès au code source et de création de travaux dérivés. Le mouvement open source s'est développé en parallèle du mouvement des logiciels libres, qui prône des valeurs philosophiques et politiques de justice. L'open source se focalise quant à lui sur des considérations techniques de développement de logiciel, et ne s'oppose pas à l'utilisation de systèmes intégrés, combinant logiciels propriétaires et logiciels open source.

171 Do, E. Y.-L., & Gross, M. D. (2009b). Back to the real world : Tangible interaction for design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23(3), 221-223. <https://doi.org/10.1017/s0890060409000195>

172 Kitamura, Y., Itoh, Y., Masaki, T., & Kishino, F. (2002). ActiveCube : a bi-directional user interface using cubes. *KES'2000. Fourth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies. Proceedings (Cat. No.00TH8516)*, 2537. <https://doi.org/10.1109/kes.2000.885768>

(173) (174) (175) aux côtés des recherches de Seymour Papert, dans leurs références préliminaires. Cette filiation est largement assumée dans les laboratoires universitaires de l'Intelligence Artificielle<sup>(176)</sup>, des sciences technologiques, des sciences médias, des disciplines de l'art ou du design qui partagent leur intérêt pour les interfaces tangibles et transmédias, dans le domaine du jeu et de l'innovation pédagogique. Paradoxalement, on peut remarquer que cette filiation est rarement reconnue voir ignorée du champ de l'architecture et de l'histoire des outils de conception en architecture.

John Frazer y fait figure de pionnier. Ces travaux servent de bases méthodologiques et technologiques, pour inventer d'autres prototypes qui exploitent de nouvelles potentialités de modélisation tangible en 3D, incluant les nouveaux médias, le son, l'animation, à des fins autres que celles de l'architecture. Dans l'article « *Reviving a Tangible Interface Affording 3D Spatial Interaction* »<sup>(177)</sup>, publié en 2000, les chercheurs en science de l'informatique écrivent, à propos de la réutilisation du modèle Segal de J. Frazer:

*The impetus for the practical aspects of our current work originated in pioneering HCI tools developed by John Frazer and his colleagues as early as 1980. Frazer developed working prototypes of 3D Input Devices [...] in order to support new design approaches in architecture. The models were intelligent, in that the model was able to extract its geometry automatically. The supporting design software enabled implementation of feedback concepts such that a model (via its supporting software running on a hostcomputer) can advise the designer on design errors or insights interactively.*

Particulièrement intéressés par le processus d'interactivité initié par Frazer, ces chercheurs, s'appuyant sur des outils existants se sont intéressés à de nouveaux domaines d'application pour les interfaces tangibles dédiée au jeu virtuel «Half-Life» TM world<sup>(178)</sup> :

*In this paper we attempt to provide the reader with a brief overview of the underlying paradigms and research in this emerging domain. We also describe a TUI, the Segal Model, created by John Frazer and his colleagues 20 years ago and our current work in reviving this interface. We briefly*

173 Ishii, H. (2008). Tangible bits. *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '08*, 1525. <https://doi.org/10.1145/1347390.1347392>

174 Buechley, L., & Eisenberg, M. (2007). Boda blocks : a collaborative tool for exploring tangible three-dimensional cellular automata. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning, CSCCL'07*, 102104. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1599600.1599618>

175 Anderson, D., Yedidia, J. S., Frankel, J. L., Marks, J., Agarwala, A., Beardsley, P., Hodgins, J., Leigh, D., Ryall, K., & Sullivan, E. (2000). Tangible interaction and graphical interpretation : : A New Approach to 3D Modeling. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '00*, 2347. <https://doi.org/10.1145/344779.34496>

176

177 Watson, B., Sharlin, E., & Sutphen, S. C. (2000). Reviving a tangible interface affording 3D spatial interaction. *Proceedings of 11th Western Canadian Computer Graphics Symposium*, 155166. <https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/ski00.segal.pdf>

178 Half-Life (1998) est un jeu de tir à la première personne développé par Valve Corporation à partir des années 1998.

*present some of the initial results of building physical 3D worlds on top of the Segal Model and then rendering them into fully active 3D virtual worlds.*<sup>(179)</sup>

*Another 3D input device, the Segal Model was built by John Frazer and his colleagues in the early 80's in order to support the work of the architect Walter Segal. Segal had developed a timber-frame technique for self-homebuilders but had found that the users encountered difficulty when it came to self-designing their homes. The tangible input tool that was developed, The Self-Builder Model, enabled easy home worth mentioning. NuMesh suggests and examines a 3D modular network of high performance computers plugged into a 3D-lattice topology in a Lego-like modularity.*<sup>(180)</sup>

## 2.8 La brique LEGO® et le MIT Médialab :

À la fin des années 1990, Mitchel Resnick dirige le groupe de recherche LEGO PAPERT du MIT Médialab Learning Research, autour d'un projet d'innovation pédagogique, initié une décennie plus tôt par le pédagogue Seymour Papert et l'architecte Nicolas Negroponte. Le projet s'inscrit dans le cadre d'un long partenariat avec le Groupe LEGO® qui cherche à diversifier son marché, en convoitant les milieux de l'éducation et de la recherche<sup>(181)</sup>.

En effet, avec l'arrivée massive des jeux vidéo dans l'industrie du divertissement, les petites briques à tenons deviennent de moins en moins attractives<sup>(182)</sup>. Le groupe LEGO® peine à rivaliser avec l'émergence des nouvelles technologies, et avec les nouvelles expériences virtuelles qu'elles proposent. Pour contrer la montée en puissance des jeux vidéo, LEGO® se lance donc à la conquête de ce marché, en proposant la virtualisation de la construction à base de briques. Le groupe diffuse de nouveaux jeux vidéo sous le label « LEGO® Media »<sup>(183)</sup>. Malgré la bonne idée qui en est à l'origine – construire virtuellement ce qui, auparavant, était assemblé matériellement – « LEGO® Media » est un échec. Comme l'écrit Marc Atallah<sup>(184)</sup> :

179 Sharlin, E., Watson, B., Sutphen, S., Lederer, R., Figueroa, P., & Frazer, J. (2001). 3D Computer Interaction Using Physical Objects : Exploration of Tangible User Interfaces. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH*, 123148. [https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/TUIs\\_Leonardo.PDF](https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/TUIs_Leonardo.PDF).

180 Watson, B., Sharlin, E., & Sutphen, S. C. (2000). Op.Cit.

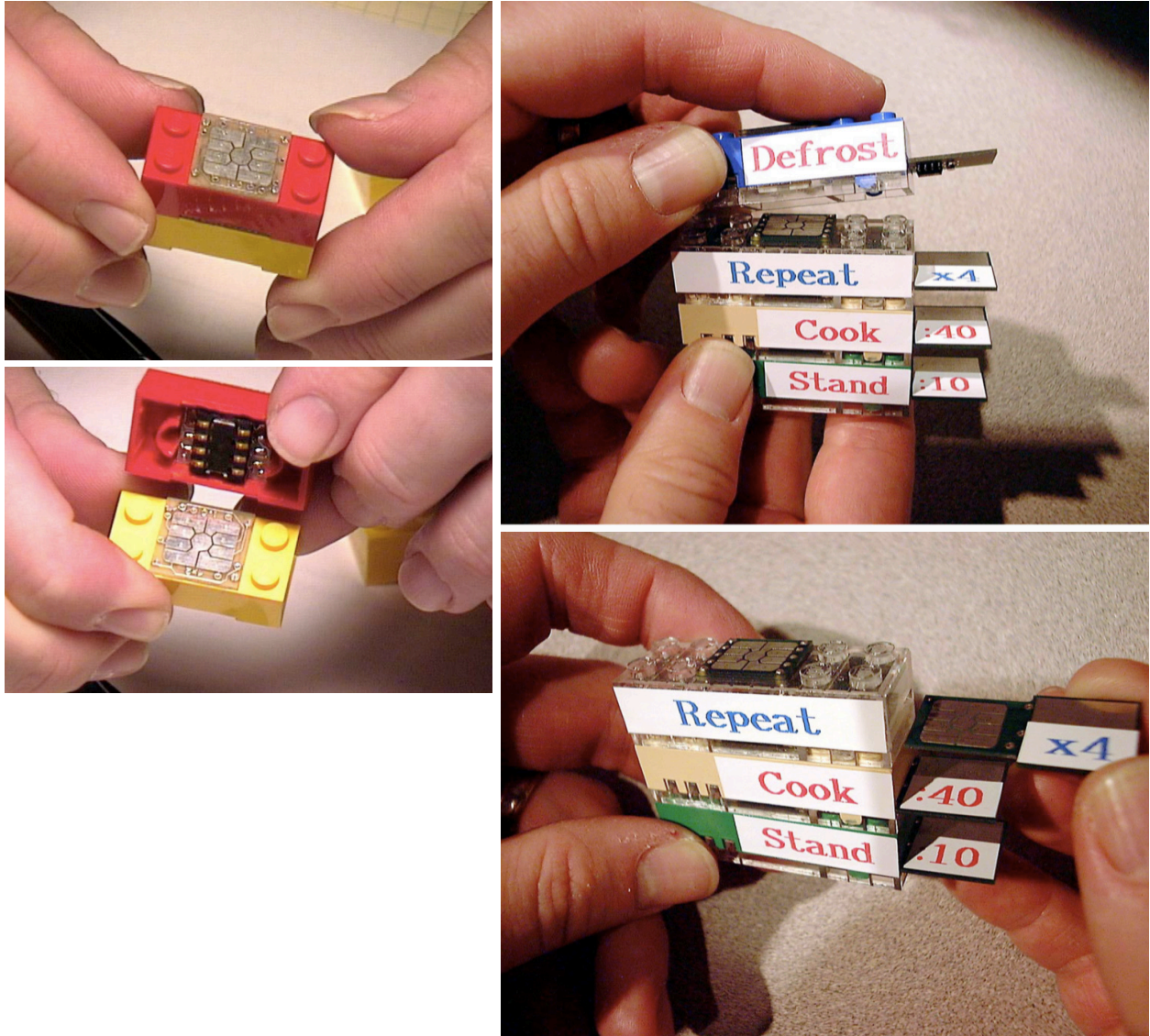
181 "The Media Lab's largest and longest corporate collaboration, uninterrupted for 32 years, has been with LEGO because both organizations openly advocate the value of play as foundational to how children learn learning itself." says Nicholas Negroponte, founding director of the Media Lab. <https://www.media.mit.edu/posts/lego-foundation-endows-media-lab-fellowships-to-honor-the-legacy-of-seymour-papert/>.

182 Chapuis, D. (2012, 10 janvier). *Le groupe danois en pleine relance*. Les Echos. <http://www.lesechos.fr/2012/01/le-groupe-danois-en-pleine-relance-349322>

183 Castle Mystery, Gold Robber, LEGO® Creator, LEGO® Loco.

184 Marc Atallah est directeur-commissaire de la Maison d'Ailleurs et maître d'enseignement et de recherche à la Section de français de l'université de Lausanne. Ses recherches portent principalement sur la mythologie des cultures populaires (super-héros, créatures artificielles, etc.), les littératures conjecturales (utopie, dystopie, science-fiction) et les théories de la fiction appliquées aux jeux vidéo.





*(fig. 63) Tangible programming Bricks, An approach to making programming accessible to everyone, 2000*

**Timothy Scott McNerney, MIT MediaLab**

*Les « Tangible Programming Bricks » sont des blocs de Lego réadaptés pour construire des programmes simples, en particulier pour construire des objets connectés. Ils contribuent à combler le fossé entre le monde virtuel et le monde physique permettant à l'utilisateur de manipuler l'information numérique directement avec ses mains.*

*Ces jeux ne parvinrent jamais à s'imposer. Un tel fiasco se comprend aisément, car retrouver un univers auquel on joue physiquement ne conduit pas naturellement à apprécier un univers virtuel basé sur le premier. Autrement dit, les briques matérielles sont jouées, alors que leurs correspondantes virtuelles ne le sont pas : elles ne forment que le cadre au sein duquel on joue à des jeux classiques dissociés des univers LEGO® (185).*

Ils sont aussi dissociés de sa philosophie :

*The concept of "Play Well" continues to serve as the philosophy for all LEGO (LEg GOdt meaning "play well.") products today. A philosophy encouraging children to be open and curious. To stimulate their creativity, imagination and learning – while they're having fun.*

Malgré cet échec, le Groupe LEGO® et sa division Dacta group<sup>(186)</sup> parviennent finalement à conquérir le monde informatique, en transformant radicalement l'utilisation de la brique vers d'autres finalités, celles de l'innovation pédagogique par l'apprentissage à la programmation, à l'électronique, à la robotique, et à la modélisation en 3D<sup>(187)</sup>.

Avec cette nouvelle stratégie de production, il n'est pas étonnant que la brique LEGO® intéresse le MIT. L'une des propriétés remarquables du dispositif réside dans la poly-fonctionnalité des briques emboitables à « tenons », que l'on peut transformer pour concevoir toutes sortes de constructions matérielles et immatérielles, en les agrémentant de composants électroniques, de microprocesseurs, de moteurs, de capteurs... La collaboration entre le MIT et LEGO® donne naissance aux premières briques de programmations tangibles.

## 2.9 Le Tangible Media Group :

Souvent cité comme le premier laboratoire de recherche en matière d'interfaces tangibles, aux côtés du Papert Lab, le Tangible Media Group du MIT, dirigé par Hiroshi Ishii à partir de 1995, conçoit une série de briques programmables mêlant recherches plastiques et esthétiques, matérialité et ergonomie, multimédia, et technologie (**fig. 63**). Les projets qui en découlent serviront de références pour une longue d'une lignée de jeu de construction programmable et interactif. Au cours des années 2000, un certain nombre de laboratoires universitaires développent, chacun à leur manière,

185 Atallah, M. (2014). Le groupe LEGO® : histoire et conséquences d'une bifurcation. *A contrario*, n° 20(1), 169. <https://doi.org/10.3917/aco.141.0169>

186 Lego DACTA, en tant que division éducative du groupe Lego, est chargé de développer des jeux, à destination des écoles, qui encouragent les élèves à utiliser leur créativité pour apprendre. La philosophie incarnée par les productions de Dacta se fonde sur les théories constructivistes de Piaget.

187 LEGO® lance avec le MIT, le « LEGO® Mindstorms Robotics Invention System », avec des briques électroniques contenant des microprocesseurs, des capteurs, en référence au célèbre ouvrage «*Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*» de Seymour Papert.



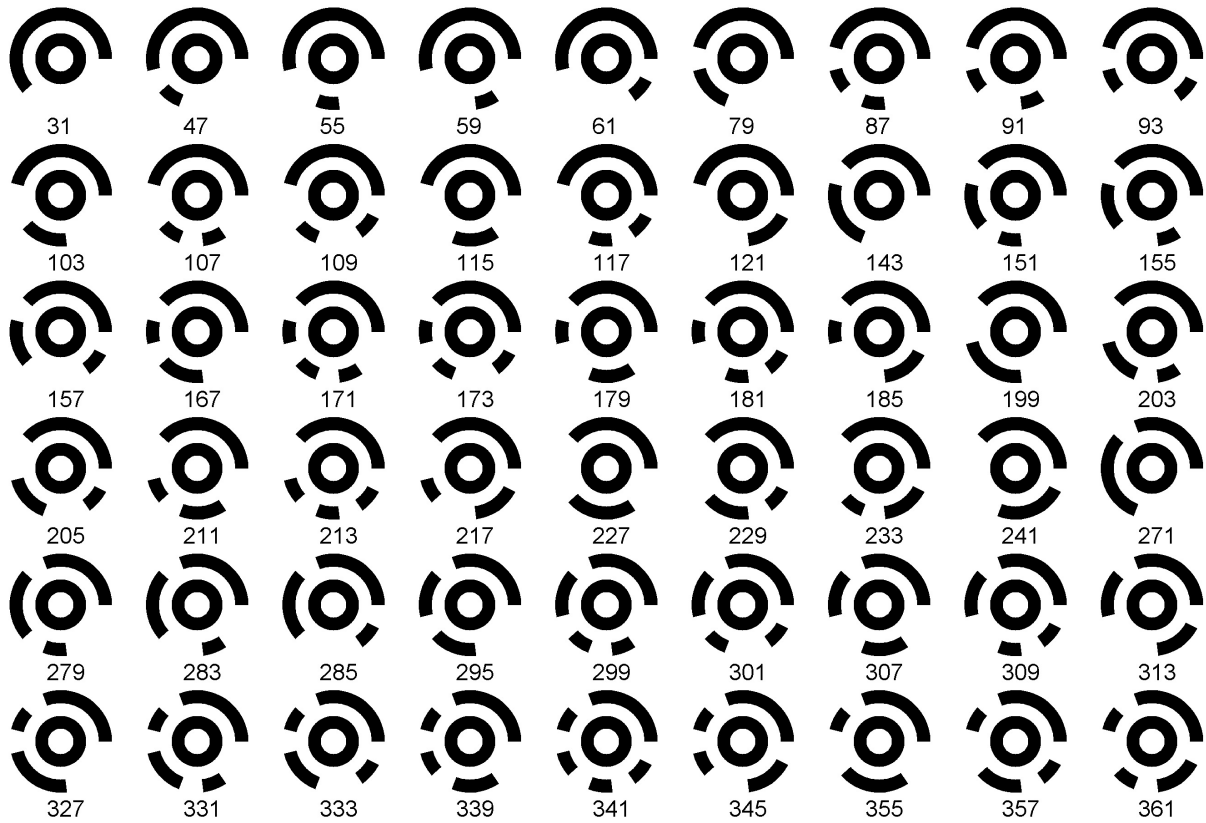


(fig. 64, 65) Tern, Quetzal, 2002

Michael Horn, Robert J.K Jacob

Tufts University, departement of Computer Science, Medford, USA

Langage de programmation tangible pour les élèves du collège. Tern et Quetzal consistent en une collection de blocs de bois en forme de pièces de puzzle ou de cube. Les utilisateurs connectent ces blocs pour former des programmes informatiques physiques, qui peuvent inclure des commandes d'action, des boucles, des branches et des sous-programmes.



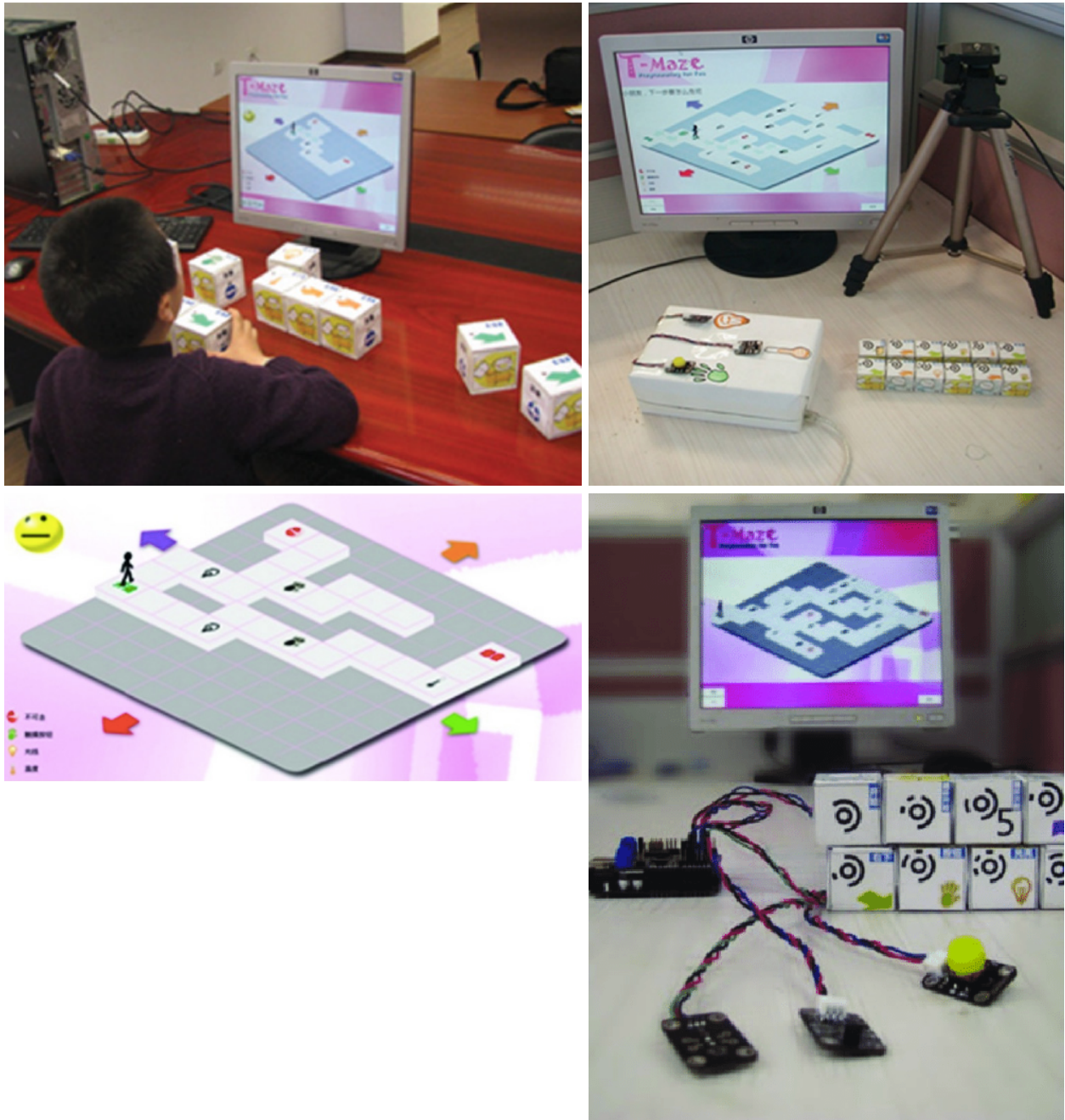
*(fig. 66) TopCode, 2002*

*Michael Horn, Robert J.K Jacob*

*Tufts University, departement of Computer Science, Medford, USA*

*Bibliothèque de vision par ordinateur TopCode, conçue pour identifier et suivre rapidement et facilement des objets tangibles sur une surface plane.*





(fig. 67) : E-Block/T-Maze, 2004

Danli Wang, Yang Zhang, Tianyuan Gu, Liang He, Hongan Wang.

E-Block est un outil de programmation tangible pour les enfants de 5 à 9 ans qui permet d'avoir une première compréhension de la programmation pour jouer au jeu de labyrinthe T-Maze.

des kits de construction informatique ou « intelligent building bloc ». Les objectifs et les résolutions techniques diffèrent selon les groupes de recherches, mais la finalité demeure la même : inventer un outil manuel facilitant la modélisation en 3D et la programmation interactive ; un outil destiné à l'apprentissage, à tous les niveaux, de l'école à l'université, ou encore à usage collectif et participatif visant tous public. En général, les protocoles sont conçus pour des utilisateurs novices en informatique. Les dispositifs tangibles proposés par les différents groupes de recherche varient en complexité. Certains systèmes, rudimentaires et exempts d'électronique, sont composés de simples blocs de bois ou de plastiques, s'assemblent à la manière des pièces de puzzle ou de LEGO® (en plan, horizontalement) comme le dispositif Tern<sup>(188)</sup> ou Queztal (**fig. 64,65**), développé par le chercheur Michael Horn et (Tufts University, Department of Computer Science) USA, 2005. Servant à composer des algorithmes, les systèmes Tern et Queztal se basent sur un protocole syntaxique avec des contraintes d'assemblage très simples : chaque pièce est identifiée et localisée par le programme Scratch<sup>(189)</sup>, grâce à un langage graphique appelé « Tangible Object Placement Codes » ou TOPCODES (**fig. 66**)<sup>(190)</sup>, collé sur la face supérieure de l'objet, et photographié en temps réel grâce à une caméra. Ces blocs de programmation sont associés à des actions simples tels que mettre en mouvement un objet ou un personnage au sein d'une scène virtuelle, avancer, tourner à droite, allumer une LED, produire un son...

Les dispositifs hybrides *Tmaze*<sup>(191)</sup> et *E-Block*<sup>(192)</sup> (**fig. 67**), inventés par les chercheurs Wang, Zang & Wang (Chinese Academy of Sciences, Institute of Software, 2005), utilisent le même langage iconographique pour transmettre les données au programme qui anime un paysage graphique. En outre les blocks sont équipés de différents capteurs électroniques (son, lumière) qui induisent une interaction réflexive plus intuitive entre l'utilisateur et l'interface visuelle. La représentation visuelle peut alors transmettre des informations basiques aux blocs tangibles, incitant l'utilisateur à agir

188 Horn, M. S., & Jacob, R. J. K. (2007). Tangible programming in the classroom with tern. *Extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI 07*, 1965-1970. <https://doi.org/10.1145/1240866.1240933>

189 Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The Scratch Programming Language and Environment. *ACM Transactions on Computing Education*, 10(4), 115. <https://doi.org/10.1145/1868358.1868363>

190 «La bibliothèque de vision par ordinateur TopCode est conçue pour identifier et suivre rapidement et facilement des objets tangibles sur une surface plane. Marquez simplement tout objet physique avec un TopCode (un symbole circulaire en noir et blanc) et le système renverra : Un numéro d'identification, Emplacement du tag, Orientation angulaire de la balise, Diamètre de l'étiquette. La librairie TopCode identifiera 99 codes uniques et peut reconnaître avec précision des codes aussi petits que 25 x 25 pixels. Les algorithmes de traitement d'image fonctionnent dans une variété de conditions d'éclairage sans nécessiter d'étalonnage humain. La bibliothèque principale de TopCode est 100% Java (avec un port C++ désormais disponible). Une bibliothèque supplémentaire est fournie pour récupérer des images haute résolution à partir d'une webcam à l'aide de l'API Direct Show de Microsoft. Cette bibliothèque est écrite en C++, mais contient des hooks natifs pour Java.» Dans *TopCodes : Tangible Object Placement Codes*. (s. d.). northwestern.edu. Consulté le 10 juin 2016, à l'adresse <http://users.eecs.northwestern.edu/%7Emhorn/topcodes/>

191 Wang, D., Zhang, C., & Wang, H. (2011). T-Maze. *Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '11*, 1271-135. <https://doi.org/10.1145/1999030.1999045>

192 Wyeth, P. and Wyeth G., *Electronic blocks: tangible programming elements for preschoolers*, Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT '01), pp. 496-503, 2001.

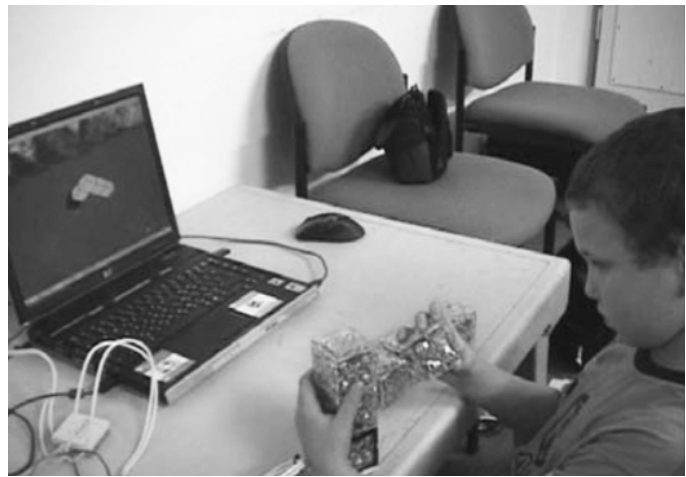
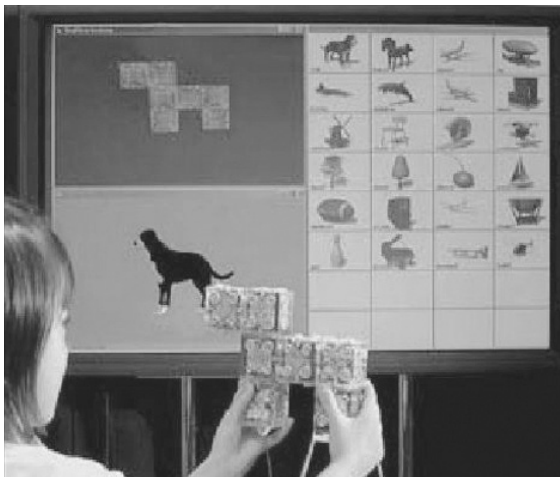


*(fig. 68) AlgoBlock, 2000*

**Hideyuki Suzuki, Hiroshi Kato**

*AlgoBlock est un outil de programmation tangible collaboratif. L'interaction ouverte à l'aide des blocs de construction stimule la conversation entre les apprenants et facilite la collaboration et la coopération.*



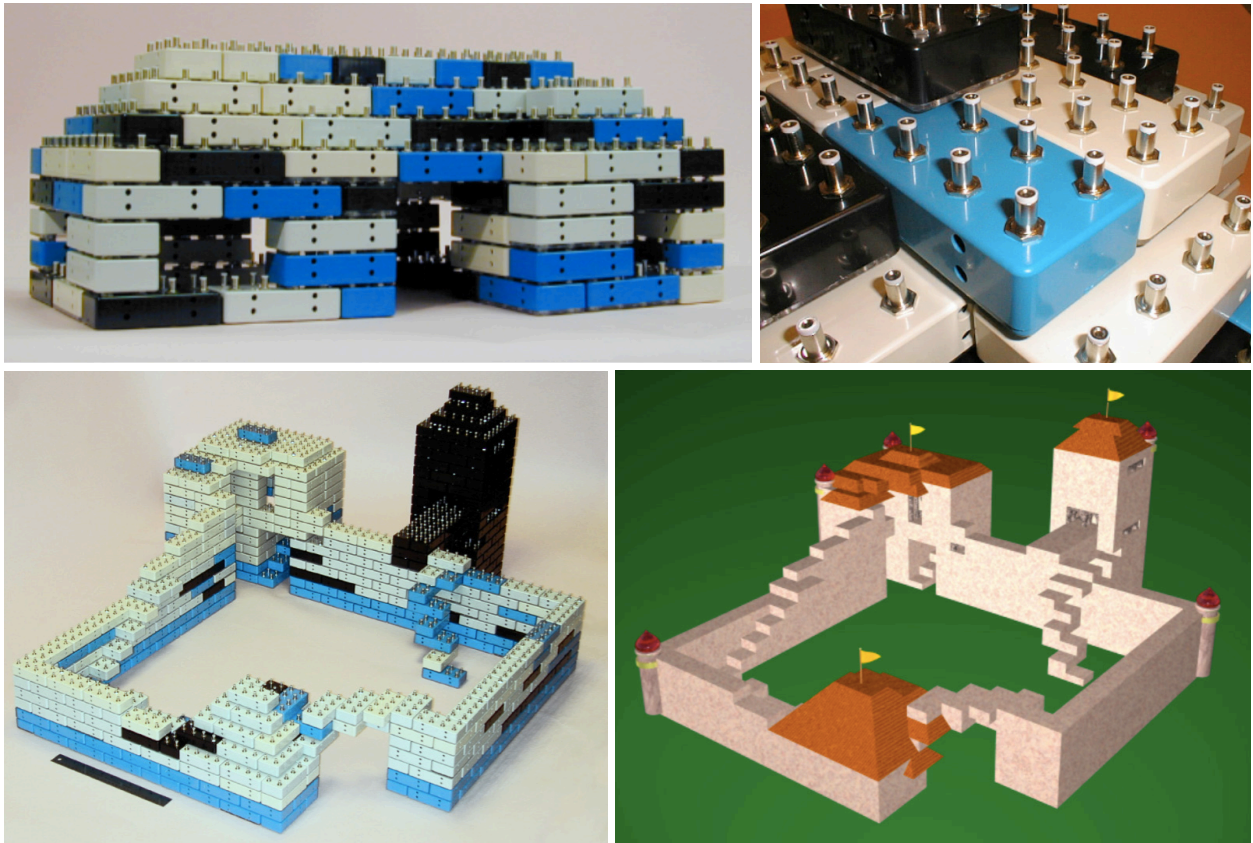


**(fig. 69) : ActiveCube, 2004**

**Hiroyasu Ichida, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, Fumio Kishino.**

ActiveCube est un dispositif qui permet à un utilisateur de construire et d'interagir avec un environnement 3D en utilisant une interface utilisateur bidirectionnelle à base de cube. Un ordinateur reconnaît la structure 3D des cubes connectés en temps réel en utilisant le réseau de communication entre les cubes. En outre, ActiveCube est équipé à la fois de dispositifs d'entrée et de sortie, ce qui rend l'interface intuitive et directe entre l'entrée de l'intention opérationnelle de l'utilisateur et la sortie des résultats simulés. La cohérence est toujours maintenue entre l'objet réel et sa représentation correspondante dans l'ordinateur en termes de forme d'objet et de fonctionnalités.





*(fig. 70) Computational Building Blocks, 2000*

*David Anderson, James L. Frankel, Joe Marks, Aseem Agarwala, Paul Beardsley, Jessica Hodgins, Darren Leigh, Kathy Ryall, Eddie Sullivan, Jonathan S. YedidiaPour.*

*MERL—Mitsubishi Electric Research Laboratory*

en prenant en compte la proposition du programme, en cas de dysfonctionnement par exemple <sup>(193)</sup>.

D'autres dispositifs, plus complexes, comme AlgoBlock<sup>(194)</sup> (**fig. 68**), ActiveCube <sup>(195)</sup> (**fig. 69**), Tangible programming Bricks<sup>(196)</sup>, System Blocks<sup>(197)</sup>, Electronic blocks <sup>(198)</sup> (**fig. 70**), Triangle <sup>(199)</sup>, proposent quant à eux un système de construction en volume, qui permet d'interagir en temps réel sur un modèle virtuel en trois dimensions, quasi équivalent au modèle physique. Équipées de composants électroniques qui déclenchent des actions (périphériques d'entrée et de sortie, capteurs, microprocesseurs, puce RFID, mémoire...), les pièces s'assemblent horizontalement et s'emboîtent verticalement, elles communiquent entre elles, et transmettent des données au programme. Ce dernier identifie dès lors, dans l'espace de travail, la forme du modèle global, ainsi que les éléments qui le composent. La synchronisation entre la manipulation tactile du modèle physique et sa représentation virtuelle en termes de formes et de fonctionnalités est toujours continue et instantanée, dans un mouvement de va-et-vient (feedback). Avec cette forme d'interactivité entre la manipulation tactile et la représentation virtuelle, le processus d'élaboration ou d'animation devient plus fluide, plus sensitif et intuitif, de sorte que les objets tangibles, l'écran, le programme forment ensemble un tout indissociable abolissant les frontières entre perception haptique et perception immatérielle.

193 Wyeth, P., *How Young Children Learn to Program with Sensor, Action, and Logic Blocks*, The Journal of the Learning Sciences, Vol. 17, No. 4, pp. 517-550, 2008

194 Suzuki, H., & Kato, H. (1993). AlgoBlock : A tangible programming language - a tool for collaborative learning. *Proceedings of 4th European Logo Conference*, 297303. [https://www.researchgate.net/publication/242383829\\_AlgoBlock\\_a\\_tangible\\_programming\\_language\\_a\\_tool\\_for\\_collaborative\\_learning](https://www.researchgate.net/publication/242383829_AlgoBlock_a_tangible_programming_language_a_tool_for_collaborative_learning)

195 Watanabe, R., Itoh, Y., Kawai, M., Kitamura, Y., Kishino, F., & Kikuchi, H. (2004). Implementation of ActiveCube as an Intuitive 3D Computer Interface. *Smart Graphics*, 4353. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24678-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24678-7_5)

196 Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. S. (1995). Bricks : Laying the foundations for graspable user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '95*, 442449. <https://doi.org/10.1145/223904.223964>

197 Zuckerman, O. (2004). System Blocks : Learning about Systems Concepts through Hands-on Modeling and Simulation. *MIT Masters Thesis*, 1116. <https://dam-prod.media.mit.edu/x/files/thesis/2004/orenz-ms.pdf>

198 "Aimed at preschoolers, the Electronic Blocks (Wyeth, 2001) are tangible programming elements mounted inside LEGO Duplo blocks. Using sensor, logic, and action blocks young children create interactive devices such as a light block that activates when clapping or a motion block that moves when light is detected. The Electronics Blocks strength is in its simplicity, enabling very young children to independently create different devices and in the process explore core concepts of logic and programming. Wyeth reports that older children (elementary and middle school students) could build more sophisticated creations, such as towers of blocks that "talked" to each other, alarm clocks and cars that could count." *Ibid*, 49

199 "Triangles (Matthew et al., 1998) is a new form of computer interface that uses physical objects to embody digital information. Triangles are a set of triangular-shaped plastic shapes, with embedded computation, that enable users to create both two and three-dimensional patterns. The triangles connect together both physically and digitally with magnetic, conducting connectors. Triangles were tested as a non-linear story telling tool, a media configuration system, and an artistic expression material." *Ibid*, 52

## 2.10 Les modes d'interaction haptique :

Ces recherches tentent de résoudre une contrainte essentielle : localiser les objets mobiles disposés dans l'espace, grâce à des dispositifs technologiques qui doivent être quasi imperceptibles pour l'utilisateur. En d'autres termes, la technologie doit se fondre dans la matière, afin que son l'emprise s'efface, autant que possible, au profit du processus manuel. Avec des moyens technologiques plus ou moins complexes et des opportunités économiques plus ou moins optimales, les laboratoires apportent leurs solutions matérielles et fonctionnelles, en proposant des dispositifs différents, que l'on pourrait classer en trois grandes catégories.

Tous les dispositifs, y compris les plus basiques à base de cubes en bois, contiennent de l'électronique. Celle-ci gère les modalités d'interaction des informations entrantes tactiles, et des sorties multimédias sous forme d'interprétations graphiques, sonores ou textuelles. En revanche ces modes d'interactions ne se situent pas toujours sur les mêmes supports. Il existe, pour simplifier, quatre typologies de supports qui permettent l'identification des pièces dans l'espace : la caméra, qui scanne l'emplacement des blocs disposés sur une table ; le plateau, c'est-à-dire la surface sur laquelle les blocs sont disposés, qui est connectée à l'ordinateur ; le dispositif hybride associant le plateau connecté et les blocs équipés d'électronique ; les blocs équipés de microcontrôleurs qui peuvent fonctionner de manière autonome, sans plateau ou sans caméra. Le développement qui suit détaille ces quatre modes de captation et de transmission des dispositifs manuels <sup>(200)</sup> (**fig. 71**) :

- Le mode caméra
- Le mode plateau
- L'assemblage hybride, plateau et bloc
- L'assemblage avec les modes connectés.

### Le mode caméra

Dans les dispositifs les plus simples, lorsque les blocs de construction sont exempts d'électronique, ce sont des capteurs externes qui repèrent la géométrie globale du modèle, par exemple avec une caméra. En général, ce principe de manipulation tan-

200 "Aimed at preschoolers, the Electronic Blocks (Wyeth, 2001) are tangible programming elements mounted inside LEGO Duplo blocks. Using sensor, logic, and action blocks young children create interactive devices such as a light block that activates when clapping or a motion block that moves when light is detected. The Electronics Blocks strength is in its simplicity, enabling very young children to independently create different devices and in the process explore core concepts of logic and programming. Wyeth reports that older children (elementary and middle school students) could build more sophisticated creations, such as towers of blocks that "talked" to each other, alarm clocks and cars that could count." *Ibid*, 49

gible ne permet que d'animer des représentations graphiques, en 2D, c'est-à-dire en plan ou en isométrie, comme schématisé figure (**fig. 71 a**).

### Le mode plateau

D'autres systèmes utilisent un socle connecté à un ordinateur pour concevoir et animer des visuels en 2D. Ce socle, qui prend l'aspect d'un plateau de jeu quadrillé, permet le repérage spatial des blocs de construction qui composent le modèle. Les blocs, repositionnables dans le plan du plateau, représentent des informations ou des opérations numériques ( images, sons, et interactions entre les blocs eux-mêmes). Le modèle global est limité par le cadre sur lequel les blocs peuvent être placés, il canalise mécaniquement leurs manipulations et leurs mouvements à une dimension uniquement planaire (**fig. 71 b**).

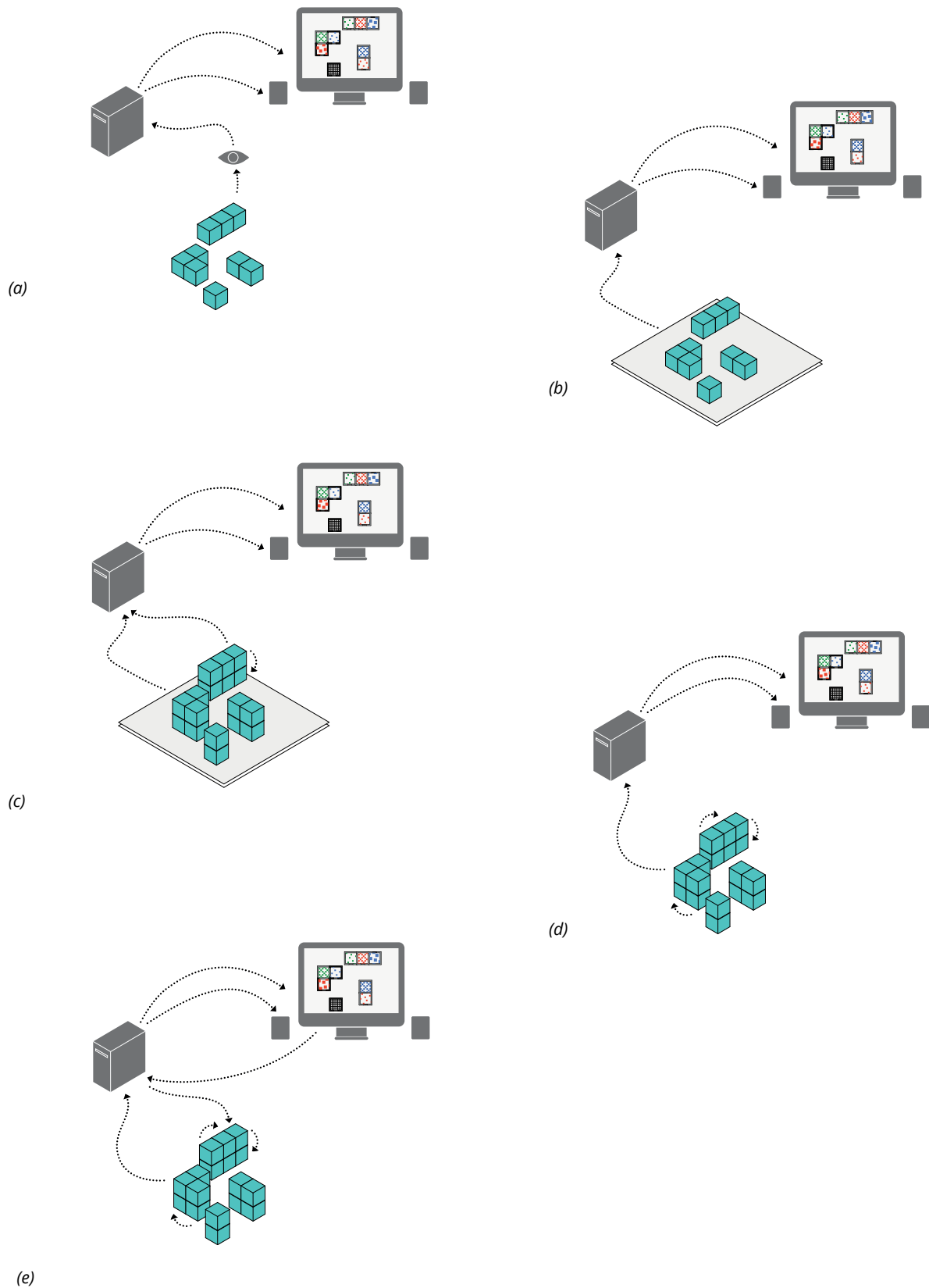
### L'assemblage hybride plateau et bloc :

Avec un principe équivalent, mais plus élaboré, certains dispositifs abordent la représentation en volume. Pour ce faire, ils instrumentent, en plus du socle, les blocs de construction avec des capteurs intégrés, des identifiants, et des paramètres indépendants pour chaque pièce. Ce principe de modélisation permet une homologie directe entre le modèle physique en volume, et sa représentation visuelle. Il est possible par exemple d'assigner une « personnalité » à chaque bloc, avec un ensemble de caractéristiques. Elles se traduisent par une image virtuelle complexe, en volume, texturé, sonore... Cependant la construction tangible ne s'effectue pas en réalité en trois dimensions. Remarquons que les volumes des blocs de la construction tangibles ne sont pas en rapport avec la volumétrie virtuelle, paramétrée par ailleurs. (**fig. 71 c**).

### L'assemblage avec les blocs connectés

La construction tangible en trois dimensions, qui s'inspire des systèmes de construction LEGO® ou de l'« Universal Constructor » de Frazer, se caractérise par une technologie embarquée dans chaque bloc, leur permettant une relative autonomie spatiale. En effet, dans cette configuration, les blocs s'interconnectent entre eux. Ils n'ont pas nécessairement besoin de leur support connecté (le cadre), ou d'un capteur externe (la caméra) pour être identifiés dans l'espace de conception. Les blocs s'assemblent horizontalement et verticalement, sur le principe d'un quadrillage en trois dimensions. Chaque bloc est équipé d'un microprocesseur qui lui permet de communiquer avec les blocs voisins, et d'identifier sa position dans l'espace, par rapport aux blocs contigus. Dans certains prototypes, un bloc, plus performant que les autres servent de relais à l'ensemble des pièces, faisant office de repère cartésien relatif. (**fig. 71 d**).





**(fig. 71) Les modes d'interaction haptique, 2020**  
**Claire Petetin**

- (a) Schématisation du mode caméra
- (b) Schématisation du mode plateau
- (c) Schématisation de l'assemblage hybride, plateau et bloc
- (d) Schématisation de l'assemblage avec des blocs connectés
- (e) Schématisation de l'assemblage avec des blocs connectés avec rétroaction

Si la plupart des prototypes de construction tangibles utilisent uniquement l'une des catégories, certains gagnent en complexité, en incluant et en hybridant les fonctionnalités des différents supports, afin d'obtenir un effet de rétroaction : le programme, ou la représentation numérique renvoie des informations au modèle tangible. (**fig. 71e**).

# TROISIÈME PARTIE :

## Mouvements Hacker et Maker : Alternative de la fabrication

Au tout début des années 2000, l'innovation informatique se caractérise par l'essor des processus de fabrication matérielle<sup>(201)</sup>. Après l'époque de la communication dématérialisée et démocratisée, puis l'arrivée des contenus multimédias et des transmédias interactifs, l'évolution de la culture de l'informatique donne naissance à de nouveaux moyens de production de matériels libres d'accès<sup>(202)</sup> au même titre que le web. Cette évolution parie sur le transfert technologique des outils industriels vers la société civile, et se déploie dans le sillon des paradigmes qui émergent à la même époque. Il faut désormais se tourner vers l'innovation sociale, l'innovation ascendante ou latérale, l'économie sociale et solidaire. Ces nouveaux concepts démocratiques apparaissent sur fond de crise environnementale majeure. La société tente de repenser ses systèmes de valeurs écologiques, économiques, démocratiques, avec de nouveaux objectifs : repenser l'organisation du travail, réorienter les logiques de production, réinventer la distribution des biens et des services. Ces objectifs misent sur la capacité du « pouvoir latéral » à concevoir et à diffuser les outils de la 3e révolution industrielle<sup>(203)</sup>, dans la suite logique du Web collaboratif.

---

201 Que l'on appelle aussi prototypage rapide (rapide manufacturing).

202 En 2012, lors la Biennale ZERO1, The Art & Technology Network (<http://2012.zero1biennial.org>), le romancier hacker Bruce Sterling, parle de l'immersion de la société dans un monde devenu hyper-réel dans un environnement où réel et virtuel fusionne, de l'impression 3D jusqu'à la réalité augmentée en passant par les objets connectés. Worm, A. C. (2012). Seeking Silicon Valley. *Digitalarti*, 11, 29. <https://digitalarti.com>

203 Rifkin, J., Chemla, P., & Chemla, F. (2012). *La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*. Les liens qui libèrent.

La démocratisation des outils de partage de fichiers, d'édition, de création a en effet permis le développement des réseaux sociaux pour des millions d'utilisateurs. Cette nouvelle transition numérique se structure principalement autour du libre accès aux outils de fabrication numérique et au partage des modèles d'innovations qui en découlent. Elle promeut ainsi un modèle d'économie fondé sur la contribution sociale et la pollinisation des idées. Elle s'affirme avant tout à travers les notions d'interdisciplinarités, de convergences des compétences et des savoirs. Cette transition numérique se développe à tous les niveaux de notre société (société civile, milieux académiques, entreprises) et invente un nouveau rapport entre la figure du citoyen amateur « sachant » et celle de l'expert<sup>(204)</sup>. Elle a pris naissance dans les mouvements Haker et Maker qui ont posé les bases d'une fabrication numérique alternative en opposition aux entreprises dominantes du marché.

---

204 « Chris Anderson, le rédacteur en chef de *Wired* aux États-Unis, qualifie cette révolution industrielle de «démocratique» : chaque personne équipée d'un ordinateur peut en effet concevoir, fabriquer un prototype et même le produire en grande série ». Diouf, L., Vincent, A., & Worms, A. C. (2013). *L'internet des objets*. Les arts numériques. *Dossiers du CRISP*, 81(1), 984. <https://www.cairn.info/revue-dossiers-du-crisp-2013-1-page-9.html#pa29>



## CHAPITRE 1 :

## Fabrication numérique et mutation sociale

Marqué entre autres par l'essor du label Fablab<sup>(205)</sup>, le développement des technologies ouvertes<sup>(206)</sup> englobe désormais les logiciels et la programmation informatiques libres<sup>(207)</sup>, la fabrication numérique (comme l'imprimante 3D) et le matériel libre<sup>(208)</sup>. Ces technologies réhabilitent les anciens modèles de pensée, portés notamment par les mouvements alternatifs des Hackers et des Makers : « qui croient en la liberté et en l'assistance mutuelle bénévole »<sup>(209)</sup>. Ces derniers revendiquent une révolution industrielle du « Do It Yourself » (DIY) à domicile, de la culture du « faire », ou du bricolage comme levier d'émancipation contre la consommation de masse. Cette culture naissante s'accompagne d'un nouveau lexique en perpétuelle expansion qui sert à qualifier des pratiques multiples et hétérogènes. Elles ont toutes ont en commun de prétendre installer l'individu au cœur de leur démarche de conception : co-création, co-production, co-conception, crowdsourcing, etc.<sup>(210)</sup>, termes qui définissent le spectre des pratiques, avec des variations aussi complexes que ténues sur le mode et le degré d'implication de l'utilisateur. Cette culture fait avant tout émerger une nouvelle idéologie créative, issue de l'hybridation vertueuse entre le savoir manuel et le savoir informatique. Praticiens d'expérimentations plurielles, les nouveaux promoteurs de ce courant sont des artistes, des designers, de jeunes entreprises, des informaticiens fraîchement diplômés, ou des enseignants et des chercheurs convertis, qui choisissent le travail bénévole avant le travail salarié. Défendant une économie du bien commun,

---

205 Contraction du terme anglais « Fabrication Laboratory ».

206 Les technologies numériques et électroniques Open Sources.

207 L'open source software.

208 L'électronique open hardware : comme pour les logiciels libres, l'open hardware comprend des modes de fonctionnement, des licences spécifiques, une documentation qui permet le partage et l'appropriation des connaissances. Une communauté relaie auprès de futurs constructeurs/utilisateurs les diverses avancées.

209 Raymond, S. E. (2000). Comment devenir un hacker. Dans *Libres enfants du savoir numérique, une anthologie du libre* (p. 255-277). ECLAT.

210 Novel, A.-S., & Riot, S. (2012). *Vive la co-revolution, pour une société collaborative*. Alternatives.

ils dirigent leurs productions professionnelles vers des lieux amateurs de diffusion (site de web makers, fablab...). Les deux mondes, professionnels et amateurs, se mélangent et s'enrichissent mutuellement, en permettant à la société civile de s'emparer des savoir-faire qui étaient jusqu'à présent réservés aux experts.

Dans l'ouvrage collectif, « *Makers, Enquête sur les laboratoires du changement social* »<sup>(211)</sup>, les sociologues Isabelle Berrebi-Hoffmann, Marie-Christine Bureau, Michel Lallement précisent que la communauté des Makers est en grande partie représentée par des « diplômés de l'enseignement supérieur », voire même des enseignants d'université, d'écoles d'ingénieurs, d'école d'art ou de design. Le corollaire de cette situation conduit à un transfert direct d'un contexte éducatif vers les lieux de pratiques amateurs qui deviennent en quelque sorte des prolongements du milieu universitaire<sup>(212)</sup>. Leur fonction est toutefois différente, puisqu'ils sont ouverts à tous et qu'ils entretiennent un rapport réflexif entre apprenants et enseignants. Ces nouvelles places forment ainsi un réseau d'« universités populaires », encadrées et coordonnées par des étudiants, des enseignants, ou des professionnels fraîchement diplômés, engagés dans le « libre » et la transmission des savoirs informatiques. Parallèlement, de nombreux nouveaux médias aident à promouvoir la culture maker en participant activement à la promotion des modèles et des projets par la mise en réseau de l'ensemble des lieux dédiés à la fabrication numérique. Les sites web comme Makery.info, Hackaday.com, Instructables.com, Adafruit.com, ou les magazines tels que Make, Wired, Wedemain, Hackable, diffusent les multiples réalisations du monde maker. Elles oscillent entre valorisations du bricolage technologique, divertissement amateur, entrepreneuriat new âge, économie collaborative, écologie ou encore innovation informatique. À ce sujet, citons André Gorz qui écrivait déjà en 2007 :

*Les outils high-tech existants ou en cours de développement, généralement comparables à des périphériques d'ordinateurs, pointent vers un avenir où pratiquement tout le nécessaire et le désirable pourront être produits dans des ateliers coopératifs et communaux ; où les activités de production pourront être combinées avec l'apprentissage et l'enseignement, avec l'expérimentation et la recherche, avec la création de nouveaux goûts, parfums et matériaux, avec l'invention de nouvelles formes et techniques d'agriculture, de construction, de médecine, etc. Les ateliers communaux d'autoproduction seront interconnectés à l'échelle du globe, pourront échanger ou mettre en commun leurs expériences, inventions, idées, découvertes. Le travail sera producteur de culture, et l'autoproduction un monde d'épanouissement.*<sup>(213)</sup>

211 Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. (2018). *Makers, Enquête sur les laboratoires du changement social*. Seuil.

212 *Ibid.* Parcours de Makers : Trajectoires, bifurcations, identités, 112.

213 Gorz, A. (2008). La sortie du capitalisme a déjà commencé. Dans *Écologica Galilée*. (12-65)

## 1.1 Le neo maker : un double mouvement

Le mouvement Maker, héraut de la nouvelle révolution industrielle, fait une apparition fulgurante à partir du milieu des années 2000 et incarne l'entrée de la société civile dans l'ère de la micro-informatique et des outils à commandes numériques. Chris Anderson, l'auteur de « *Makers, la nouvelle révolution industrielle* » déclare : « *dans les dix dernières années, on a cherché de nouvelles manières de créer, d'inventer et de travailler ensemble sur le web. Dans les dix prochaines années, on appliquera ces leçons au monde réel.* »<sup>(214)</sup>. Les racines de cette conviction plongent loin, dans le sous-sol historique d'une société qui a toujours fait du dépassement des frontières et de la conquête des nouveaux territoires, un idéal commun. Dans son manifeste à l'attention des makers<sup>(215)</sup>, Mark Hatch<sup>(216)</sup> exalte les principales idées fortes du mouvement émergent : partager, apprendre, jouer, aider, lutter.

L'idéologie de ce mouvement hérite en grande partie de l'histoire cumulée des mouvements Hacker et Maker. Les hackers valorisaient les pratiques de détournement du codage informatique, pour lutter contre l'émergence (la suprématie) des produits commerciaux informatiques (web, ordinateurs personnels, logiciels...). Le mouvement Maker, apparu plusieurs décennies avant la naissance de l'informatique, cherchait à se forger une économie de production autonome, à l'écart de la société consumériste engendrée par le progrès industriel. Les deux histoires convergent autour d'un noyau discursif commun, pour constituer l'identité du Nouveau Monde maker. Cette rhétorique est marquée par le Do It Yourself et la créativité qui en constituent ses fondations, même si cela prend parfois des formes de « bidouille » ludique. Y sont associés, et dans un même ensemble, des programmeurs libertaires d'antan, des entrepreneurs new-age de la fabrication numérique, auxquels s'ajoutent les jeunes programmeurs, les designers et les artistes.

Ainsi, la sémantique du nouveau mouvement maker, emprunte à la tradition hacker de multiples formes et statuts. Elle s'approprie des pratiques qu'elle valorise (crypter, coder, s'amuser), et fait siennes des caractéristiques de ce mouvement libertaire (expérimenter, être efficace, jouer). Ce conglomérat de pratiques est également corrélé

214 Guillaud, H., & Sussan, R. (2012, 23 novembre). *Makers, la nouvelle révolution industrielle*. <https://www.lemonde.fr>. <https://www.lemonde.fr/blog/internetactu/2012/11/23/makers-la-nouvelle-revolution-industrielle/>

215 Hatch, M. (2013). *The Maker Movement Manifesto : Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*. McGraw-Hill Education.

216 Dirigeant de l'enseigne Techshop, l'un des premiers Makerspaces, jusqu'en 2016 et cofondateur de la revue MakeMagazine et du festival Makerfaire.

avec l'action collective des anciens makers, qui mettent l'accent sur l'entrepreneuriat individuel, la dimension artisanale et l'autoproduction.

## 1.2 Bricolage, DIY : origine du mouvement

L'émergence du mouvement Maker n'est pas née au début de ce millénaire. Il s'est forgé, grâce à des mouvements plus anciens, sur la pratique du bricolage comme outil contre-culturel, face à l'ordre productif dominant. Le monde maker s'inscrit dans une histoire au long cours, qui depuis la révolution industrielle, a vu se succéder différentes vagues de discours et de pratiques. Elles ont toutes en commun la valorisation du « do it yourself » (DIY), du bricolage, des modèles d'activités alternatifs, imaginés par les uns et les autres, ainsi que le partage de la production de biens et de services.

Les premiers makers apparaissent avec la naissance de l'industrie. La communauté la plus emblématique fut celle des Shakers, au XVIII<sup>e</sup> siècle, avec leur leader Ann Lee<sup>(217)</sup>. Cette communauté religieuse de Manchester subit une migration forcée vers l'Amérique du Nord dans l'état de New York<sup>(218)</sup>. En complément des principes religieux et moraux, l'idéologie Shaker fait de la fabrication artisanale une règle de conduite morale, prônant l'autoproduction : création et réparation de tous les objets, fabrications d'outils, entraide bénévole...

Ce mouvement est suivi par celui des « arts and crafts » (1890). Il s'installe dans le paysage social, avec les premiers mouvements de contestation de la société de consommation, sous la houlette de William Morris<sup>(219)</sup> : « William Morris engage un combat d'artisan et d'artiste contre les méfaits de l'industrialisation, dénonçant sans relâche la laideur des environnements urbains que cette dernière fabrique ». Morris publie en 1890 un manifeste utopique intitulé « Nouvelles de nulle part ». Adressé à la société civile, ce manifeste prône la liberté en opposition aux contingences du travail forcé : « Enfin débarrassée des maîtres et des patrons, la société décrite dans ces Nouvelles tire ses richesses d'un système de production artisanale. »<sup>(220)</sup> Le mouvement des arts and crafts introduit l'esthétique des objets du quotidien, pour abolir les frontières entre l'art et l'artisanat. Tout comme dans l'expérience des shakers, on y constate une

217 Ann Lee (1736-1784).

218 Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. *Op.Cit.* Des Shakers aux Makers : Fragments de généalogie. 25.

219 William Morris est un designer, artiste et écrivain anglais célèbre pour ses prises de position politique libertaire (1834 -1896).

220 Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. *Op.Cit.* Des Shakers aux Makers : Fragments de généalogie. 26.





(fig. 72) Catalogue Whole Earth Catalog et CoEvolution Quarterly, 1968/1971

Stewart Brand, éditeur

(a) Couverture de dernier supplément du Whole Earth Catalog, publié en 1971

(b) The CoEvolution Quarterly, publié par le Whole Earth Catalog, Hiver 1977/78. Illustration de Tom Parker.

(c) Couverture du premier numéro du Whole Earth Catalog, Automne 1968

(d) Couverture du Whole Earth Catalog, Mars 1970 « I travel around the world a great deal, and everywhere I hear humanity saying, 'We are not against any other human beings; we feel the world ought to work properly'. Everywhere they say it's our politicians that get us into trouble. This is the way it's our politicians that get us into trouble. This is the majority viewpoint all around the earth today » R. Buckminster Fuller.

volonté de mobiliser de nouvelles formes de solidarité et de nouvelles compétences, pour faire front aux impacts néfastes de l'industrialisation.

Par la suite, l'intérêt pour le bricolage et le faire soi-même, ressurgira avec la même vivacité après les deux guerres mondiales du XXe siècle, avec l'urgence de la reconstruction des pays dévastés, mais aussi en réaction au système de production taylorien, qui atteint son paroxysme durant les années trente<sup>(221)</sup>, puis au cours des années soixante<sup>(222)</sup>. Le sociologue Georges Friedman prétend, à cette époque que les *do-it yourself activities* « peuvent avoir un impact positif sur la restructuration naturelle de la personnalité, aux effets vertueux d'un bricolage intelligent capable de donner de l'intérêt à l'activité productive hors, paradoxalement, les murs de l'entreprise et prévoient même, que la société de l'avenir, verra naître l'épanouissement d'un nouvel homme-Artisan, voué au façonnage patient et créateur des matériaux à l'aide d'outils manuels ». <sup>(223)</sup>

Toujours développés aux marges de l'activité productive dominante, le bricolage et le DIY gagnent progressivement du terrain grâce à la diffusion de magazines spécialisés, en particulier dans les années 70, période marquée par l'essor fulgurant de la consommation de masse et critiquée par la contre-culture pop<sup>(224)</sup> <sup>(225)</sup>. On peut citer par exemple les magazines *Whole Earth Catalog* et *CoEvolution Quarterly*<sup>(226)</sup> (**fig 72**), le catalogue des ressources<sup>(227)</sup>. Le bricolage et le DIY servent d'étendard à de nouveaux mondes parallèles, pour ceux qui cherchent à sortir des ornières du conformisme dominant. Il est envisagé comme un moyen d'autosuffisance économique, ou parfois comme un moyen de survivre aux crises systémiques. Il devient, pour certaines enseignes, un nouveau modèle économique<sup>(228)</sup> qui prône le bricolage à domicile.

221 Le « Système D », (Journal hebdomadaire illustré du débrouillard France 1924), diffuse la culture du bricolage et du « faire soi-même » avec des slogans tels que : « l'atelier à la maison », « le laboratoire à la maison » « le petit constructeur ». Son but vise à éduquer les hommes de la classe populaire, à résister contre le modèle taylorien de l'organisation du travail, et produire du sens et de la dignité sociale.

222 Par exemple, l'ANPF, Association nationale des promoteurs du faites-le-vous-même, naît officiellement le 11 mai 1965

223 Friedman, G. (1966). *Sept études sur l'homme et la technique. Le pourquoi et le pour quoi de notre civilisation technicienne*. Gonthier.

224 Maniaque, C. (2014). Les supports de diffusion aux Etats Unis : Le *Whole Earth Catalogue*, 139-145, *Go West - Des architectes au pays de la contre-culture*. Editions Parenthèses.

225 *Ibid*, Les voies de la contre-culture made in France :Edition, autoconstruction, Enseignement, recherche. 171-190.

226 *Whole Earth Catalogue*, Catalogue de diffusion de la contre-culture américaine publié entre 1968 et 1972, puis *CoEvolution Quarterly* de 1974 à 1985, par le designer Stewart Brand.

227 Encyclopédie français du DIY, publié entre 1975 et 1982 par Aimé.G, Aoust P. Nougaret M.P, Bone,P.

228 L'arrivée de l'enseigne commerciale Mr Bricolage en 1980, créer par ANPF.





**(fig. 73) Spacewar game, 1962/1969**

*Spacewar est le premier jeu en ligne de l'histoire du jeu vidéo, accessible par les étudiants des universités qui utilisent le réseau Plato. Dans le mouvement Hacker, les créateurs de Spacewar sont considérés comme les pionniers de la culture du libre en informatique car le programme du jeu est distribué librement dans les universités américaines ; tout le monde peut à avoir accès au programme pour faire évoluer le jeu.*

*Il est surtout le premier contact avec le jeu vidéo pour une génération d'étudiants qui, pour certains, deviendront à leur tour des créateurs et acteurs majeurs de cette industrie.*

### 1.3 Contre-culture et idéologie Hacker

La figure du hacker naît au début des années 1960, à l'aube de l'ère informatique, dans les grands instituts universitaires. L'histoire de l'idéologie hacker prend sa source dans un contexte improbable, au sein du MIT IA. À la fin des années 1960, un groupe de jeunes étudiants en informatique (Peter Samson, Alan Kotok, Bob Saunders, Jack Dennis), passionnés de modélisme ferroviaire, passent une grande partie de leur temps libre dans un club étudiant de l'université, le Tech Model Railroad Club (TMRC)<sup>(229)</sup>. Pour d'améliorer les performances des circuits de leurs trains électriques, ces jeunes hommes s'intéressent inopinément aux nouveaux ordinateurs qui équipent les bureaux voisins. Ils les démontent à l'insu de leurs professeurs, récupèrent les pièces électroniques, puis reconstruisent de nouvelles commandes exclusivement dédiées à leur jeu. Parallèlement à cette initiative de bidouille électronique « non autorisée », les protohackers découvrent la programmation en langage LISP grâce aux enseignements proposés par le pionnier de l'intelligence artificielle, le professeur John Mac Carthy. Ultérieurement, les jeunes hackers du TMRC formeront le noyau dur du laboratoire d'intelligence artificielle (IA) sous la houlette de Mac Carthy. Mais ces étudiants contestent déjà la toute-puissance technocratique de l'ordinateur : ils croient en une idéologie décomplexée, ludique et créative du matériel informatique. Passionnés et désinvoltes, ces jeunes protagonistes s'organisent en communauté pour pirater insidieusement les programmes de calcul de l'université, qu'ils détournent pour créer le premier jeu vidéo de combat spatial multijoueur Spacewar<sup>(230)</sup> (**fig 73**). Ainsi, d'une certaine manière, la culture hacker est au départ motivée par le désir d'apprendre en jouant. Écrit pour les mini-ordinateurs DEC PDP-1 nouvellement installé au MIT, le jeu Spacewar est le premier programme libre d'accès. Son code est ouvert, collaboratif. Après sa création en 1962, il sera amélioré par d'autres étudiants des universités voisines et deviendra l'emblème de la culture hacker émergente : « *L'importance historique de Spacewar ne tient pas seulement à sa sophistication technologique ou à sa jouabilité remarquable, mais au fait que le programme soit complètement inséré dans la communauté et le mode de vie hacker.* »<sup>(231)</sup>

Bien qu'encore balbutiante, l'informatique ne sert pas seulement à la recherche universitaire. Dès les années 1960, la contre-culture américaine a fait naître de nouveaux idéaux qui s'expriment à travers des combats libertaires (sexualité, désobéissance

229 Levy, S. (2010). The Tech Model Railroad Club. *Hackers : Heroes of the Computer Revolution* (1st éd.). O'Reilly Media. 6-8.

230 Spacewar est développé en 1961 par l'informaticien Steve Russell en collaboration avec Martin Graetz et Wayne Wiitanen. Il a été programmé avec l'assistance d'autres membres du Tech Model Railroad Club (TMRC), en particulier Bob Saunders, Steve Piner et Alan Kotok. « *Spacewar est un jeu de combat spatial en temps réel, qui permet à deux joueurs, dans la version d'origine, de s'affronter pour le contrôle de l'espace dans un petit univers simulé, réduit à la zone affichée par l'écran à tube du PDP-1.* »

231 Triclot, M. (2012). Jouer au laboratoire. Le jeu vidéo à l'université (1962-1979). *Réseaux*, n° 173-174(3), 177205. <https://doi.org/10.3917/res.173.0177>



civile, mouvements de défense pour les droits civiques...). Ces idéaux envisagent de nouveaux modes de vie, où l'existence s'organise autour de communautés prônant le partage et l'échange généralisés, en rupture avec le consumérisme de la société américaine. L'informatique et les équipements qui l'accompagnent, n'échappent pas à ces revendications, et s'affirment comme un moyen d'expérimenter de nouveaux modes de vie. Ces cultures alternatives se construisent autour d'une communauté, au sein de laquelle le partage permet de vivre de manière autonome en marge de la société. Cet esprit est diffusé dès 1968 par le *Whole Earth Catalog*, qui propose dans ses pages des manuels de fabrication d'outils techniques, des astuces de bricolage informatique ou des détournements d'équipements technologiques. Tous ces procédés visent à subvenir de façon autonome aux différents besoins.

Réunie autour de l'idéal d'une informatique comme nouvel espace de liberté, la jeune communauté hacker s'agrandit progressivement pour s'organiser en un mouvement plus ample. Des textes fondateurs proposent les principes d'une éthique du hacker. « *L'accès aux ordinateurs, et à tout ce qui pourrait vous apprendre quelque chose sur la manière dont le monde fonctionne, doit être illimité et total. Ainsi, l'accès aux ordinateurs autant qu'à la connaissance est considéré comme un droit fondamental* », écrira quelques années plus tard le philosophe Pekka Himanen dans son ouvrage « *The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age* ». <sup>(232)</sup>

Durant les années 1990, avec l'évolution des ordinateurs personnels – et l'arrivée d'internet – de plus en plus d'utilisateurs, des simples amateurs technophiles aux experts avertis, sont déjà capables de détourner les réseaux pour défendre l'idéal hacker. En 1996, l'activiste américain Perry Barlow parachève la définition du mouvement des hackers et affirme que l'informatique, avec internet et toutes les possibilités qui en découlent, doit être utilisée au service d'une cause « *plus humaine et plus juste* ». <sup>(233)</sup>

La nouvelle communauté des hackers élabore peu à peu ses propres licences libres, qui confèrent à l'utilisateur le droit de copier, de redistribuer, et de modifier l'œuvre originale. Toutefois, il existe quelques obligations pour l'utilisateur : notamment celle de citer le nom de l'auteur original, et de maintenir les versions modifiées sous la même licence. L'initiateur de cette méthode est Richard Stallman <sup>(234)</sup> fondateur du « Mouvement informatique libre » (Free Software) <sup>(235)</sup>. Ce mouvement social et politique défend la libre mise à disposition des logiciels et des codes dans un but d'amélioration

232 Himenam, P. (2001). *The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age*. Random House.

233 Barlow, J. P., & L. (2000). Déclaration d'indépendance du cyberspace. Dans *Libres enfants du savoir numérique, Une anthologie du « libre »*. Eclat. 50.

234 Richard Stallman est un des créateurs du mouvement du logiciel libre, mais il a surtout été à l'initiative de la création du système d'exploitation ouvert GNU-Linux en opposition à l'utilisation usuelle du droit d'auteur à des fins de privatisation.

235 Stallman, R., & L. (2000). Droit de reproduction, le public doit avoir le dernier mot. Dans *Libres Enfants du Savoir Numérique, Une anthologie du libre* (p. 243254). ECLAT.

constante. L'activiste Eric Steven Raymond, à qui l'on doit la popularisation du terme open source écrit :

*Les hackers résolvent des problèmes, ils construisent, et ils croient en la liberté et en l'assistance mutuelle bénévole. Pour être crédible en tant que hacker, vous devez vous comporter comme si cet état d'esprit était le vôtre.* <sup>(236)</sup>

Grâce au web, le hacktivisme en réseau prend un essor extrêmement rapide. Il imprègne le monde de l'informatique d'une nouvelle culture, luttant contre le lobbying des fournisseurs de technologies et la discrimination sociale et économique qu'il induit. De nouveaux hackers néophytes, des cercles artistiques et des intellectuels se convertissent en masse aux nouveaux médias désormais à portée de mains. Cependant, l'apprentissage du maniement de ces nouvelles technologies est nécessaire, et devient un enjeu prioritaire du mouvement hacker : pour devenir un vrai hacker, il faut apprendre à programmer comme on apprend une langue maternelle<sup>(237)</sup>. D'après Raymond, « *la meilleure façon d'y parvenir est de lire les écrits des maîtres du style, d'écrire un peu vous-même, d'en lire beaucoup, d'écrire un peu, d'en lire beaucoup, d'écrire un peu... et ainsi de suite jusqu'à ce que l'écriture programmatique commence à acquérir le même genre de force et d'économie que celle de vos modèles* »<sup>(238)</sup>. C'est le principe d'économie collaborative qui vise l'excellence grâce au partage des savoirs : « *L'action la plus fondamentale et la plus traditionnelle consiste à écrire des programmes que d'autres hackers considèrent comme amusants ou utiles, et à en diffuser les codes sources gratuitement, pour que tous les hackers puissent s'en servir.* »<sup>(239)</sup>

Ainsi le monde Maker de la nouvelle révolution, pour reprendre la terminologie d'Anderson<sup>(240)</sup>, se construit au point de confluence entre traditions critiques de la société industrielle, incarnée par le DIY et le bricolage et une histoire plus récente de la contre-culture informatique, directement liée à l'essor du mouvement hacker. Cette dernière prône, avec le logiciel libre et l'open source, le maintien d'une autre forme de DIY comme instrument de contre-pouvoir. En d'autres termes, si le mouvement Maker est plus ancien que celui des hackers, les deux partagent les mêmes valeurs, et se complètent mutuellement jusqu'à se confondre en un seul mouvement unitaire construit sur des idéaux communs : conviction libriste, adhésion aux valeurs des makers, construction d'un rapport critique aux objets techniques, à l'ordinateur en particulier, affirmation des techniques comme outil de résistance et comme levier d'émancipation.

236 Raymond, S. E. (2000). Comment devenir un hacker. Dans *Libres enfants du savoir numérique, une anthologie du libre*. Eclat. 258.

237 *Ibid.* 258.

238 *Ibid.* 265.

239 *Ibid.* 299

240 Anderson, C. (2012). *Makers : The New Industrial Revolution*. HardCover.

## CHAPITRE 2 :

## Outils et dispositifs à l'ère de la révolution maker

### 2.1 Le fablab

Au cours des années 2000, la nouvelle révolution se diffuse dans la sphère publique grâce à de nouveaux lieux ouverts ou tiers lieux, dont les dénominations sont multiples : fablabs, makerspaces, hackerspaces. Tous prétendent offrir un accès libre à la fabrication numérique. L'emblème de cette nouvelle génération de tiers lieu est le Fablab (Fabrication Laboratories) qui trouve son origine dans le célèbre Media Lab du MIT. En effet, le tout premier Fablab est créé à la fin des années 90, dans le Center for Bits and Atoms<sup>(241)</sup> (CBA-MIT), dirigé par le physicien et informaticien Neil Gershenfeld. Celui-ci eut l'idée de mettre à disposition de ses étudiants des machines numériques de prototypage rapide d'objets physiques dans le cadre de son cours expérimental intitulé « Comment fabriquer (presque) n'importe quoi ». Cet enseignement inaugure la nouvelle vision d'une technologie contemporaine qui opère un renversement dans la manière d'appréhender la culture de l'informatique. « Comment fabriquer (presque) n'importe quoi » bouleverse l'univers de la conception assistée par l'ordinateur, en le rapprochant des processus de fabrication de l'artisanat et de l'industrie. Dans le Fablab du MIT, il est désormais possible de fabriquer tout type d'objet matériel, avec ou sans électronique, comme pourrait le faire un artisan dans son atelier<sup>(242)</sup>. S'y inscrivent des artistes, des ingénieurs, des designers, ou de jeunes entrepreneurs. Ils sont alors tous motivés par l'idée de concevoir et de construire eux-mêmes leurs propres projets. Projets rendus possibles par l'utilisation de diverses machines et outils numériques, désormais accessibles sans l'apprentissage technique réservé

---

241 Center for Bits and Atoms créé en 2001 au MIT Média Lab est un enseignement interdisciplinaire explorant la frontière entre l'informatique, science physique, l'art et le design. Il est dirigé par le physicien et informaticien américain Neil Adam Gershenfeld (1959).

242 Broca, S. (2013). *Utopie Du Logiciel Libre*. Le Passager clandestin. 204.

d'ordinaire aux professionnels du monde industriel<sup>(243)</sup>. Quelques années plus tard, Gershenfeld est convaincu que ce genre d'espace devrait être accessible à tous, afin de permettre à chacun de s'approprier les technologies de fabrication personnelle et de réaliser ses propres projets. Dès 2002, de nouveaux Fablab s'ouvrent dans un quartier populaire de Boston, puis au Costa Rica, en Inde, au Ghana.

À partir de 2009, la Fab Foundation<sup>(244)</sup> voit le jour sous la houlette du Center for Bits and Atoms. Forte d'un statut associatif, la fondation souhaite favoriser le développement des Fablabs à travers le monde, en allouant des moyens financiers pour ceux qui inscrivent leur action dans les visées du manifeste de Neil Gershenfeld et de son équipe<sup>(245)</sup>. Y sont privilégiés l'éducation, la démocratisation de l'accès aux machines de production, la production de biens matériels et de services, et le développement de nouvelles opportunités sociales, solidaires et économiques. Ainsi, l'université du MIT contribue-t-elle au premier mouvement de structuration internationale des Fablabs, grâce à la charte rédigée et imposée aux espaces désireux bénéficier de son appellation. L'usage de règles, d'un langage et d'un logo commun ont permis au cours des années 2000, de donner vie à un ensemble de lieux identifiés comme porteurs d'idéologies communes : celle du décroissement entre les savoirs professionnels et les savoirs amateurs<sup>(246)</sup>, et celle de la valorisation et de la diffusion de la culture néo-maker.

## 2.2 La fabrication numérique à portée de mains : L'imprimante 3D

L'imprimante 3D marque presque symboliquement l'entrée de la société dans l'ère de la révolution de l'industrie numérique. Elle donne un aperçu enivrant de ce que sera, dans l'avenir, la fabrication de bureau ou la fabrication à domicile (ou fabrication personnelle), dans un élan équivalent à celui des premiers ordinateurs personnels 30 ans plutôt<sup>(247)</sup>. Cette machine à dépôt de filament (ou fabrication additive), qui équipait auparavant les entreprises industrielles, fait d'abord son apparition en mode DIY au milieu des années 2000. C'est la RepRap<sup>(248)</sup>, la première imprimante 3D en open

243 Imprimantes 3D, découpeuses laser, fraiseuses de précision (CNC), découpeuse vinyle, thermoformeuse, perceuses à colonne, scies sauteuse, fers à souder, etc.

244 Initié en 2009 pour faciliter et soutenir la croissance du réseau international de FabLab, la fondation est une organisation américaine à but non lucratif qui a émergé du programme de FabLab du Centre for Bits & Atoms du MIT. <https://fabfoundation.org/>

245 <https://fabfoundation.org/getting-started/#fablabs-full>

246 En particulier ceux de l'industrie, de l'informatique et de l'artisanat.

247 Broca, S. (2013). Ou une troisième révolution industrielle, *Utopie Du Logiciel Libre, Du bricolage informatique à la réinvention sociale*. Le Passager Clandestin. 214.

248 « Le projet RepRap.org d'Adrian Bowyer, docteur en tribologie (la science du frottement) et professeur à l'université de Bath en Angleterre. Il travaille spécifiquement sur l'autoréplication en ingénierie, issue de la biomimétique ». <https://fr.flossmanuals.net/reprap/historique/>



source<sup>(249)</sup>, qui inspirera la jeune génération de Maker. L'objectif du projet RepRap est avant tout démocratique. Il s'agit d'une machine de prototypage financièrement et techniquement accessible à tous, en kit, que l'on peut fabriquer soi-même avec des matériaux peu coûteux, et grâce à un mode d'emploi que l'on trouve dans de nombreux sites web du type wikis, blogs, forums. Fidèle à l'idéologie open source, le projet RepRap permet à des non-spécialistes de s'approprier l'outil, de comprendre comment réparer l'imprimante, la modifier et l'adapter à de nouveaux usages. Encore une fois, la seule contrepartie est de retransmettre ensuite ses propres expériences à la communauté des utilisateurs. Le projet RepRap s'appuie sur le concept d'autoréplication inspiré du « Constructeur Universel »<sup>(250)</sup> de John Von Neumann.

Il s'agit de concevoir puis utiliser une machine capable de construire à peu près tout, et en premier lieu, capable de se répliquer elle-même. Le principe d'autoréplication rejoint aussi une préoccupation économique, puisqu'elle permet de réduire les coûts de production, afin de multiplier de façon exponentielle le nombre de machines. En outre, la RepRap est capable de produire 70% de ses propres pièces, les autres parties étant constituées de produits de quincaillerie ordinaire. Le projet connaît des modifications et améliorations multiples, donnant lieu progressivement à de nouvelles versions commercialisées par d'autres entreprises, comme Markertbot<sup>(251)</sup>. C'est ainsi que s'ouvre la voie à la nouvelle généalogie d'imprimantes 3D, que nous connaissons aujourd'hui.

### 2.3 L'open hardware et la génération arduino

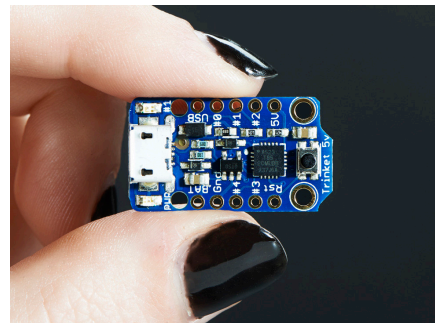
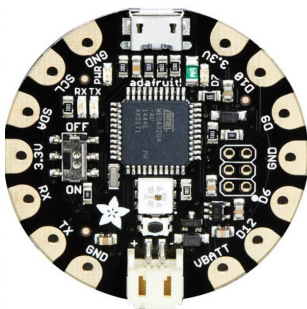
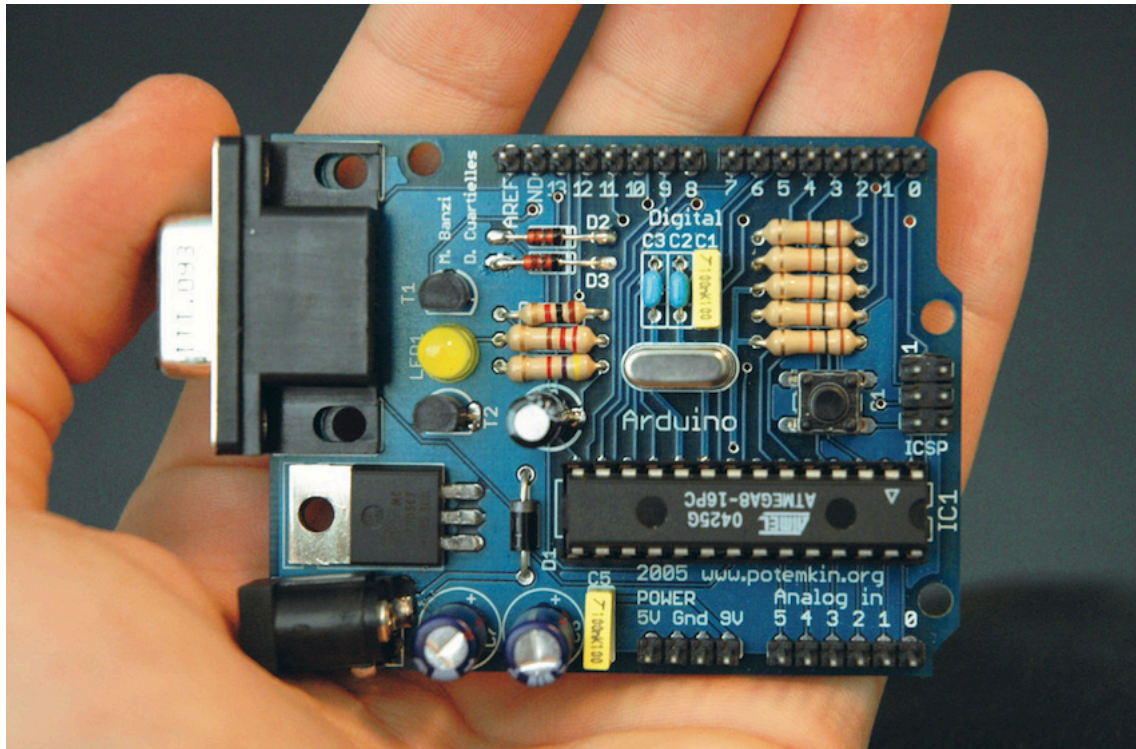
À partir du milieu des années 2000, la culture Maker, est marquée par l'essor de la micro-informatique en open source. Celle-ci donne naissance à une toute nouvelle génération d'objets intelligents, entrants désormais dans le mouvement du « matériel libre » ou open hardware ». L'objet précurseur de ce mouvement naissant, est le

---

249 [blog.reprap.org](http://blog.reprap.org)

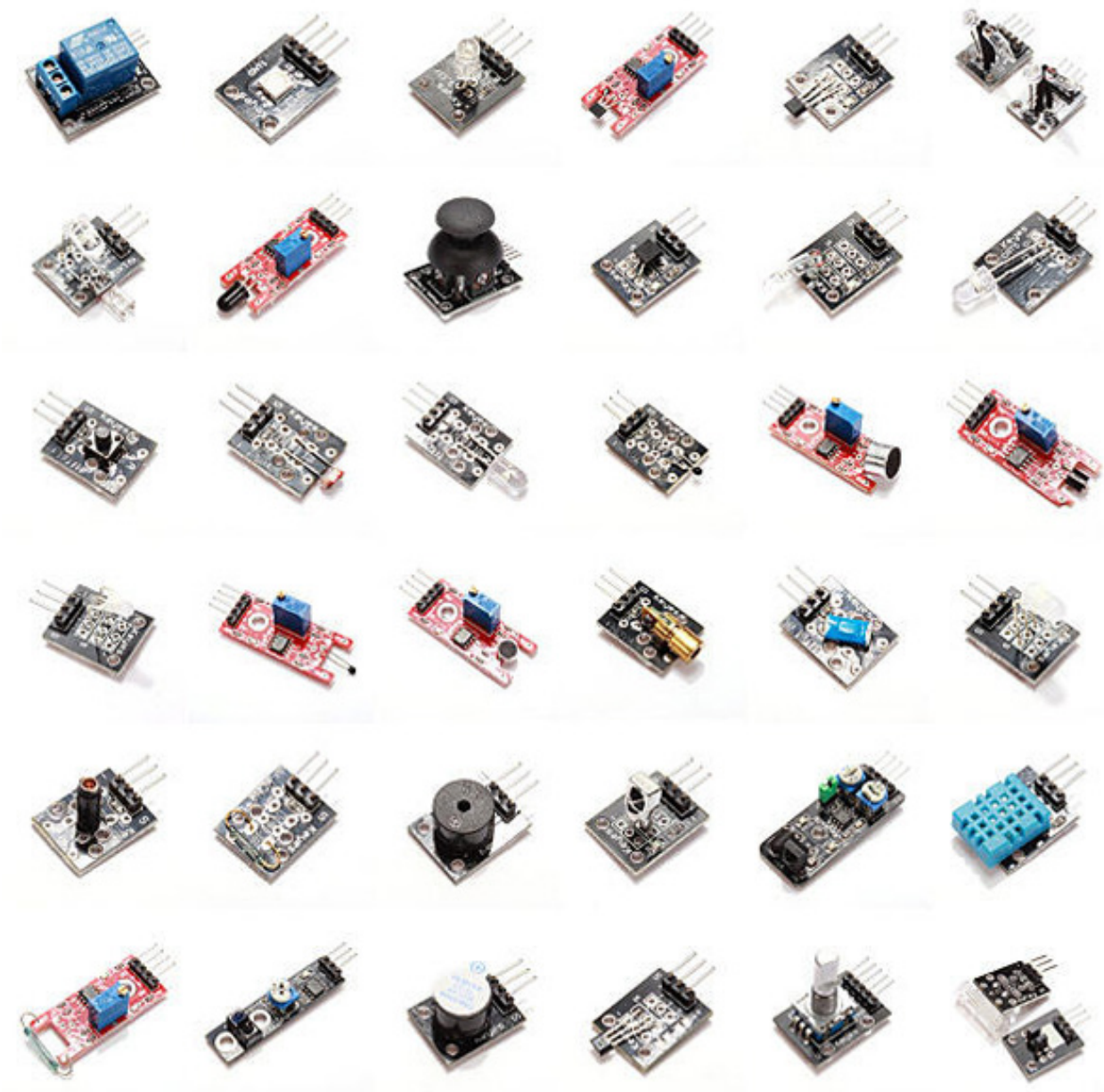
250 Pionnier, dans le domaine des technologies bio-inspirées, le mathématicien John von Neumann (1903-1957), figure emblématique du développement dans le domaine des ordinateurs, travaille sur la théorie des automates, développe le *constructeur universel* dans les années 1940. Il s'agit d'un automate cellulaire qui devint le point de départ des recherches sur les *machines autorépliquatives*. Une *machine autorépliquative* est une construction ou un système qui est théoriquement capable de fabriquer de manière autonome une copie d'elle-même en utilisant des matières premières prises dans son environnement.

251 *MakerBot Industries* est une compagnie fondée à Brooklyn qui se lance, au milieu de la décennie 2000 dans la fabrication des imprimantes 3D. MakerBot s'appuie sur le projet [Reprap](http://Reprap.org), avec pour objectif de rendre l'impression tridimensionnelle abordable pour les particuliers.



(fig. 74a) Micro Controller Arduino

(fig. 74 b) Micro Controller adafruit, micro : bit, nano



(fig. 75) Micro Controlers



mythique microcontrôleur Arduino<sup>(252)</sup> (fig.74,75). Il se présente sous la forme d'une petite brique électronique de la taille d'une boîte d'allumettes. Cette brique électronique, créée par les designers Massimo Banzi et David Cuartielles, permet de concevoir des objets interactifs, contrôlés par un programme informatique en open source<sup>(253)</sup>. Banzi et Cuartielles font donc figure de visionnaires du mouvement Maker<sup>(254)</sup>. Enseignant à l'École de Design d'Ivrea, Banzi explique que son invention est, au départ, destinée à aider les étudiants designers. Comme ces derniers n'ont pas de connaissances pratiques de l'électronique et de l'informatique, ils rencontrent de nombreux obstacles pour réaliser des maquettes interactives. Cette invention est motivée par l'idée que l'on peut apprendre l'informatique et l'électronique, en passant par des processus intuitifs, en bidouillant, en bricolant et en jouant. Banzi élabore une méthode dont il puise les ressources dans sa passion précoce pour les objets électroniques, objets qu'il a aimé bricoler lorsqu'il était enfant. Dans un ouvrage d'apprentissage à la conception interactive « *Getting Started with Arduino* »<sup>(255)</sup>, il évoque le fait que son intérêt lui vienne du jeu de construction Lectron, avec lequel il jouait enfant. Conçu par l'architecte et designer Dieter Rams, le jeu Lectron, édité par Braun en 1967, était destiné à l'éducation à l'électronique et ciblait autant les enfants que les étudiants. Il était composé d'une large gamme de petites briques, ressemblant à des dominos, se connectant magnétiquement les unes aux autres. Une fois que les blocs étaient organisés sur une plaque conductrice, ils pouvaient former une variété de circuits fonctionnels permettant de reproduire des objets électroniques de la vie courante. En outre, le design du jeu Lectron empruntait ouvertement sa ligne esthétique au jeu du Scrabble, montrant ainsi qu'il était aussi facile d'apprendre les principes fondamentaux de l'électronique que de combiner des mots sur un plateau de jeu scrabble<sup>(256)</sup>. À ce propos, et pour citer Bruce Sterling :

*According to Rams, the purpose was to dispel the "mystery of electronics" by encouraging children to engage in the construction of their own operational systems –light meters, electric thermometers,*

252 Arduino est une plate-forme libre de création d'objets électroniques à des fins artistiques, éducatives ou de recherche via la conception de prototypes. Elle repose sur l'utilisation d'un circuit électronique (un mini-ordinateur, appelé également microcontrôleur) comportant des entrées et sorties (des ports) sur lesquelles on peut brancher différents appareils. Côté entrée, des capteurs, (appareils) collectent des informations sur leur environnement, comme la variation de température via une sonde thermique, le mouvement via un détecteur de présence, le contact via un bouton poussoir, etc. Côté sortie, des (actuateurs) appareils agissent sur le monde physique, telle une petite lampe qui produit de la lumière, un moteur qui actionne un bras articulé, etc. Arduino comporte également un environnement de développement logiciel calqué sur celui de Processing. Il permet de programmer le circuit électronique. Arduino étant un projet dérivé de Processing, il apparaît donc comme une ouverture logique à la création interactive. Une fois que vous maîtrisez Processing, Arduino vous sera déjà familier.

253 Comme l'interface de programmation visuelle Processing.( processing.org)

254 « Massimo est un visionnaire avec une forte motivation pour rendre accessible le monde numérique au plus grand nombre, décrit Carlo Ratti, directeur du centre de recherche Senseable City Lab au Massachusetts Institute of Technology (MIT), fondateur du bureau de design Carlo Ratti Associati, qui a déjà utilisé Arduino pour différents projets. » Larousserie, D. (2019, juillet 4). *CeuxQuiFont : Massimo Banzi crée la carte électronique Arduino qui donne vie aux objets*. Le Monde.fr. [https://www.lemonde.fr/festival/visuel/2017/08/27/ceuxquifont-massimo-banzi-cree-la-carte-electronique-arduino-qui-donne-vie-aux-objets\\_5177137\\_4415198.html](https://www.lemonde.fr/festival/visuel/2017/08/27/ceuxquifont-massimo-banzi-cree-la-carte-electronique-arduino-qui-donne-vie-aux-objets_5177137_4415198.html)

255 Banzi, M., & Shiloh, M. (2011). *Getting Started with Arduino : The Open Source Electronics Prototyping Platform (Make)* (1re éd.). Make Media O'Reilly.

256 Veeneman, D. (2006, juin 7). *Lectron*. <http://www.decodesystems.com>. <http://www.decodesystems.com/lectron.html>



*tone generators, transistor radios, transmitters, etc. Most of the blocks have transparent plastic walls through which the electronic component housed can be directly observed, whilst the blocks upper surface is printed with the diagrammatic icon corresponding to its contents. It also came with a "recipe book" of different experiments to try with the included set of circuit "dominoes." It is an early attempt to get children interested in learning about physics, electricity and physical computing, a sort of "erector-set" for tiny electrical engineers. It is remembered fondly by those who were able to play with it growing up. According to some sites, Lectron (which hasn't been produced by Braun since the mid 1970s) is still in development (if you know German you can read about it here), but only for limited use... (257)*

Ainsi, en inventant le système Arduino, Banzi reproduit les kits de construction de Lectron. Il les adapte aux technologies actuelles, ainsi qu'à ses objectifs pédagogiques. Banzi souhaite enseigner à des concepteurs néophytes, le strict minimum en électronique et en programmation informatique, afin qu'ils puissent aborder et apprendre très vite les règles d'interactivité des objets, en jouant et en bricolant. Quelques années plus tard, Banzi commercialise à bas coût toute une gamme de produits et de microcontrôleurs Arduino. L'enseigne devient alors la marque vedette des concepteurs fréquentant les nouveaux Fablabs ou les hackerspaces. De leur côté, les étudiants en art, en design, en création numérique, en stylisme, en graphisme s'approprient librement « l'open hardware » et explorent, à leur manière, les potentialités des dispositifs interactifs. Ils inventent de nouvelles fonctionnalités, de nouveaux objets ; puis offrent leur recette à la communauté maker, en redistribuant leurs créations à d'autres créateurs... qui pourront à leur tour en tirer profit. Cela signifie qu'il est désormais possible de faire appel à une énorme communauté de créateurs qui utilisent Arduino, pour trouver des modèles déjà « préconçus » ou pour résoudre des problèmes techniques ou programmatiques. Peu à peu, l'Arduino ouvre la voie à d'autres constructeurs de « matériel libre »<sup>(258)</sup>, qui développent leur propre marque « compatible arduino »<sup>(259)</sup>. Les fournisseurs sont de plus en plus nombreux. Les marques et les modèles prolifèrent à une vitesse fulgurante. Ils ciblent une plus grande variété de publics, de moins en moins experts, et de plus en plus jeunes<sup>(260)</sup>. Apparaissent notamment sur le marché, des kits pédagogiques destinés aux milieux éducatifs<sup>(261)</sup>, des malles de jeux électroniques pour enfants, des équipements adaptés à différents supports matériels, tissus, papiers, qui laissent aux artistes et aux designers un large panel d'outils à explorer. Les nouveaux dispositifs électroniques se réduisent considérablement en taille et en coût (Nano Arduino, Femtoduino, ATtiny...) Les briques sont désormais agrémentées

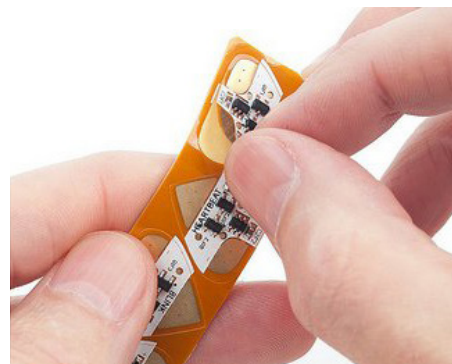
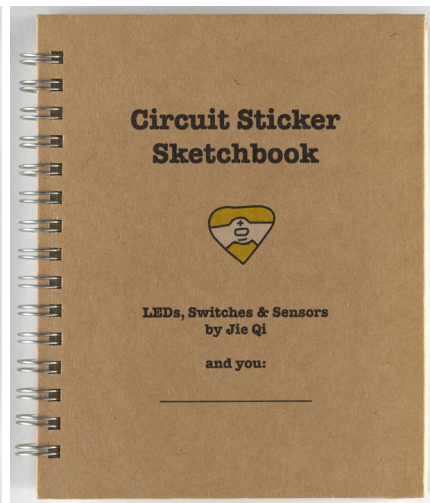
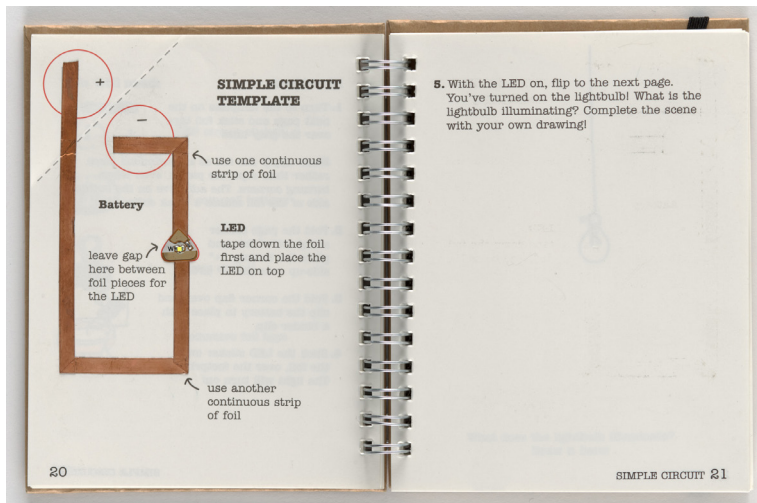
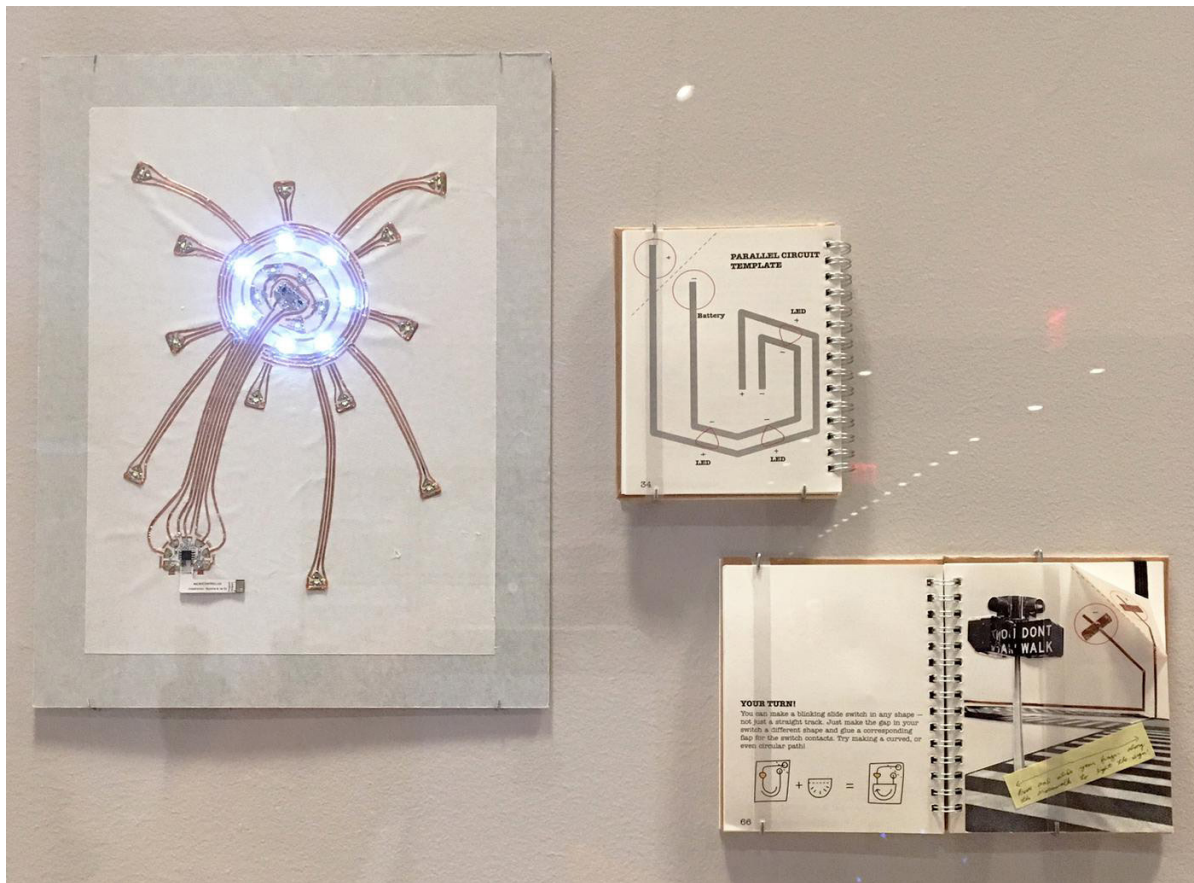
257 Sterling, B. (2010, mai 23). *The Braun Lectron System*. The Braun Lectron System | WIRED. <https://www.wired.com/2010/05/the-braun-lectron-system/>

258 Microduino, m-cookies, (<https://microduinoinc.com/>)

259 Raspberry pi , [Freeduino](#), [Sanguino](#), [Seeduino](#), [Uduino](#), [Diduino](#), etc...

260 Micro:bit (<https://microbit.org/>)

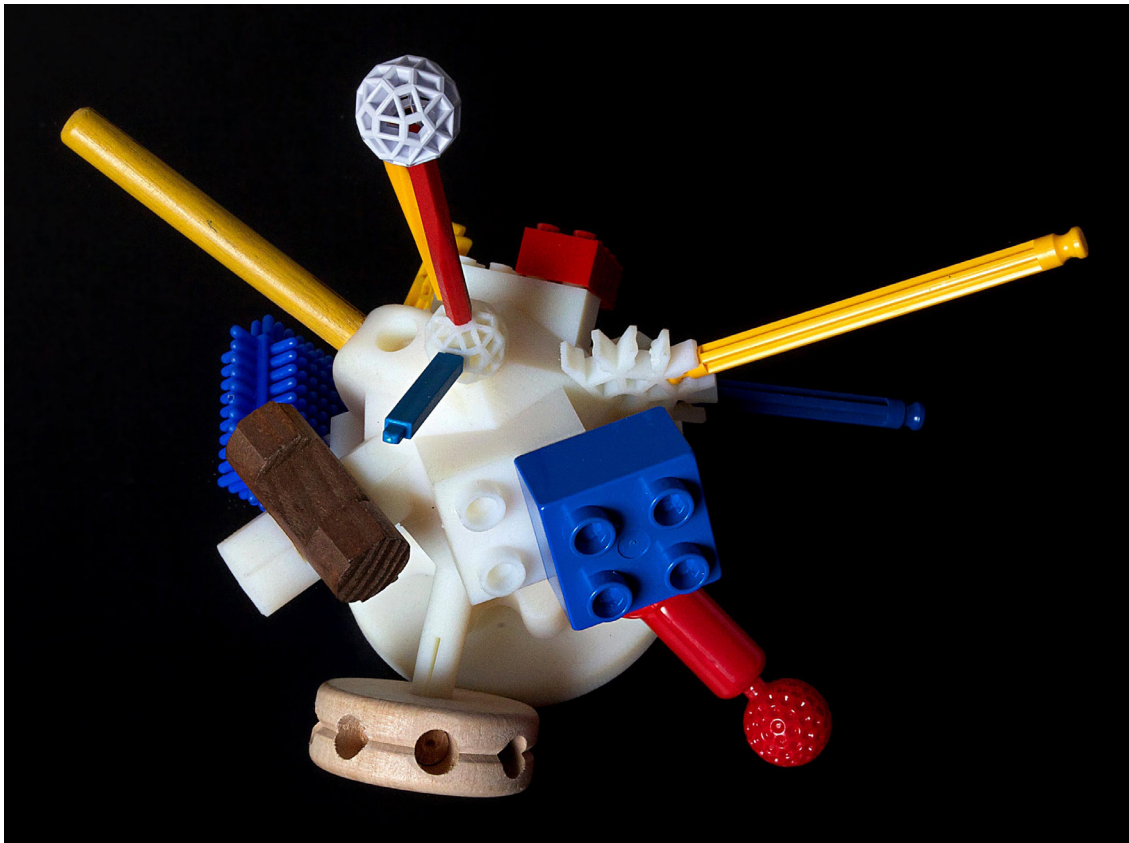
261 Comme le Kit de démarrage, Arduino Uno.



(fig. 76) Chibitronic,

Chibitronic propose une gamme de capteurs autocollants qui permettent de rendre interactif toutes sortes de création manuelle, dessins, tissus, objets... avec des moyens technologiques très simples d'utilisation. <https://chibitronics.com/>





(fig. 77) *Free Universal Construction Kit*, 2012.

**FAT-Lab**

*Le Free universal constructor kit*

*propose une panoplie d'adaptateurs permettant assembler différents jeux de construction pour enfants (LEGOs, Lincoln Logs, Tinker Toys . . .) Dans le but d'augmenter les possibilités de création d'univers et d'objets.*

*Les adaptateurs sont gratuits. Les modèles 3D peuvent être chargés téléchargés à partir de [Thingiverse.com](http://Thingiverse.com), en format STL, adapté à la reproduction par des dispositifs de fabrication personnels comme le Makerbot (une imprimante 3D open source peu coûteuse).*

de couleurs acidulées<sup>(262)</sup>. Elles s'assemblent aussi simplement que le Lego, se collent à des feuilles de papier (**fig.76**)<sup>(263)</sup>, ou se cousent sur du tissu<sup>(264)</sup>. Tous les supports, les matériaux, même les plus fragiles, peuvent dévoiler une forme d'interaction numérique, animé un dessin à la main<sup>(265)</sup> <sup>(266)</sup>, une image projetée sur un mur<sup>(267)</sup>.

En diffusant des produits peu coûteux, et facile à utiliser, Banzi explique par exemple à propos de la carte arduino : « *Pour une vingtaine d'euros, c'est devenu la vedette des bidouilleurs dans les espaces collaboratifs appelés fablab ou hackerspace, voire d'industriels. Environ trois millions d'unités ont été vendues, sans compter les contrefaçons ou les copies légales, puisque, en défenseur de l'open source, l'équipe a mis en accès libre les plans et les caractéristiques de ce mini-ordinateur.* »

Ce nouveau mode de fabrication d'éléments électroniques modulaires n'échappe pas à Lego dont la brique légendaire retrouve avec « l'open hardware » son heure de gloire. Elle devient universelle – en open source en quelque sorte – et partage son principe d'emboîtement à tenons avec d'autres briques électroniques, qui peuvent désormais s'associer à elle et l'agrémenter de nouvelles potentialités. Lego est considéré comme une sorte d'étalon à tous points de vue : les nouveaux kits électroniques lui empruntent son code couleur, son système d'emboîtement facilitant les assemblages des éléments entre eux, son format, son esthétique<sup>(268)</sup> <sup>(269)</sup> (**fig.77**). En laissant ouvertes ces multiples appropriations, le groupe Lego cherche à montrer son adhésion à l'idéologie Maker, en matière d'éducation et de transmission des savoirs :

*A makerspace is a creative prototyping workspace where makers gather to share knowledge, experiment, create, tinker and learn. LEGO® Education Maker empowers every student, at all grade levels, to follow their curiosity wherever it leads them, in a safe, inspiring, and instantly accessible environment. The LEGO® brick, with its simple and intuitive building system, is the perfect prototyping tool. Students start exploring with a handful of LEGO bricks and begin to create, test, build and rebuild. As they work toward their ultimate goal, they continuously modify, retest and rebuild.*<sup>(270)</sup>

262 <https://www.littlebits.cc>

263 Chibitronic, <https://chibitronics.com/>

264 Lilypad.

265 BareConductive, <https://www.bareconductive.com/>

266 Circuitscribe, <https://circuitscribe.com/>

267 Paperduino, <https://makezine.com/2009/05/10/paperduino/> <https://makezine.com/2011/12/19/paper-arduino-leonardo/>

268 M-cookie (<https://microduinoinc.com/mcookie/>)

269 Connecteurs de LEGO "The Free Universal Construction Kit" créés par Free Art & Technology. F.A.T. Lab. (2012, 20 mars). *The Free Universal Construction Kit* | F.A.T. <http://fffff.at>. <http://fffff.at/free-universal-construction-kit/>

270 Lego Education. (s. d.). *Makerspace - LEGO® Education*. <https://education.lego.com>. Consulté 10 juin 2020, à l'adresse <https://education.lego.com/en-us/makerspace>



Ainsi, l'arrivée du « matériel libre » (l'open hardware) – qui constitue aussi l'un des pans du mouvement maker – produit l'équivalent de ce que le mouvement du logiciel libre ou de l'open source a accompli pour la gratuité et l'accès aux logiciels. D'une certaine manière, les communautés de programmeurs qui ont créé le système d'exploitation Linux ont fait place aux nouvelles communautés de Makers (aux hackers). Ils préconisent alors le « quasi » libre accès aux composants électroniques, en diffusant des produits peu coûteux et faciles à utiliser. Ce qui était à ses débuts un mouvement culturel, une fascination envers les nouveaux outils de prototypage numérique commence à devenir un mouvement économique du fait de l'élargissement au monde réel et tangible les échanges qui n'étaient que virtuels et en ligne.

## CHAPITRE 3 :

## La révolution maker et la contre-culture éducative

### 3.1 Les enfants makers

Parallèlement à l'émergence de l'« open hardware » et plus largement des technologies électroniques DIY, la culture de l'open source fait place à de nouvelles interfaces de programmation et de langage orientées vers l'objet. Sur fond d'une certaine anxiété critique face à un futur entièrement assisté par le numérique, le code informatique et le bricolage électronique commencent à s'imposer comme une nouvelle langue universelle. Langue qu'il faudrait enseigner et apprendre aux plus jeunes. Richard Stallman évoque, dans un entretien avec la revue *Hermès* l'urgence d'éduquer un jeune citoyen au numérique et à la pensée du « libre » :

*« Les politiques actuelles de l'industrie numérique sont profondément injustes et les systèmes scolaires ne leur ont pas résisté. Au contraire, elles créent une dépendance des élèves par rapport aux industries qui développent des programmes privés, comme Microsoft, Apple, Adobe, et la sèment au sein de la société. Un programme non libre soumet nécessairement l'utilisateur au pouvoir du propriétaire du programme et le rend dépendant. »<sup>(271)</sup>*

Richard Stallman précise que pour s'approprier la « liberté de base » qui consiste à « pouvoir contrôler un programme librement et gratuitement, c'est-à-dire accéder au code source et l'adapter à ses propres désirs », il faut préalablement développer des moyens collectifs qui commencent par l'éducation, car « elle représente aussi une chance pour les citoyens d'être formés à la liberté à un moment de leur vie »<sup>(272)</sup>. Car déjà, certains des plus gros acteurs du monde de la CAO professionnels surfent sur la vague en tentant de séduire les jeunes cibles, espérant gagner de nouveaux marchés. Ces

271 Stallman, R. M. (2017). Le libre comme alternative pour l'école contemporaine. *Hermès, La Revue*, 2(78), 104107. <https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2017-2-page-104.htm>

272 *Ibid*

géants industriels tournent leur attention vers le marché émergent des makers et ciblent les enfants. Autodesk<sup>(273)</sup>, par exemple, diffuse des logiciels de conception en 3D simplifiés et gratuits, avec lesquels on peut s'initier à la modélisation d'objets ludiques, imprimables dans n'importe quel Fablab local.

### 3.2 Le mouvement STEAM

L'amplification du mouvement Maker vers des ambitions éducatives a profité de la large diffusion d'informations issue de la revue américaine Make et de son action de diffusion au travers de « Makefaire ». Il s'agit de promouvoir des événements liés aux pratiques des makers, partagés à des échelles plus ou moins larges. Leur objectif est en partie éducatif, comme l'indique ce texte encadré que l'on peut lire sur le site web Makefaire :

*« Sensibiliser les nouvelles générations est un enjeu central. La nouvelle économie qui se profile a besoin de la créativité des générations futures. Une révolution des esprits s'impose. Pour cela, il faut, le plus tôt possible, expliquer aux enfants qu'ils peuvent avoir une emprise sur le monde physique, porter des projets. »<sup>(274)</sup>*

Makefaire se présente comme le plus grand événement au monde qui regroupe des ateliers, des présentations et des conférences autour des thèmes de la créativité, de la fabrication et du mouvement DiY. Il est conçu pour tous les adeptes des technologies, artisans, éducateurs, inventeurs, hobbyistes, ingénieurs, clubs de sciences, auteurs, artistes ou encore étudiants. Tous ces makers viennent à Makefaire pour présenter ce qu'ils font et partager ce qu'ils ont appris, avec un public composé de familles, de professionnels et d'amateurs curieux de découvrir leurs innovations.

Dans la déclaration précitée, ce mouvement cherche à se dissocier du monde éducatif de l'école où les enseignants, les formateurs « n'apprennent plus aux enfants à faire eux-mêmes ». Les enjeux de l'apprentissage et de l'acquisition des nouveaux savoir-faire par les enfants prennent désormais une place essentielle dans l'idéologie « libriste »<sup>(275)</sup>, qui devient le creuset où s'élabore une contre-culture éducative. Celle-ci se structure autour de nouveaux protocoles d'innovations pédagogiques, comme

273 L'outil le plus utilisé dans les métiers de la construction et de l'aménagement (architectes, ingénieurs, géographes, urbanistes).

274 Cité dans Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. (2018a). Des Shakers aux Makers Fragments de généalogie. Dans *Makers, Enquête sur les laboratoires du changement social* (p. 25). Seuil Sciences Humaines.

275 Broca, S. (2013). *Op.cit.* Le libre comme méthode. 358-360.

la méthode anglo-saxonne STEAM <sup>(276)</sup> <sup>(277)</sup>, initiés au Rhode Island School of Design (USA) dans les années 2010. Le mouvement pédagogique STEAM mise sur la transdisciplinarité avec l'art et le design pour intéresser les enfants à la culture technologique et informatique<sup>(278)</sup>. Plus précisément, la méthode STEAM s'inspire du processus et des outils créatifs des artistes, des architectes et des designers considérés comme intuitifs<sup>(279)</sup>. Cette méthode intègre des outils création de formes, d'objets, de dessins, proches de ceux des artistes, qui facilitent la représentation des concepts scientifiques. De plus le STEAM s'intéresse à une certaine famille de jeux dans laquelle coexiste une stratégie formelle, ou spatiale, de construction et de déconstruction, qui s'apparente à une démarche de conception de projet dans sa phase d'expérimentation. Le STEAM réhabilite ainsi les jeux d'aide à la conception dite « pédagogique », empruntant son idéologie aux théories constructivistes et aux méthodes de Jean Piaget, de Seymour Papert<sup>(280)</sup>, ainsi qu'aux modèles de conception formelle et plastique de Friedrich Fröbel et Maria Montessori<sup>(281)</sup>. Le STEAM défend l'efficacité fondamentale des pratiques manuelles et ludiques, dans le développement cognitif. Il s'agit – au travers des processus méthodologiques qui permettent aux enfants d'identifier des problématiques – d'imaginer des solutions, de travailler sur des projets à plusieurs, de matérialiser tous types de concepts complexes, de partager des inventions de manière conviviale, et sans obligations de résultat. L'idée du STEAM vise en réalité à transformer l'école en « laboratoire ouvert », et « libriste » en créant en quelque sorte un nouveau point de contact entre le mouvement maker et les anciennes théories pédagogiques constructivistes<sup>(282)</sup>.

276 Science, Technology, Engineering Art and Mathematic

277 Holzman, L. (2017, 3 août). *From STEM to STEAM to Developmental Learning. Our future scientists and engineers need to play.* <https://www.psychologytoday.com>. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/conceptual-revolution/201708/stem-steam-developmental-learning>

278 Roberge, A. (2018, 25 juin). *La méthode STEAM : comment intégrer des approches artistiques en sciences.* <https://cursus.edu>. <https://cursus.edu/articles/41758/la-methode-steam-comment-integrer-des-approches-artistiques-en-science>

279 School Education Gateway. (2018, 2 mai). *Apprentissage dans le domaine des STEAM : des projets européens combinant science et arts.* [schooleducationgateway.eu](https://www.schooleducationgateway.eu). <https://www.schooleducationgateway.eu/fr/pub/latest/practices/steam-learning-science-art.htm>

280 "Their origin story is rooted in the thinking of Seymour Papert, the MIT-based education theorist and author of the 1980 book, "Mind Storms: Children, Computers, and Powerful Ideas," and in 1993's "The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer." Papert, a computer scientist and a learning theorist was in turn inspired by the work of the famous cognitive psychologist, Jean Piaget, among whose concepts was Constructivism, the idea that children learn very well when they are encouraged to explore and then construct their own meaning from their experiences. Papert focused on taking concepts like Active Learning and designing tools for children to use that would realize them." Gura, M. (2020, 12 mai). *A Closer Look at Learning with A Great STEAM Tool.* EdTech Digest. <https://edtechdigest.com/2020/05/12/a-closer-look-at-learning-with-a-great-steam-tool/>

281 "The new innovation of the [Osmo Little Genius Starter Kit](#) combines proven hands-on play of Friedrich Fröbel's and Maria Montessori's manipulatives with advanced computer vision for a personalized and highly engaging experience. To create this incredible new, "tangible" learning experience, Osmo used its AI technology and design-based research for the development process. The result is a system best-suited for the 3-5 age group that helps nurture core developmental skills including: vocabulary, letters, emotions, problem solving, and creative confidence." Scholler, J. (2019, 22 août). *Press Release : First Fröbel, then Montessori, now Osmo is re-inventing the way preschoolers learn with new age building blocks.* Osmo Blog. <https://www.playosmo.com/blog/press-release-first-frobel-then-montessori-now-osmo-is-re-inventing-the-way-preschoolers-learn-with-new-age-building-blocks/>

282 Roffey, T. (2017, 24 janvier). *Constructionism & Constructivism.* Makerspace for Education. <http://www.makerspaceforeducation.com/constructionism--constructivism.html>





(fig. 78) Cubetto Primo-arduino, 2014

**Tangible programming blocks**

**Filippo Jacob, Matteo Loglio**

Le Cubetto Playset, une interface tangible en bois conçue pour introduire la logique de programmation aux très jeunes enfants qui ne savent ni lire ni écrire. Le Cubetto peut piloter un petit robot, équipé d'un feutre, que l'on peut programmer, avec des instructions et des fonctions simples, pour réaliser des dessins.

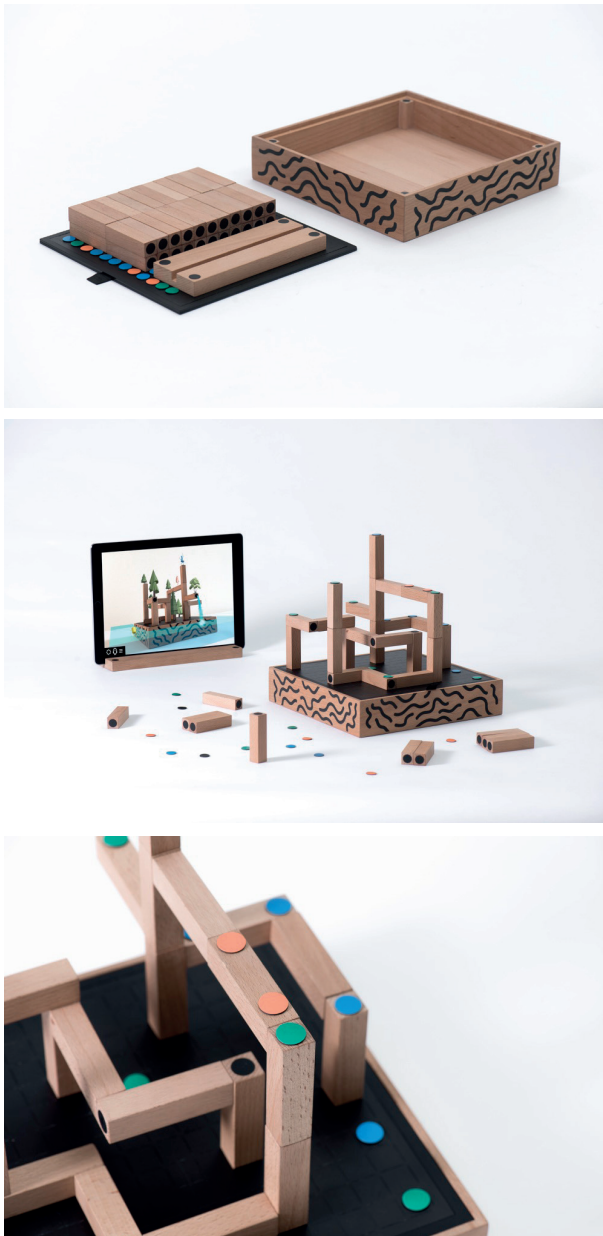


**(fig. 79) Osmo, 2015**

Les jeux Osmo sont de véritables outils d'aide à la conception destinés aux enfants. Les blocs Osmo, captés par la caméra Osmo, reproduisent en « vraies pièces de jeu » les fonctionnalités de l'interface Awbie, pensée sur le modèle de LOGO. L'idée d'Osmo est d'inciter les enfants à se servir de leurs mains pour apprendre à concevoir des jeux numériques, c'est-à-dire les dessiner, à les coder, puis à les animer en jouant.

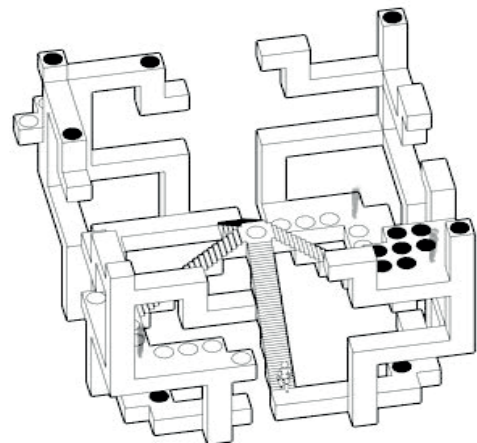
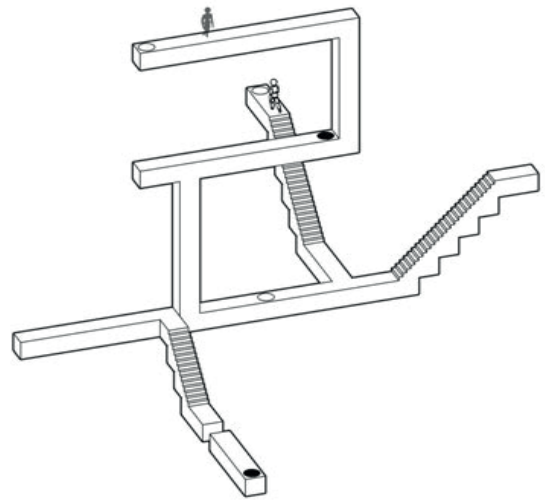
« Osmo a réussi l'alliance entre la découverte par le toucher (l'enfant joue avec de « vraies » pièces de jeu) et la technologie : chaque enfant devient acteur de son processus d'apprentissage. »





**(fig. 80a) Koski, 2016 — Echochrome**  
**Jakub Pollág and Václav Mlynář, architecte et designer.**

«KOSKI est un jeu de blocs de construction en réalité mixte. Il s'agit d'une combinaison de blocs de bois réels et d'une application virtuelle qui facilite le jeu numérique et interactif. À l'aide d'une tablette ou d'un smartphone, les structures assemblées à partir des blocs prennent vie. Une fois qu'un joueur commence à interagir avec les blocs, le jeu commence à révéler ses mondes, personnages et histoires cachés. KOSKI est une plate-forme de jeu multigénérationnelle et interconnectée qui ouvre de nouvelles façons imaginatives de jouer, individuellement ou avec d'autres.»  
 Koski reprend l'esthétique du jeu vidéo Echochrome inventé en 2008, et réhabilite ce dernier en jeu de plateau traditionnel.  
<https://etapes.com/koski-le-jeu-de-construction-en-realite-augmente/>



**(fig. 80 b) Echochrome, 2008**  
**Jun Fujiki**

Echochrome est un jeu vidéo basé sur l'illusion d'optique. Un personnage marche sur une construction en 3D située au milieu du vide et composée de plusieurs blocs isolés. C'est le joueur qui contrôle l'orientation de la structure et le but du jeu est de trouver une perspective qui permette au personnage d'évoluer de bloc en bloc, en dépit de la logique.



**(fig. 81) Technology Will Save Us, 2012**

La société a été fondée en 2012 à Londres, en Angleterre par Bethany Koby et Daniel Hirschmann. Technology Will Save Us fabrique des kits de fabrication de jouets électroniques dans l'esprit Do It Your Self, basés sur le recyclage des jeux électroniques obsolètes. L'objectif est de sensibiliser les enfants à la relation du consommateur moderne avec la technologie.



### 3.3 Les jeux éducatifs du STEAM

Nombre d'éditeurs de jeux éducatifs s'intéressent au STEAM, cherchant évidemment à conquérir de nouvelles cibles.

Déjà impliqué dans le mouvement Maker<sup>(283)</sup>, le groupe Lego, s'inscrit dans le programme STEAM, et lance une gamme de produits ludiques sous le label « hands-on LEGO® Learning »<sup>(284)</sup> avec sa filiale Lego-Education<sup>(285)</sup>. Afin d'équiper les nouvelles écoles alternatives et leurs éducateurs, le « hands-on LEGO » propose toute une panoplie de nouveaux jeux de construction, orientés sur l'apprentissage de la culture technologie et informatique, pour la plupart dérivés du Lego Mindstorm<sup>(286)</sup> : Coding express, Wedo... D'autres éditeurs de jeux éducatifs labélisés « STEAM » apparaissent sur le marché, avec des modalités techniques adaptées à différents publics, enfants, étudiants. Ces jeux, la plupart du temps « compatibles » Lego, gagnent peu à peu en simplicité, et en qualités plastiques. Ils deviennent des matériaux de conception pour de nouveaux modèles qui revendiquent leur appartenance au mouvement maker et au DIY (**fig.78**). Leur but est d'inciter les enfants à l'autoproduction de leurs propres jeux, hybridant l'électronique numérique avec des matériaux aux qualités esthétiques et tactiles nobles comme le bois<sup>(287)</sup> (**fig.79,80**) Les matériaux peuvent aussi être fragiles, économiques, recyclables, faciles à découper, à plier, à assembler comme le contre-plaqué, le papier, carton<sup>(288)</sup>, reprenant parfois les formats de jeux de table traditionnels pour les faire revivre à l'ère des technologies makers<sup>(289)</sup>(**fig.81**).

Les pédagogies dites constructivistes STEAM réactualisant les théories de Jean Piaget et de Seymour Papert, sont proposées dans les tiers lieux d'enseignement alternatif (Fablabs, makerspaces, hackerspaces...) qui s'ouvrent peu à peu à côté des écoles traditionnelles. En apprenant à manipuler les technologies de manière inventive, à l'écart des contingences de l'éducation standardisée, les enfants créent leurs propres projets éducatifs. Ils apprennent en donnant vie à leurs jeux, à mi-chemin entre le monde numérique et le monde physique, en bricolant de l'électronique et du code

283 Lego Education. (s. d.). *Makerspace - LEGO® Education*. <https://education.lego.com>. Consulté 10 juin 2020, à l'adresse <https://education.lego.com/en-us/makerspace>

284 <https://education.lego.com/en-us/steamlarning>

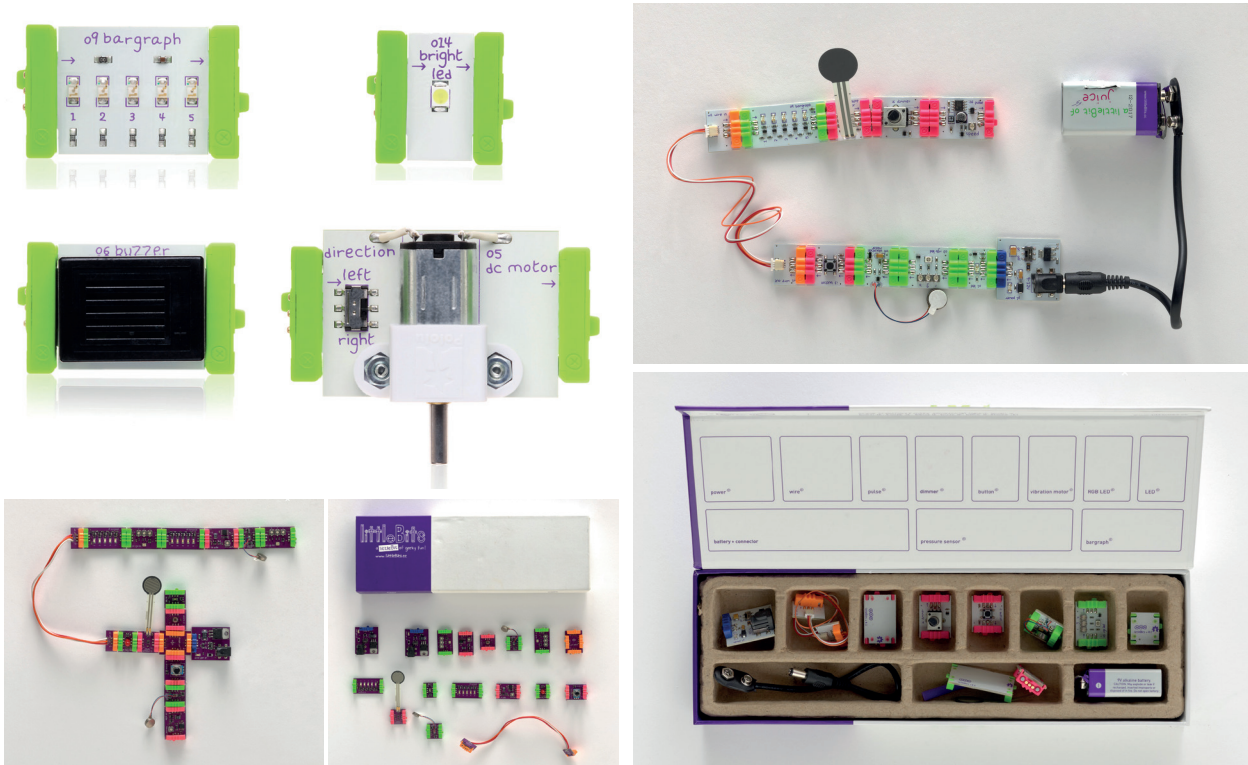
285 <https://education.lego.com/en-us/discover#Products>;

286 Co-conçu à l'origine par le MIT Medialab sous la direction de Seymour Paper.

287 Par exemple le jeu Cubetto développé par Primotoys (voir Arduuniono primo).

288 Technology Will Save Us, entreprise fondée par les designers Bethany Koby et Daniel Hirschmann, en 2012 à Londres ; Technology Will Save Us. (2020, 15 mai). *Educational STEM Toys For 4-11 Year Olds*. Tech Will Save Us. <https://www.techwillsaveus.com/>

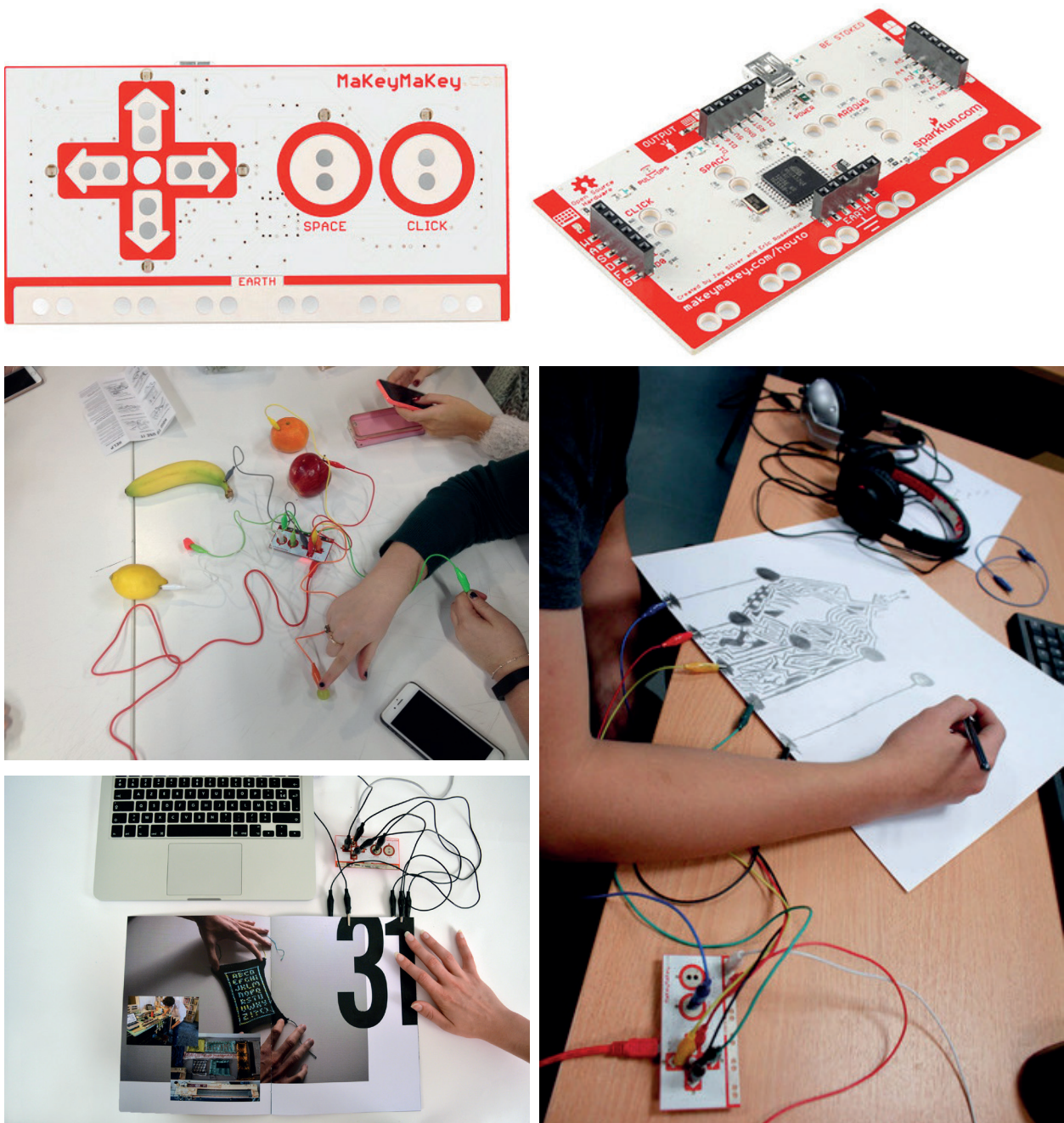
289 Osmo, <https://www.playosmo.com> Marbotic, a European technology leader in creating playful experiences for early learners.



(fig. 82) Littlebit, 2016

Ayah Bdeir, designer

«At littleBits, our mission is to empower everyone to create inventions, large and small. littleBits makes it easy for both teachers and students to engage in STEAM by using a universal, 21st-century language: electronic building blocks. We are surrounded by technology every day and yet have little idea how it works or how to create with it. littleBits changes that. The intuitive, color-coded Bits each have a specific function each have a special function (ie. motion, lights, sound, sensors, internet connectivity), and all the bits snap together with magnets to make larger circuits. Building circuits is simple and intuitive, allowing students to create powerful, sophisticated electronics in a matter of seconds. With an ever-expanding library of bits, educators and students can grow their collection and engage in increasingly complex projects as their understanding of the system and Bits grows. A global community of educators is using littleBits to ignite their students' curiosity and engage them in active inquiry and problem solving. The flexibility of the Bits mean students of all ages and abilities can use them to create very simple or very complex inventions. Both novice and experienced educators use littleBits as a cross curricular, multisensory tool to reach students through multiple learning modalities»  
 Educator's Guide Introducing littleBits, Ayah Bdeir

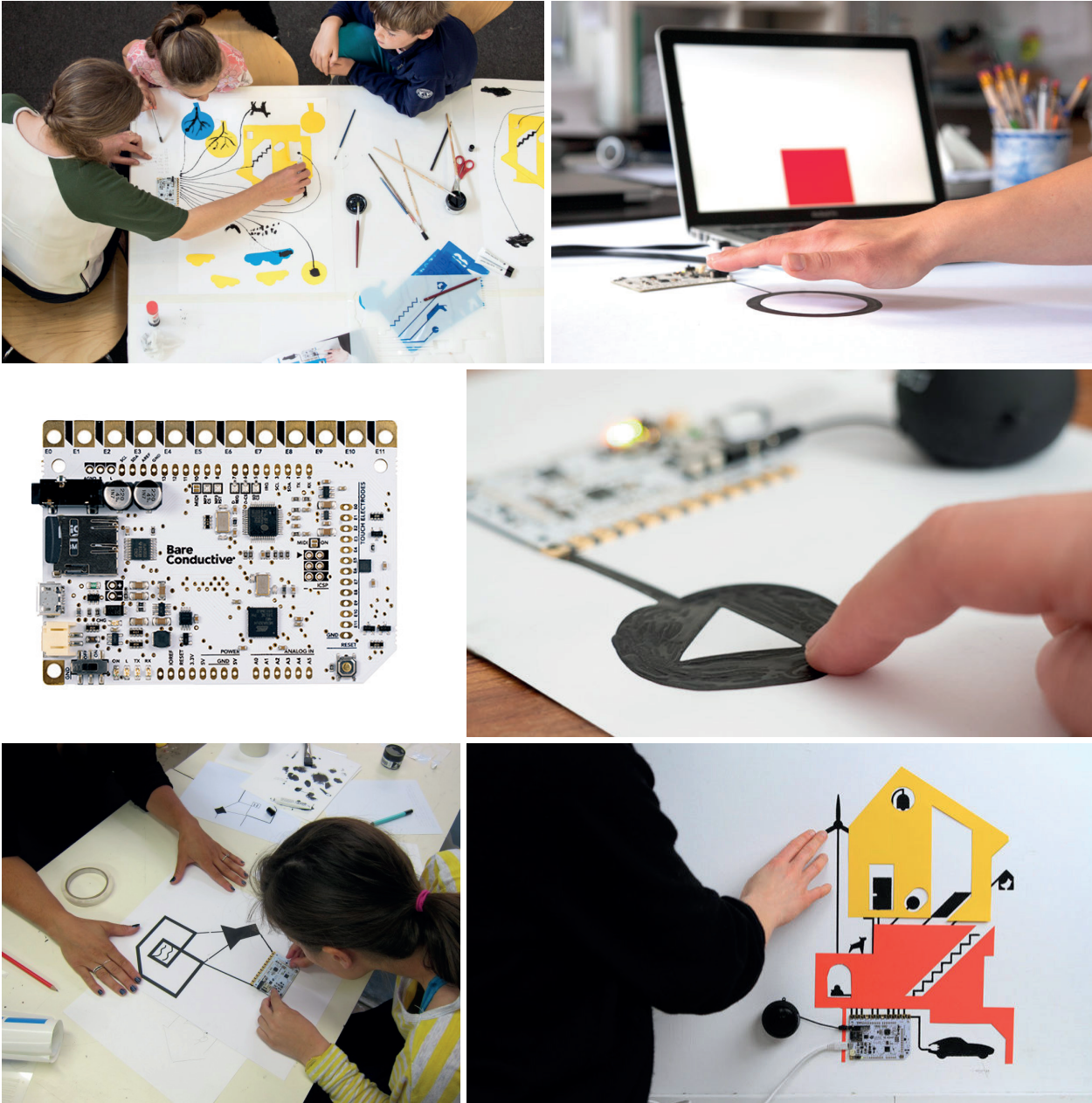


(fig. 83) Makey Makey, 2012

Jay Silver, Eric Rosenbaum

MaKey MaKey est un des kits d'expérimentation et de découverte de l'univers des objets interactifs. Il permet de transformer n'importe quel objet banal en détecteur sensible (en « touchpad »). Conçu au départ pour les enfants, il s'adresse aussi aux étudiants, aux artistes et aux designers qui souhaitent explorer l'interactivité sans pour autant avoir les compétences de l'ingénierie.

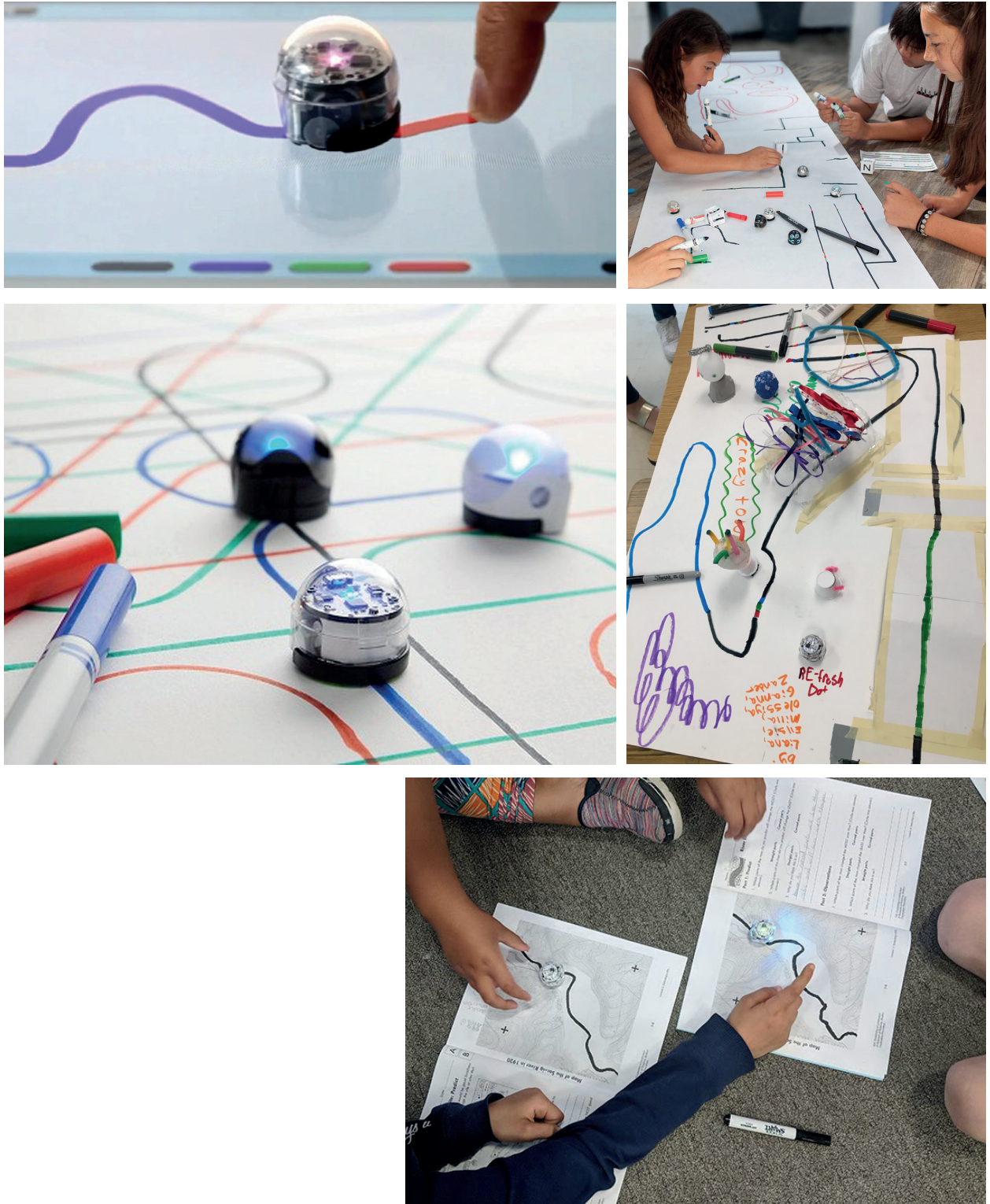




(fig. 84) Bareconductive, 2009

Bare Conductive développe une gamme de composants électroniques qui s'utilisent avec de l'encre conductrice d'électricité. Elle permet de dessiner des circuits électriques, d'animer des dessins ou de réaliser des interfaces tangibles avec du papier.





**(fig. 85) Ozobot, 2015**

Ozobot, que l'on programme avec l'application OzoBlockly, est le plus petit des robots conçus pour l'initiation à la programmation. Ozobot est doté de capteurs de couleurs qui lui permettent de suivre une ligne mais aussi de réagir en fonction de la couleur de la ligne (changement de direction, vitesse, etc.). On peut ainsi tracer des parcours sur une simple feuille de papier, et poser les robots qui se déplaceront sur les lignes dessinées à la main. Ozobot permet de créer et d'animer des jeux avec des moyens très simples (papier, feutres, peinture...).

<http://ozobot.fr/>

grâce à des outils très simples et peu coûteux<sup>(290)</sup>. Les enfants ont désormais accès aux imprimantes 3D, aux couleurs acidulées, pour reproduire ou fabriquer n'importe quel objet : ils conçoivent des jeux tangibles, avec des supports graphiques dessinés aux feutres. Ils s'exercent sur des mini-cartes Arduino et des mini-capteurs qui s'assemblent comme des briques de Lego<sup>(291) (292)</sup> (**fig.82**). Ils apprennent dès lors les bases de l'informatique « new-age », en manipulant des bananes, des pommes de terre, de la pâte à modeler, et ce en guise de « contrôleurs de jeu »<sup>(293)</sup> (**fig.83**). Pour animer leurs feuilles de papier de son ou de lumière, ils dessinent avec des encres conductrices des paysages qui ressemblent à des « circuits imprimés »<sup>(294) (295)</sup> (**fig.84**). Ces mêmes paysages de papier dessinés avec de simples feutres de couleur suffisent à guider des objets interactifs au gré de lignes et de trajectoires, formant des plans, des cartes qui rappellent les traditionnels jeux de plateau.<sup>(296)</sup> (**fig.85**).

### 3.4 Jeux de construction et Interfaces tangibles d'aide à la conception

Pour légitimer cette « tendance », les nouveaux projets éducatifs réhabilitent les réflexions sur les interfaces tangibles, et en particulier la manipulation à l'aide des blocks de constructions interactifs. La plupart du temps conçue dans le cadre de projets universitaires par des designers associés à des développeurs en programmation numérique, la manipulation s'appuie sur les anciennes théories constructivistes. Désormais, on apprend l'écriture du code ou la construction en trois dimensions grâce aux méthodes Montessori<sup>(297)</sup> ou Fröbel. Il s'agit d'un « matériel éducatif » agrémenté de nouvelles potentialités électroniques et numériques, que l'on peut fabriquer et reproduire à moindre coût, grâce aux machines de prototypage en open source (imprimantes 3D, découpe laser, arduino, logiciel libre...).

290 <https://www.techwillsaveus.com/future-inventors/>

291 Microduino, mcookie

292 Littelbit

293 <https://makeymakey.com/>

294 BareConductive, <https://www.bareconductive.com/>

295 Paperduino (<https://makezine.com/2009/05/10/paperduino/>)

(<https://makezine.com/2011/12/19/paper-arduino-leonardo/>)

296 Ozobot, <https://ozobot.fr/jouer/>, <https://ozobot.com/>

297 Matar, A., & Legal, P. (2019, 10 octobre). *La méthode pour apprendre à coder dans l'esprit Montessori*. colori education. <https://www.colori.education/>

L'article « Extending Tangible Interfaces for Education : Digital Montessori-Inspired-Manipulatives »<sup>(298)</sup> publié dans le cadre de CAAD, avec pour auteurs, Ozen Zukerman et Mitchel Resnick du MIT Medialab, présente une nouvelle classification des interfaces tangibles. À base de blocks de construction physique : les MiMs (« Montessori-inspired Manipulatives ») et le FiMs (Fröbel-inspired Manipulatives), les auteurs expliquent ce nouveau mode de fonctionnement :

*We argue that FiMs are design materials, fostering modeling of real-world structures, while MiMs foster modeling of more abstract structures. We show that our classification extends to computationally enhanced versions of manipulatives [...] Until now, the physical objects designed by Fröbel, Montessori, and others have been collectively called "Manipulatives". We offer a new classification: "Fröbel-inspired Manipulatives" (FiMs) and "Montessori-inspired Manipulatives" (MiMs). FiMs are building toys, enabling children to design real-world things, objects, and physical structures. For example, using wooden blocks to build a structure that resembles a castle. MiMs are a set of building blocks too, but are primarily focused on modeling conceptual, more abstract structures. For example, arranging Cuisenaire rods in different configurations that make numerical proportions more salient. FiMs encourage design while MiMs encourage more limited exploration, striving to make abstract concepts more salient.*<sup>(299)</sup>

En d'autres termes, les auteurs considèrent que les interfaces tangibles à base de blocks – Digital Manipulative – se divisent désormais en deux grandes familles. Les « Digital MiMs » dédiés à l'apprentissage des concepts abstraits dans différents domaines de connaissances : la programmation, les concepts informatiques, et la simulation de comportement dynamique, le calcul paramétrique, probabilité, la rétroaction (feedback) ; et les FiMs axés sur la construction d'univers ou d'objets ludiques, qui fonctionnent par analogie entre la structure physique, et la représentation numérique. Les FiMs sont des matériaux de conception qui favorisent la modélisation et l'animation interactive d'objets réels ou de jeu virtuel, orienté en grande partie sur l'apprentissage de l'électronique « embarqué ». Tandis que les MiMs sont utilisés pour la visualisation et l'expérimentation de systèmes complexes, plus adaptés à l'apprentissage du langage informatique. Cette classification donne une orientation à toute une nouvelle génération de matériaux tangibles qui se distinguent en deux grandes familles, l'une orientée vers l'apprentissage des concepts scientifiques ; l'autre plus adaptée à l'approche de la modélisation ou à l'animation d'univers narratif multimédia et transmédia.

L'architecture arrive difficilement à s'appropriier les nouveaux idéaux du STEAM, tant elle cherche indéfiniment à se distancer de la culture dite « créative » incarnée par le

298 Zukerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '05*, 4556. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055093>

299 *Ibid*

mouvement Maker, alors que l'art, le design et l'artisanat se l'approprient généreusement. Pourtant, certaines écoles d'architectures s'intéressent de près au STEAM et élaborent des outils de conception ludique à destination des enfants. En réalité, il s'agit pour eux de démontrer que les pratiques pédagogiques de la conception architecturale (plus particulièrement l'apprentissage par le projet qui garantit l'accès à la liberté créative) peuvent servir de modèles à d'autres champs disciplinaires ou d'autres cadres générationnels. En ciblant en particulier l'apprentissage pour les enfants, l'architecture cherche donc à s'inclure dans le mouvement, en défendant une « science du design », dédiée à l'étude des processus conceptions architecturaux, dans le but de créer des outils exportables vers d'autres disciplines éducatives connexes. Toutefois, cette démarche tend à considérer les outils comme ayant un potentiel créatif très utile pour les méthodes éducatives alternatives. Cette « science du design » a donc pour vocation de s'associer aux autres disciplines académiques autour d'une réflexion commune de la pédagogie du STEAM. L'architecte Mark D Gross, professeur de conception numérique à l'école d'architecture de l'Université Carnegie Mellon écrit à ce propos : « *Nous manquons encore d'une science fondamentale cohérente du design (une compréhension de la structure de la prise de décision en matière de design, abstraite de domaines spécifiques).* »<sup>(300)</sup> Cet ancien membre du MIT Logo Lab<sup>(301)</sup> et l'Architecture Machine Group<sup>(302)</sup>, fonde, avec son équipe d'étudiants-chercheurs de l'institut ATLAS<sup>(303)</sup> (université du Colorado), le Modular Robotics Incorporated<sup>(304)</sup>, une entreprise dédiée à la conception et la diffusion des « Computational Building Blocks », les Cubelets<sup>(305)</sup> (**fig. 86**). Jeux de construction tangible d'aide à la conception à base de blocs interactifs, entre FiMs et MiMs. Les Cubelets reproduisent les fonctionnalités d'une génération de « Computational Building Blocks », restée à l'étape de prototype, à l'aube des années 2000. En effet, grâce à l'évolution des technologies électroniques et de la fabrication numérique (coûts, tailles, moyens de production...), les petits blocs électroniques en plastique coloré de Modular Robotics Incorporated, réussissent à améliorer les performances ergonomiques<sup>(306)</sup> et économique des Physical Building Blocks, créés par Anderson, D. et Frankel (Mitsubishi Electric Research Lab), des E. Blocks de P. Wyeth and G. Wyeth (University of Queensland, Computer Science and Electrical Engineering, Australia), des MIT's System Blocks, de l'ActiveCube de Y. Kitamura, Y. Itoh and F. Kishino (Osaka University, School of Informatique Science and

300 Gross, M. D. (2009). Now More Than Ever, Computational thinking and a science of design. *Journal of the Japanese Society for the Science of Design*, 16(62), 1526. <http://mdgross.net/wp-content/uploads/2015/08/no62-09.pdf>

301 Dirigé par Seymour Papert, puis Mitchel Resnick.

302 Fondé par l'architecte Nicolas Negroponte, et à l'origine du MIT MediaLab.

303 <https://www.colorado.edu/atlas/>

304 <https://www.modrobotics.com/>

305 <https://www.modrobotics.com/education/>

306 Gross, M. D., Elumeze, N., Eisenberg, M., & Schweikardt, E. (2009). A tangible construction kit for exploring graph theory. *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '09*, 2537. <https://doi.org/10.1145/1517664.1517739>



Technology). En outre, M. Gross doit clairement le principe du Cubelets au « Three-dimensional Modelling System ». (ou Universal Constructor) de l'architecte John Frazer, qu'il considère comme le premier jeu de construction tangible à base de blocs. »<sup>(307)</sup>

Les M-Block de Cubelets se présentent sous la forme de cubes magnétiques, qui s'assemblent en 3 dimensions. Chaque cube est équipé d'un mini programme et d'une large palette de capteurs qui lui permettent de communiquer directement avec son environnement, sans forcément passer par une interface de programmation externe. Le jeu de construction peut servir d'interfaces tangibles (TUI) pour animer ou manipuler une représentation virtuelle ; ils peuvent aussi servir d'outils de conception d'objets utilitaires interactifs, de jouets tangibles autonomes (qui fonctionnent sans l'interface de l'ordinateur). Utilisés pour une variété importante d'applications, les blocs Cubelets offrent à l'utilisateur un moyen extrêmement intuitif d'appréhender la modélisation en 3 dimensions, l'intelligence artificielle, la robotique, l'interactivité transmédia et la réalité augmentée. En outre, leur multifonctionnalité et leur modularité peuvent répondre à différents projets éducatifs impliqués dans le mouvement Maker, en proposant des matériaux pédagogiques adaptés à tous les niveaux : enfants ou enseignants en milieux scolaires, étudiants ou professeurs d'université relevant des disciplines de l'ingénierie, du design et, parfois de l'architecture.<sup>(308)</sup>

### *3.5 Les artistes et les designers sur le chemin des dispositifs de conception tangible*

Cette montée en puissance de matériaux et d'outils de conception de plus en plus accessibles et de plus en plus variés engage de nombreux designers et artistes sur le secteur de l'éducation à l'informatique et à la création numérique spécialement ciblés pour le jeune public. Les jeux de construction et d'animation tangibles se retrouvent au cœur de multiples dispositifs plastiques, qui composent désormais l'univers des outils d'aide à la conception pour enfants labélisé STEAM. Ainsi, depuis quelques années, des recherches plastiques, des installations, de nouveaux produits ludiques, parfois commerciaux, témoignent d'un nouvel engouement pour les inventions embryonnaires de Mikael Resnick (Lego Tangible Block, Mindstorm), Hiroshi Ishii, Hiroshi

307 Gross, M.D., *Review puzzles and construction sets falling under the category of augmented reality games*, , Article in *ITM Web of Conferences*, January 2018. [https://www.researchgate.net/publication/324336228\\_Review\\_puzzles\\_and\\_construction\\_sets\\_falling\\_under\\_the\\_category\\_of\\_augmented\\_reality\\_games](https://www.researchgate.net/publication/324336228_Review_puzzles_and_construction_sets_falling_under_the_category_of_augmented_reality_games)

308 Gross, M. D., & Do, E. Y.-L. (2009b). Educating the New Makers : Cross-Disciplinary Creativity. *Leonardo*, 42(3), 210215. <https://doi.org/10.1162/leon.2009.42.3.210>

Kato et Hideyuki Suzuki (AlgoBlock), Michael S. Horn, Robert J.K. Jacob (Tern, Quetzal), entre autres, tous disciples de Jean Piaget et Seymour Papert.

La plupart des nouveaux dispositifs – qui prennent leur source dans l'histoire des théories informatiques et pédagogiques – démontrent qu'il est désormais possible de réhabiliter les recherches passées avec les moyens et les matériaux d'aujourd'hui. Peu coûteux, faciles d'utilisation, duplicables, appropriables, détournables, performants, conviviaux, familiaux... ces nouveaux dispositifs sont forcément attractifs. Les formats, les technologies, les matériaux, les modes d'expérimentation, de manipulation, d'assemblage, se multiplient en offrant une diversité de variantes quant à la complexité des interactions entre les dispositifs manuels et leurs extensions transmédias (images, sons, animations, objets dynamiques...).

Associés au Google Creative Lab<sup>(309)</sup>, les designers Blikstein, P., & Sipitakiat, A. conçoivent le projet « blocs » à partir d'un travail de recherche universitaire s'appuyant sur les recherches académiques passées<sup>(310)</sup>. Il s'agit pour eux de créer un outil d'aide à la programmation informatique « orienté objets connectés », c'est-à-dire permettant de contrôler l'interactivité d'un objet, d'un jeu, d'un robot, d'un espace sans passer par un programme graphique. **(fig.86)**

*« Project Blocks was preceded and shaped by a long history of research : from Friedrich Fröbel, Maria Montessori, Jean Piaget's pioneering work in the area of learning by experience, exploration, and manipulation to the research started in the 70s by Seymour Papert and Radia Perlman with Robot Logo, TORTIS, and everything in between. More recently, work in tangibles by MIT Media Lab and Tufts University was highly influential. Approaches to visual programming, namely Scratch, ScratchJr, and Blockly — also informed our approach. »<sup>(311)</sup>*

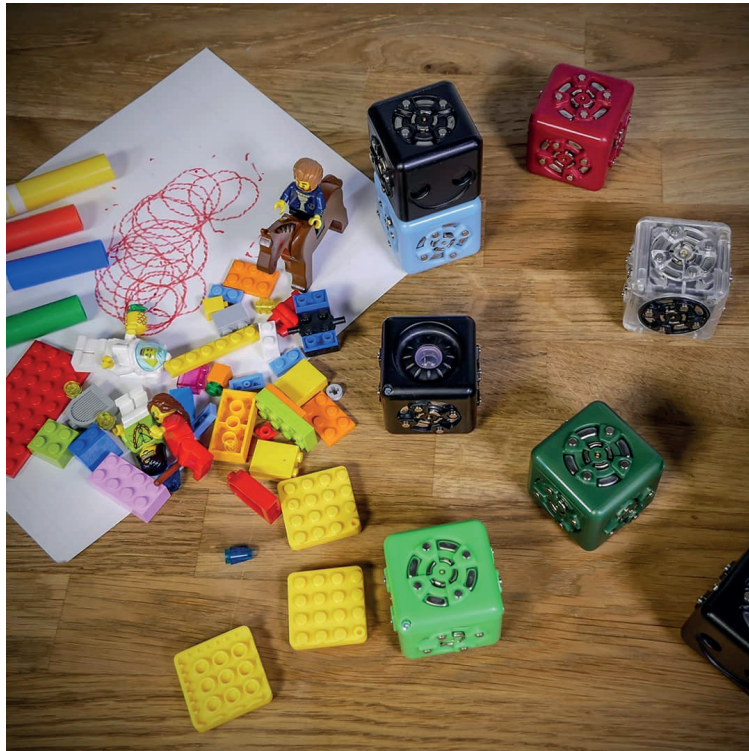
Avec leur kit de blocks tangibles, composés de plusieurs unités intégrantes, dont chacune possède une instruction spécifique (arrêt/déplacement dans l'espace, allumer/éteindre, capter la lumière, la température, la couleur, l'humidité, emmètre du son), les designers veulent matérialiser, sous la forme d'un jeu de construction en plan, l'interface de programmation tangible Blockly<sup>(312)</sup>. Cette dernière représente d'ailleurs graphiquement des instructions sous forme de « blocks ». En réalité, « Project Block » est une boîte à outils qui offre un dispositif technique d'assemblage de composants électroniques, que les utilisateurs peuvent adapter plastiquement avec n'importe

309 Avec les designers Blikstein, P., Sipitakiat, le Transformative Learning Technologies Lab) et l'agence de design thinking IDEO, en partenariat avec GoogleLab

310 Blikstein, P., & Sipitakiat, A. (2016, 4 juin). *Project Blocks : Designing a development platform for tangible programming for children*. projectbloks.withgoogle.com. <https://projectbloks.withgoogle.com/research>

311 Blikstein, P., & Sipitakiat, A. (2016, 4 juin). *Project Blocks - Research*. Project Bloks. <https://projectbloks.withgoogle.com/research>

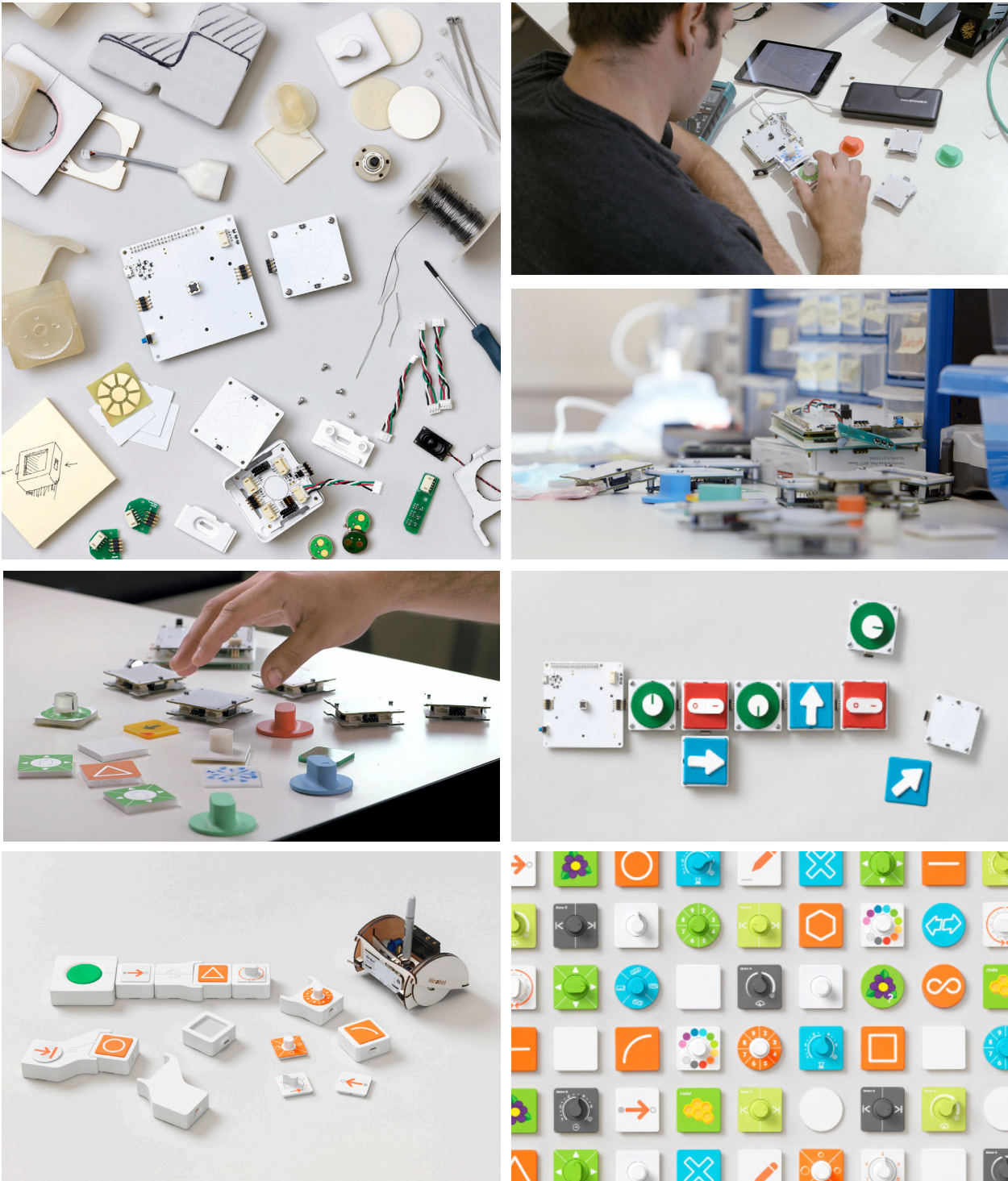
312 Blockly est une interface de programmation visuelle conçu pour les enfants sur le même principe que Scratch et Logo. Les programmes sont créés par l'assemblage graphique de blocs de consigne préprogrammées, puis transmettent les consignes à l'installation tangible.



**(fig. 86) Cubelet, 2014**  
**Marc Cross, architecte**

*Développé par Marc Cross, le jeu de construction Cubelets est destiné à l'éducation à l'informatique et à la robotique, pour les enfants, les éducateurs, les étudiants, les enseignants. Compatible Lego, les blocs tangibles Cubelets s'assemblent facilement, grâce à leur face magnétique. Les Kits de constructions modulaires permettent à des débutants de concevoir des projets en 3D, physiques (robots, objets connectés, interactifs.), ou virtuels (images 3D, jeux vidéo...).*





**(fig. 87) Project bloks, 2018**

«Google Creative Lab created a modular system for tangible programming made up of electronic boards and programmable pucks — which enable you to send instructions to devices when connected together. Our aim is to create an open hardware platform to help developers, designers, and researchers build the next generation of tangible programming experiences for kids.»  
Project Bloks was a collaboration between Google Creative Lab, Paulo Blikstein (Stanford University) and IDEO Design, with Lego Education, code.org, Raspberry Pi, Mirobot, Exploratorium, Science Museum.





(fig. 88) SamLab, 2014

**Joachim Horn**

SAMLab est présenté comme un outil d'apprentissage et cible en priorité les enfants, mais son but réel est d'aider les utilisateurs de tous âges, en particulier les étudiants, les artistes, les designers à expérimenter des projets technologiquement complexes sans nécessiter de hauts niveaux de connaissances en ingénierie. Les SAMLab contient est une série de capteurs (température, lumière, pression, couleur, proximité, gyroskopique) de la taille d'un timbre-poste qui combinent matériel et logiciel avec une connectivité Internet. Les kits SAM sont des unités autonomes équipées de leur propre source d'alimentation et d'une radio sans fil qui peuvent communiquer avec un ordinateur ou un smartphne. Les applications sont écrites à l'aide d'une interface « drag and drop » très simple d'utilisation.



**(fig. 89) M Cookie, 2017**

*MCookie est un kit de blocs à assembler à la manière du Lego, permettant d'explorer l'électronique et la programmation. Il s'adresse aux éducateurs souhaitant développer des projets pédagogiques pour des élèves débutants. Le kit comprend des modules Microduino mCookie (capteurs, actionneurs, boutons, moteurs, entrées, sorties...), des composants électroniques. MCookie est entièrement compatible avec Arduino. Pour les programmeurs novices, le codage est effectué à l'aide des programmes mDesigner (Scratch) et Mixly, c'est-à-dire de la programmation par « drag and drop ».*



quels matériaux pour créer des univers formels interactifs et transmédia. La matérialité d'un block est « libre » : en plastique, en bois, en volume, en papier, en carton, en mousse... À condition d'avoir accès à une machine de découpe ou d'impression numérique. Ainsi, l'intérêt du dispositif réside dans le fait que les créateurs livrent un dispositif ouvert, permettant de réaliser n'importe quelle construction plastique.

Dans le même esprit, Sam Lab<sup>(313)</sup>, (**fig. 87**) créé par le designer Joachim Horn, propose un autre outil d'aide à la conception à base de blocks tangibles, à destination des « éducateurs » qui se lancent dans les nouvelles méthodes pédagogiques du STEAM Learning. Sam-lab propose un outil complet, une interface et des kits à assembler, dont le design épuré et élégant rappelle le jeu Lectron de Braun, conçu par Georg Greger<sup>(314)</sup> (1967-69).

Comme ceux SamLab, les kits électroniques multicolores Littelbits (micro : bit <sup>(315)</sup>) (**fig.88**) dont les modules s'assemblent en plan avec de simples aimants, permettent de composer des programmes interactifs ou d'animer en temps réel des objets interactifs, des représentations transmédiées... Les Littelbits, ont été conçus dans les années 2011, par l'artiste et designer Ayah Bdeir, diplômée du célèbre MIT MediaLab, dans le but de « mettre le pouvoir de l'électronique entre les mains de tous et de décomposer des technologies complexes afin que quiconque puisse construire, prototyper et inventer. »<sup>(316)</sup> En quelques années, ils sont devenus les outils de prototypages de projets tangibles les plus couramment utilisés dans les nouvelles structures dédiées à la formation des enfants<sup>(317)</sup>. En outre, ils ont équipé les écoles d'ingénieurs, d'art ou de design qui forment désormais les étudiants à l'éducation Maker et STEAM.

Les M. Cookies de Microduino<sup>(318)</sup> (**fig.89**), apparus plus récemment sur le marché de l'éducation Maker, ressemblent à l'esthétique et à la fonctionnalité des kits Littelbits. En revanche, leur taille est plus petite et les modes d'assemblages magnétiques encore

313 <https://samlabs.com>

314 <https://lectron.info/>

315 The Micro Bit (also referred to as BBC Micro Bit, stylized as micro : bit) is an [open source hardware](#) ARM-based [embedded system](#) designed by the [BBC](#) for use in computer education in the [UK](#). It was first announced on the launch of BBC's Make It Digital campaign on 12 March 2015 with the intent of delivering 1 million devices to pupils in the UK. The final device design and features were unveiled on 6 July 2015 whereas actual delivery of devices, after some delay, began in February 2016.

316 <https://www.dailydot.com/debug/smart-home-kit-littlebits/>

317 Comme la start-up MagicMakers. <https://www.magicmakers.fr/>

318 « Fondée en 2012, à Westlake Village, en Californie, Microduino est un concepteur, développeur, fabricant et vendeur mondial primé de blocs de construction électroniques empilables, de composants connexes et de sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STEM) de classe. Des systèmes d'apprentissage qui encouragent et améliorent la créativité, l'imagination et l'ingéniosité des inventeurs grâce à l'apprentissage par projet. » (<https://microduinoinc.com/educators/>)

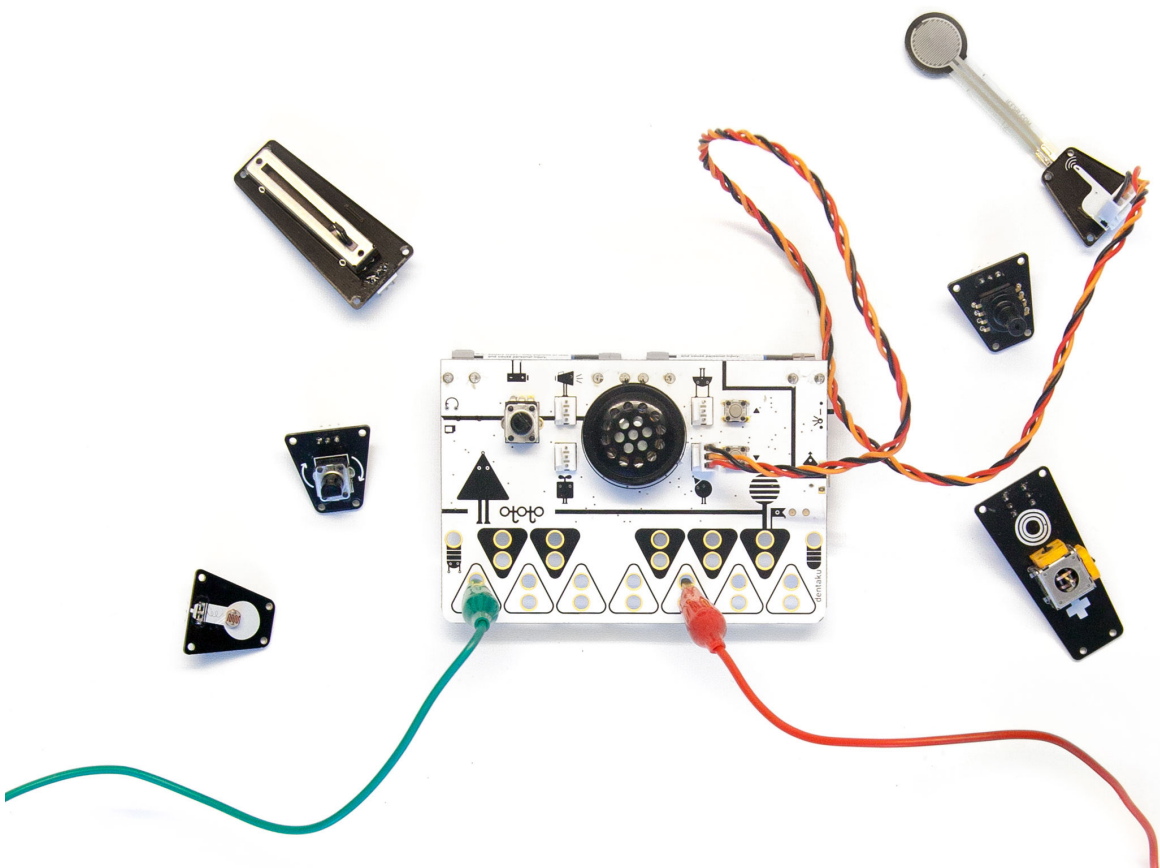


**(fig. 90) : Look like music, 2014**

**Yuri Suzuki, artiste sonore designer, UK**

*Looks Like Music est une installation audiovisuelle, interactive et participative. Elle est composée de robots miniatures qui ressemblent à des maquettes d'architectures mobiles ; les robots détectent et suivent un circuit, un plan, une ligne noire tracée au stylo marqueur — entrecoupé de lignes colorées que l'appareil traduit en son, lorsqu'il se déplace sur une ligne. « Le public est invité à contribuer activement au développement de l'installation dans l'espace d'exposition en prolongeant le circuit dessiné sur le papier. Les visiteurs participent ainsi à la création d'une œuvre d'art à grande échelle et enrichissent une pièce sonore composée collectivement. »*

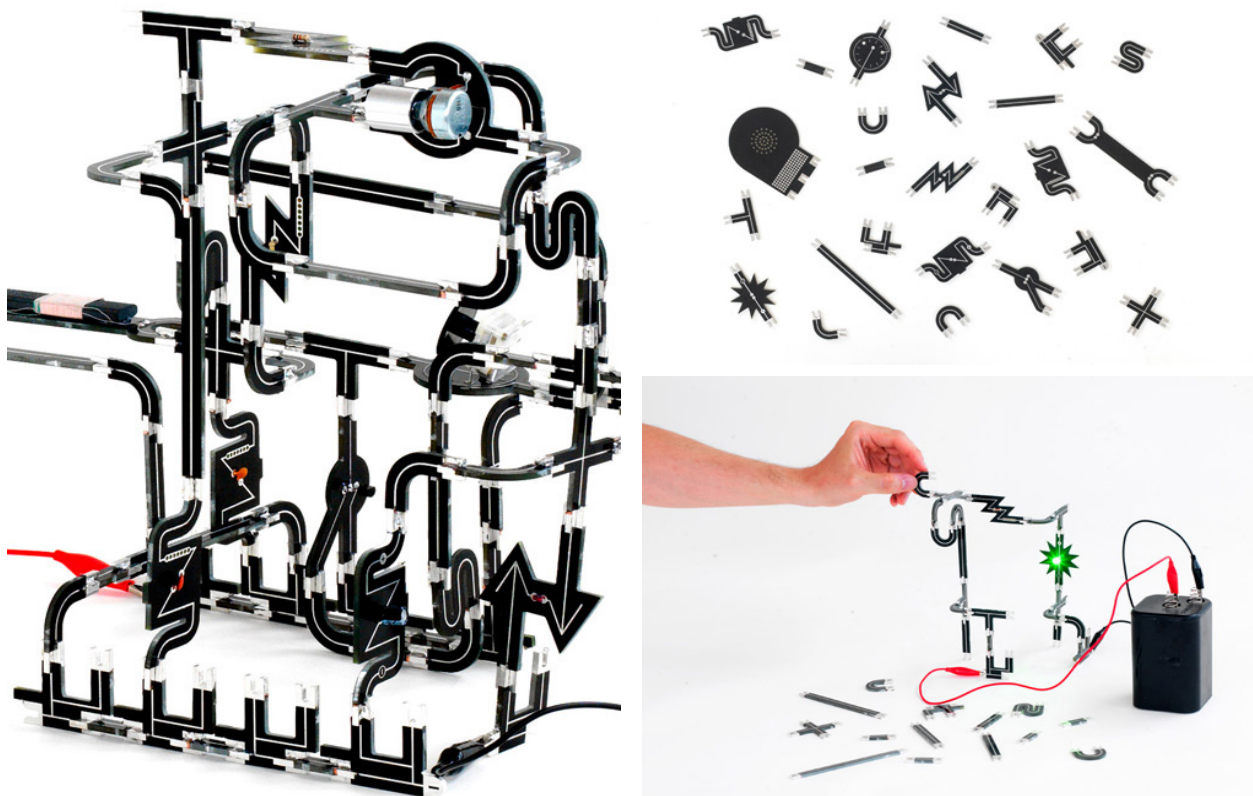




(fig. 91) Ototo, 2012

**Yuri Suzuki, artiste designer.**

*Ototo est un microcontrôleur qui permet de jouer de la music avec n'importe quel objet : « Grâce aux pinces crocodiles, vous pouvez connecter des matériaux conducteurs et les utiliser pour déclencher les notes. Cela signifie que vous pouvez rapidement fabriquer n'importe quoi, d'une batterie de casseroles à des origamis qui chantent lorsqu'on les touche. » En 2014, le Museum of Modern Art New York a acquis l'OTOTO pour sa collection permanente.*



*(fig. 92) Denki puzzle, 2012*

*Yuri Suzuki, artiste designer.*

*Un jeu de construction composé de pièces de circuits imprimés dont la forme indique visuellement une fonction particulière. Le processus d'assemblage simple et ludique, accessible par tous, permet une compréhension des éléments constitutifs de technologies plus complexes.*

*Commande du Design Museum Londres, réalisé en collaboration avec Technology Will Save Us*

plus simples et ergonomiques : les modules électroniques s'emboîtent verticalement contrairement aux Littelbits. En plus des connecteurs magnétiques, les modules sont agrémentés de tenons « compatibles Lego » offrant ainsi la liberté d'utiliser une grande gamme de pièces de Lego, afin d'accroître les possibilités de conception avec des matériaux « préfabriqués ». Labélisés STEAM<sup>(319)</sup> (ou STEM), les outils éducatifs M. Cookies s'adressent à une grande variété de public apprenant. Ils visent autant à éduquer les enfants en proposant des malles de jeux, qu'à former les étudiants à des concepts scientifiques en leur fournissant des moyens pratiques et ludiques. Enfin, ils s'adressent aux éducateurs, aux enseignants, aux professeurs d'écoles ou d'universités en leur offrant des méthodes pour élaborer leurs propres projets pédagogiques dans la lignée STEAM et Maker.

L'artiste et designer sonore Yuri Suzuki<sup>(320)</sup> initie dès les années 2010 un projet de recherche dédié aux apprentis musiciens dyslexiques Color Chaser<sup>(321)</sup>. Color Chaser est un dispositif de notation musicale, qui permet aux jeunes musiciens néophytes de retranscrire, avec des crayons de couleur, une composition musicale grâce à charte en couleur qui remplace les notes et son écriture traditionnelle. Une série de mini-blocks électroniques mobiles, équipées de capteurs de couleurs et d'enceintes miniatures, interprète la partition dessinée manuellement en temps réel. Ainsi, sur la feuille de papier apparaissent des motifs colorés, accrochés à des lignes noires qui ressemblent à des chemins, des rues, des routes et qui guident les mini-blocs en forme de maquettes d'architecture<sup>(322)</sup> (**fig.90**). Avec le microcontrôleur Ototo, on peut transformer n'importe quel objet en instrument de musique (**fig.91**). Enfin, avec Denki Puzzle, réalisé en collaboration avec *Technology Will Save Us*, Suzuki propose un jeu de construction en volume à base de pièces de circuits imprimés (**fig.92**).

Dans le même esprit, le duo de designers Raphael Pluvimage et Marion Piffano réinvente les formats de jeux de tables traditionnelles pour rendre visible l'influence des technologies sur la vie la plus quotidienne. Avec des objets et des matériaux ordinaires, que l'on peut trouver chez soi (papier, carton, gommes, billes, gouttes d'eau, gélatines alimentaires...), le duo propose des expériences interactives ludiques dans l'« esthé-

319 « Les kits éducatifs Microduino et notre plate-forme matérielle électronique sont de précieuses ressources pédagogiques STEM. Ils offrent un apprentissage pratique basé sur des projets. Les enseignants peuvent facilement cultiver l'intérêt pour les STEM en utilisant des outils simples qui animent des projets avec fonction et objectif. Enseigner les bases de l'automatisation et de la programmation tout en plantant les graines de l'ingénierie, de la créativité, du design et de la pensée critique » <https://microduinoinc.com/educators/>

320 [yurisuzuki.com](http://yurisuzuki.com)

321 <http://yurisuzuki.com/archive/works/colour-chaser/>

322 <http://yurisuzuki.com/archive/works/looks-like-music/>





**(fig. 93) Papier Machine, n° -1, 2015/2017**

**Raphaël Pluvimage, Marion Piffano, designers**

« Papier machine » est en effet un projet ludique combinant matière naturelle et technologie, papier et l'électronique.

« Une expédition dans l'esthétique invisible de l'électronique. Papier Machine est un livre regroupant une famille de 13 jouets électroniques en papier prêt à être découpés, colorés, pliés, assemblés ou déchirés. Sérigraphiés avec des encres spéciales aux propriétés électriques différentes, ces jouets visent à révéler ce qui se cache derrière les boîtes noires magiques de nos machines : un monde de matériaux, de formes, de couleurs, d'histoires et même d'odeurs. »

Precut book, screenprinted 3 colors, conductive ink, cell, electronics.

8 ex, 30 x 42 cm, 32 pages,

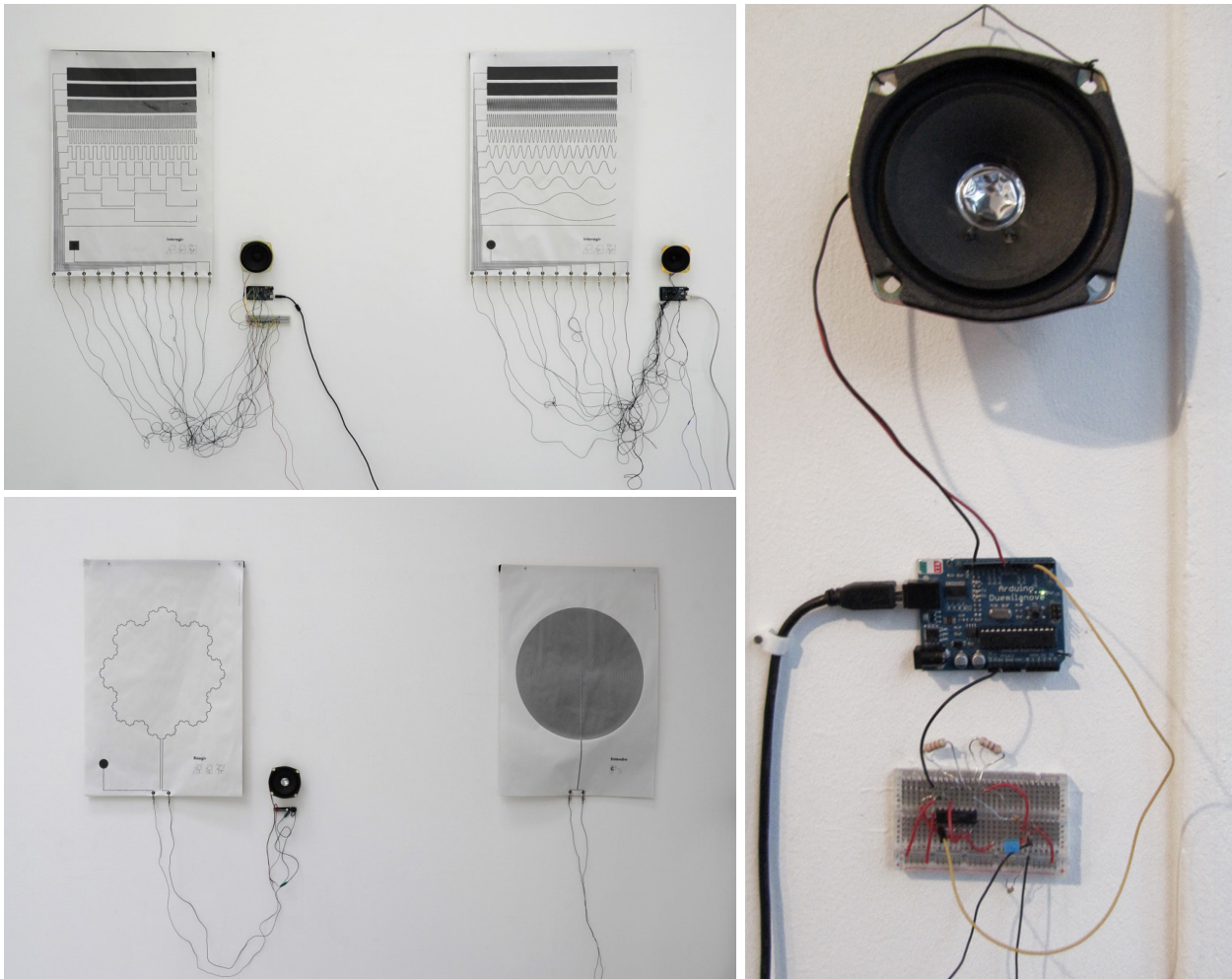




(fig. 94) : Noisy Jelly, 2012

**Raphaël Pluvimage, Marianne Cauvard**

« Jeu scientifique et artistique, Noisy Jelly propose de “mettre en forme sa propre matière musicale” dans une expérience ludique et surprenante de la synesthésie. Le boîtier se présente comme un kit du parfait petit chimiste : le joueur est invité à mélanger de l'eau, des colorants et de l'agar-agar, et à verser sa préparation dans différents moules. Placées sur un plateau de jeu, les formes ainsi créées produisent, par simple contact, des sons variés. Différents capteurs placés sur la plaque conductrice permettent de traduire la qualité électrique du doigt en modulations sonores. L'expérience est d'autant plus déroutante qu'une matière molle et difficile à maîtriser fait ici office d'outil de contrôle. Low — Tech et programmation se rencontrent dans ce dispositif qui s'est développé au fil des workshops et des installations ». Boîte en contreplaqué de bouleau, découpe laser, plaque conductrice en bois collé sur une plaque en métal, conductrice, moules en PET thermoformés, système Arduino, Mac mini, programme maxmsp



**(fig. 95) Affone, 2011**

**Leo Virieu, graphiste**

« Affone est un projet d'affiches sonores interactives. Elles sont des objets tangibles (objets physiques, permettant de manipuler du numérique), réalisées à l'aide d'encres conductrices sur du papier cyclus 80g. Le principe est de sortir le numérique de l'écran ; de garder l'aspect premier d'une affiche sérigraphiée avec ses qualités de grammage, de relief, de "toucher", mais en utilisant, pour certaines, des interactions numériques programmées. Affone est une série de huit affiches expérimentant le son : haut-parleur, microphone, texte lu, lignes jouées... Elles mettent en scène des actions/réactions avec le spectateur et interrogent le support du numérique, la proximité... »

tique invisible de l'électronique ». Le projet *Papier Machine*<sup>(323)</sup>, par exemple, est un kit de fabrication de jeu électronique DIY, sous la forme « livre regroupant une famille de 13 jouets électroniques en papier prêts à être découpés, colorés, pliés, assemblés ou déchirés. Sérigraphies avec des encres spéciales aux propriétés électriques différentes, ces jouets visent à révéler ce qui se cache derrière les boîtes noires magiques de nos machines : un monde de matériaux, de formes, de couleurs, d'histoires et même d'odeurs. » **(fig.93)**. Avec *Noisy Jelly*<sup>(324)</sup>, créer avec Marianne Cauvard, les designers utilisent le vocabulaire formel des jeux de construction pour jeunes enfants. Noisy Jelly est une sorte d'atelier de moulage miniature, rangé dans un coffret en bois qui se transforme en interface interactive sonore tactile et formelle **(fig.94)**. Comme Marianne Cauvard l'explique, *Noisy Jelly* est un « jeu qui permet de mettre en forme soi-même la matière sonore en modelant de la gelée colorée. L'utilisation de ce matériau éphémère, flou dans son mouvement et son toucher a pour but de plonger le joueur dans une stimulante incompréhension perceptive. La gelée, reliée à un support programmé par un contrôleur Arduino tend à démontrer que l'électronique peut être l'objet d'une nouvelle esthétique. Le kit dispose de plusieurs sonorités et comme un petit chimiste, chaque pièce se fabrique par réaction. »<sup>(325)</sup>. Différentes pièces de construction colorées composent le jeu sonore, qui varie en fonction de la nature des formes et de la manière de les toucher. Marianne Cauvard ajoute : « Cet objet fait office de démonstrateur : la gelée est le support d'expérimentations low-tech autour de la notion de contrôle imprécis dans l'univers de la variation ».

Le graphiste Léo Virieu explore quant à lui, l'écriture électronique. Avec son projet d'affiches sonores interactives et tangibles *Affone*<sup>(326)</sup> **(fig.95)**, réalisées à l'aide d'encres conductrices « Le principe est de sortir le numérique de l'écran ; de garder l'aspect premier d'une affiche sérigraphiée avec ses qualités de grammage, de relief, de « toucher », mais en utilisant, pour certaines, des interactions numériques programmées. *Affone* est une série de huit affiches expérimentant le son : haut-parleur, microphone, texte lu, lignes jouées... Elles mettent en scène des actions/réactions avec le spectateur et interrogent le support du numérique, la proximité... »<sup>(327)</sup>

323 Papier Machine n°0, 2018-2019  
Precutbook, Offset 3 colors, conductive ink,  
electronics. <https://pinaffo-pluvinage.com/>

324 Boîte en contreplaqué de bouleau, découpe laser, plaque conductrice en bois collé sur une plaque en métal conductrice, moules en PET thermoformés, système Arduino, Mac mini, programme maxmsp.

325 *Gelée musicale en kit*. (2019, 4 février). étapes : <https://etapes.com/gelee-musicale-en-kit/>

326 <http://leovirieu.fr/affone/>

327 *Ibid*





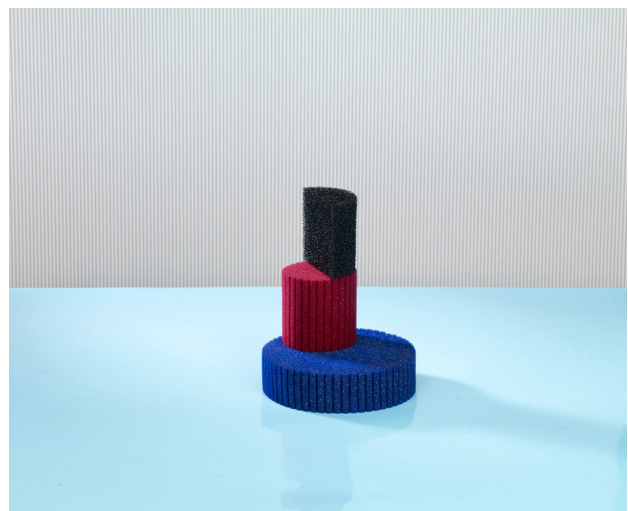
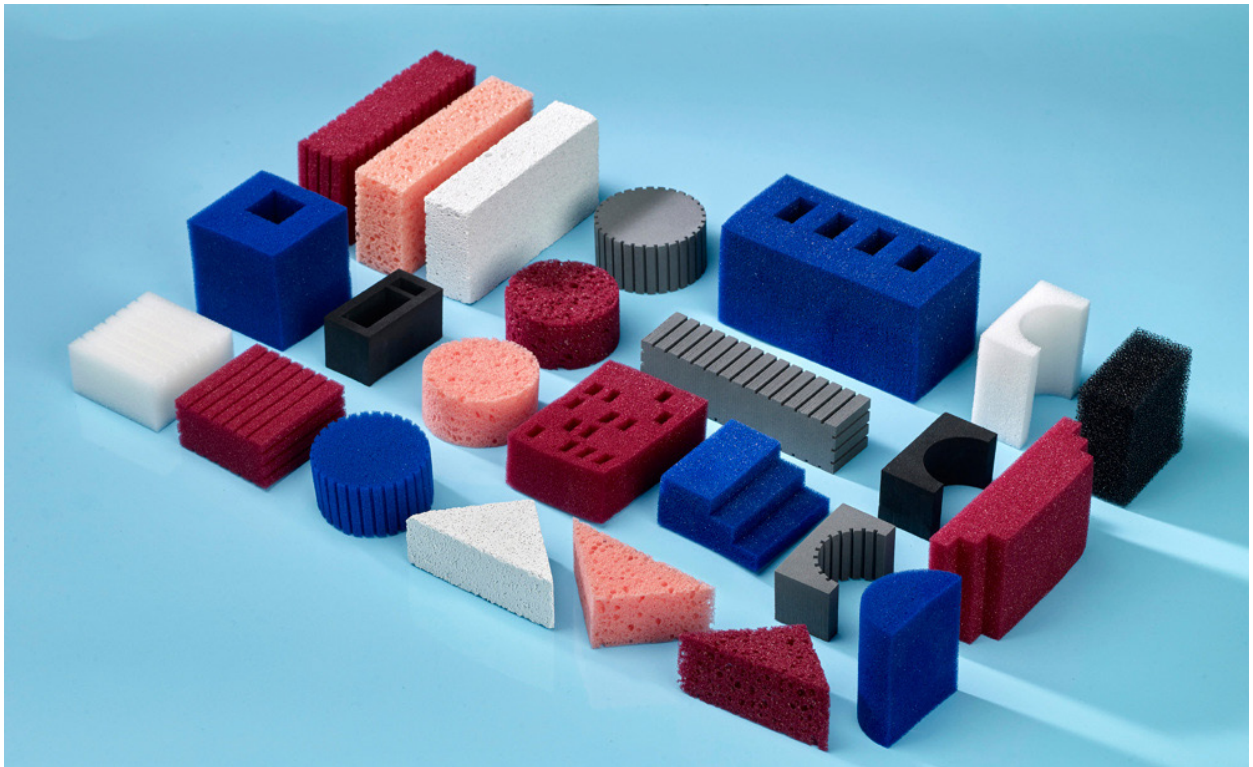
**(fig. 96) Paper electronic modules (a); Circuit to link (b); Paper user interfaces (c); Anatomical board of speakers (d), 2018**

*Creating a development platform for tangible programming.*

*Coralie Gourgueton propose des interfaces de conception d'objets tangibles en papier disponible gratuitement, grâce à bibliothèque de modules, de modèles et de circuits électroniques à imprimer avec de l'encre constructrice, ou à dessiner avec des feutres conducteurs ; l'assemblage des composants est fait avec de la colle conductrice, les projets proposent une méthode simplifiée de conception électronique, basée sur des techniques utilisées pour l'impression de chemin conducteur. Les objets en papier pliés, avec leur carte électronique intégrée sont reliés à un petit microprocesseur Arduino. (ArduinoMicro R3, Arduino Nano V3, Arduino Mini V5, Arduino Mini Pro, Intel Galileo*

*Arduino Nano V3 - clon, ArduinoYun, Arduino Zero, Arduino Leonardo.*





*(fig. 97) Waterscape, 2016*

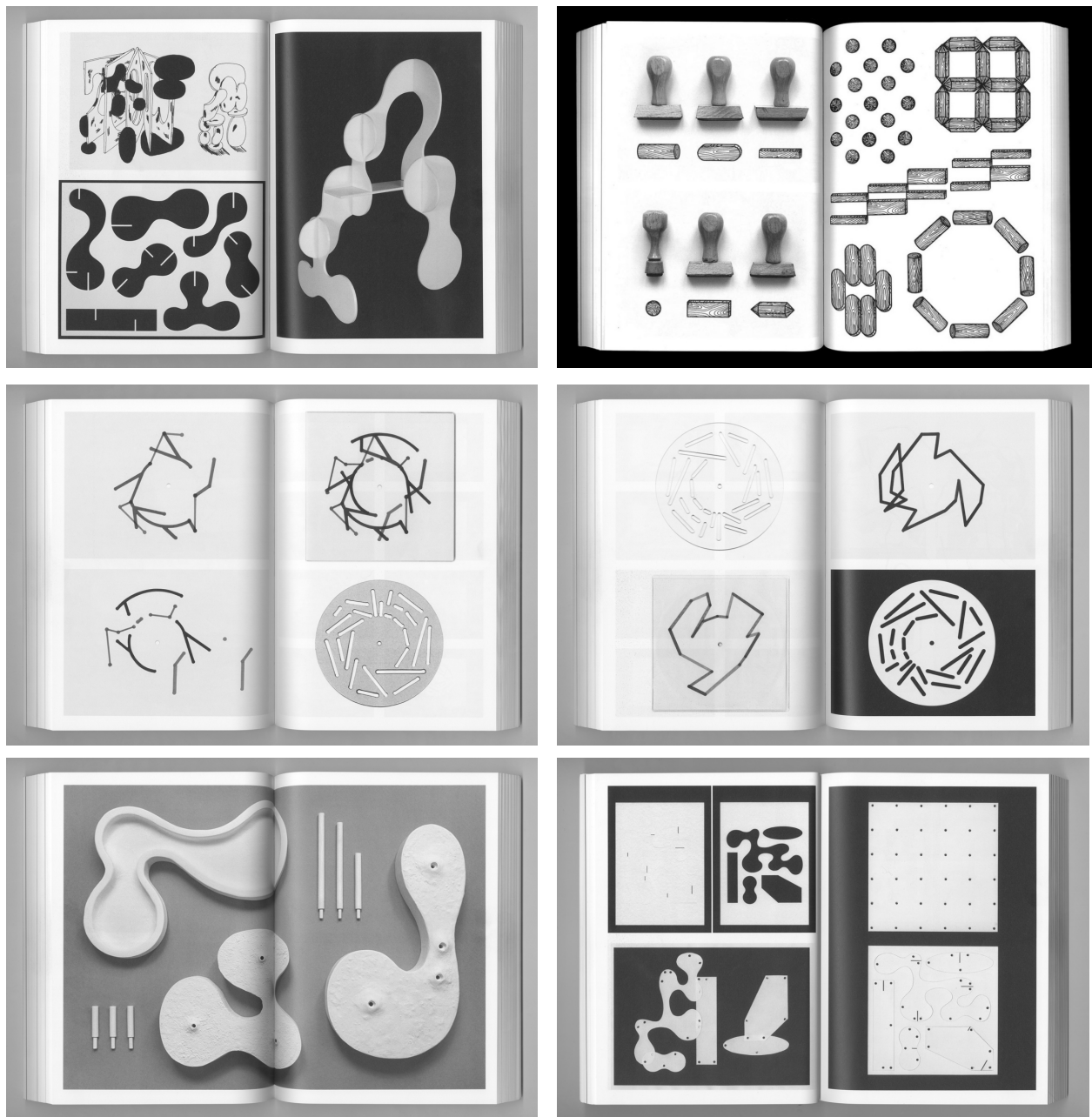
*Deintuitie Fabriek, Studio de Design, réalisé en collaboration avec l'architecte Piero Lissoni.*

*Un jeu de construction « flottant », à jouer dans son bain, réalisé avec des blocs de tailles dans des matériaux en éponge ou en pierres ponces. « Create an imaginary world in and around the water and play around with these colorful blocks to build a floating waterscape! »*

De son côté, la designer Coralie Gourguechon propose, avec son concept *Paper User Interface*<sup>(328)</sup> (**fig.96**), de l'électronique en papier pour sensibiliser les jeunes apprentis designers à l'écologie et à l'économie technologique. Elle conçoit des projets qui visent à démystifier l'électronique en simplifiant l'exécution de circuits simples, grâce à ses kits de conception gratuits d'appareils électroniques. Avec du papier plié et quelques composants électroniques que l'on colle, avec un adhésif conducteur, sur la feuille préalablement imprimée avec de l'encre conductrice, on peut fabriquer toutes sortes d'objets électroniques à usage domestique. Paper User Interface s'inscrit dans un projet de recherche qui vise à explorer les potentialités de l'« encre conductrice sur papier ». À ce propos Coralie Gourguechon explique :

*« Paper User Interfaces (PUI) cherche à explorer un système d'interfaces pour les produits électroniques sur papier. L'électronique imprimée à domicile est une direction prometteuse de la technologie de fabrication personnelle. Des expériences réussies de transformation d'imprimantes à jet d'encre domestiques destinées à être utilisées pour tracer des circuits sur papier peuvent suggérer un avenir où une gamme d'objets électroniques sera produite directement, grâce à un processus accessible et abordable. À partir d'interfaces électroniques analogiques et de gestes tactiles numériques, un système de contrôleurs et d'interactions pour les objets en papier a été conçu. Considérant l'électronique sous un nouvel angle de production, PUI vise à fusionner les frontières des différents domaines impliqués dans la conception des interfaces, où les fonctions électroniques se matérialisent à travers des graphiques et des formes tridimensionnelles. Utilisant un matériau polyvalent, l'électronique imprimable permet de façonner les interfaces de manière sémantique. Une série de lumières - chacune représentant une interface spécifique - illustre chaque paire interaction / comportement du système proposé. PUI est une exploration du matériau. C'est un bac à sable pour la conception et le développement de produits électroniques imprimables et flexibles. »*

Nombre de nouvelles créations ludiques ou pédagogiques montrent l'engouement des artistes, des designers, des architectes pour l'expérimentation des interconnexions entre des matériaux de plus en plus ordinaires qui retrouvent une certaine noblesse : papier, carton, plâtre, feutre, gélatine, pigments, peinture, blocs de bois, de mousse (**fig.97**)... des équipements technologiques simples d'usage, mais de plus en plus performants (tailles réduites, cout réduits, puissance et fonctionnalité de plus en plus complexe...) Ces projets montrent aux utilisateurs qu'il est désormais possible de créer ses propres objets technologiques à domicile, avec un simple outillage de bureau : feutres, crayons, colle, scotch, peinture, ciseaux, cutter, règle, équerre... éventuellement une imprimante à encre, un tapis de découpe quadrillé et millimétré. Le bureau traditionnel reprend sa place de noblesse dans l'espace domestique, remplaçant définitivement l'écran de l'ordinateur et ses logiciels de conception. Il se transforme en atelier de confection, à mi-chemin entre la traditionnelle table à dessin de l'architecte, et l'établi d'artisan. La table, l'établi, le tapis de découpe, la feuille imprimée en forme de plateau de jeu, connectés ou pas, servent de support à la création. L'ensemble de ces éléments devient le cadre dans lequel s'inscrit le proces-



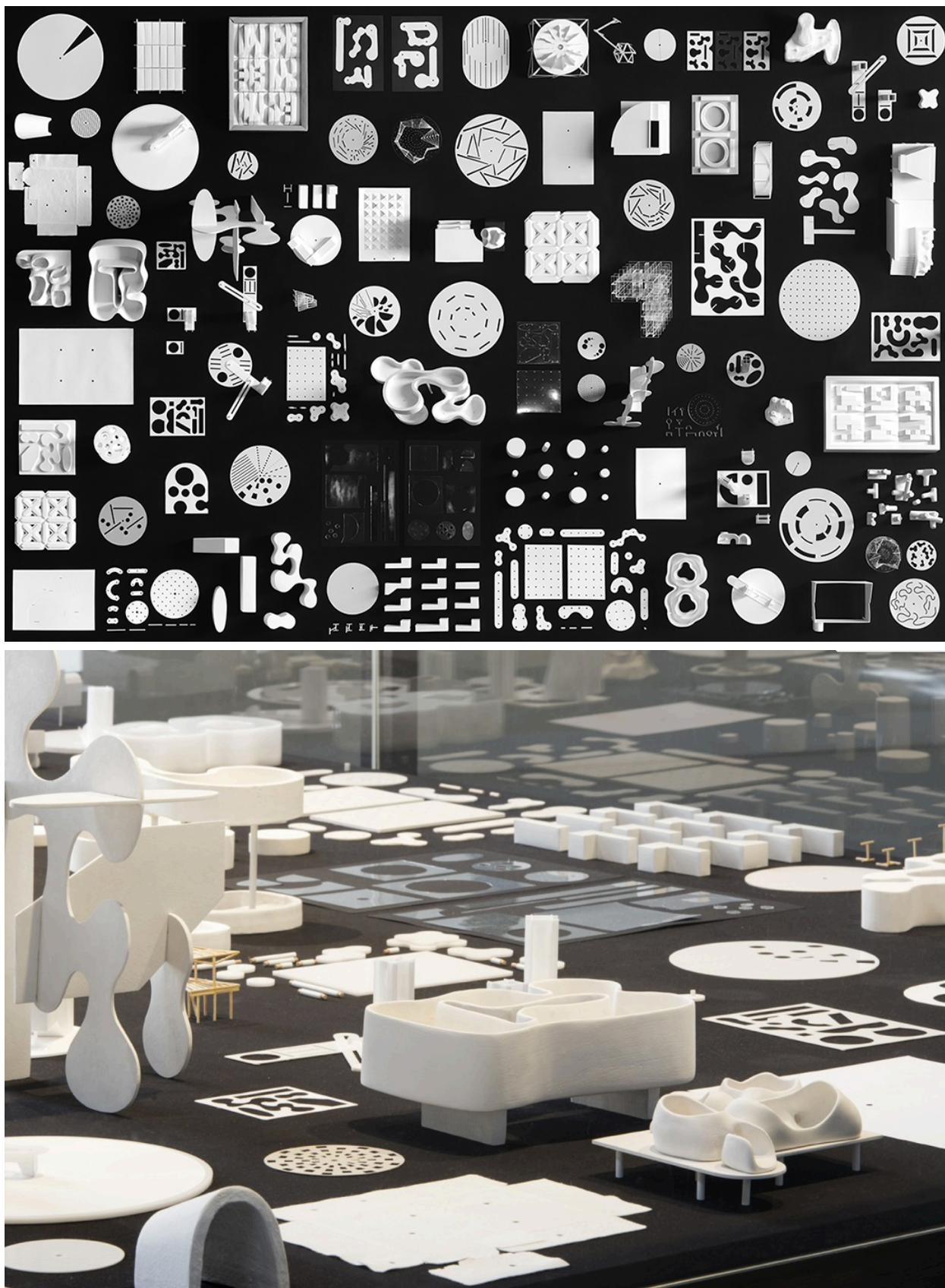
(fig. 98) *Mind Walks*, monographie, 2018

**Karl Nawrot, graphiste**

*Karl Nawrot est un graphiste dont le travail traduit une sensibilité particulière à l'architecture et le jeu de construction. Pour créer ses typographies, ses illustrations, ses compositions graphiques abstraites, il utilise des techniques habituellement associées aux processus de conception architecturaux pour créer des formes dessinées à l'aide de différents supports. Qu'elles soient réalisées au crayon, à l'encre, à la mousse, au papier ou au métal, ses créations sont l'équivalent typographique d'un modèle architectural.*

*Mind Walks compile plus de 900 images d'œuvres sélectionnées réalisées par Karl Nawrot entre 2004 et 2017. Édité et conçu par Karl Nawrot, avec un texte écrit et composé par James Langdon.*





*(fig. 99) Phénomènes, 2019*

**Karl Nawrot, graphiste**

*L'exposition Phénomènes expose l'univers de travail de Karl Nawrot, qui ressemble à un grand jeu de construction. Les pièces du paysage ludique sont des outils, des pochoirs, des normographes, les structures en volume, les maquettes d'architecture que l'artiste utilise, construit, déconstruit, pour composer sa grammaire graphique singulière.*





**(fig. 100) Ça part en gomme, 2018.**

**Adélie Lacombe**

*Avec ça part en gommettes, Adélie Lacombe propose une méthode pour rebooster la créativité, trouver de nouvelles idées et débloquer l'inspiration.*

*Ça part de gommettes est un kit d'aide à la conception composée d'accessoires de plateaux de jeux, pions, étiquettes, dés, cubes de bois, pièces géométriques en Plexiglas, gommettes... une nouvelle méthode pour concevoir des projets artistiques. Organiques.*

sus, son support narratif, son contexte, ou encore sa fonction ludique. Accompagnés d'outils qui facilitent sa représentation et sa matérialisation les mains agissent avec des gestes intuitifs, mais qui gagnent en dextérité. Les mains s'intéressent à la texture de la matière qu'elles touchent, au poids des objets, aux contours de leurs formes, à leur stabilité, leurs fragilités.

Le graphiste Karl Nawrot s'inspire des techniques utilisées dans la conception architecturale pour produire une panoplie de dispositifs de conception en kit. Les kits contiennent des pièces de jeux de construction, des sortes de normographes, des tampons encreurs, qui permettent de créer l'équivalent d'une typographie architecturale. **(fig.98,99).**

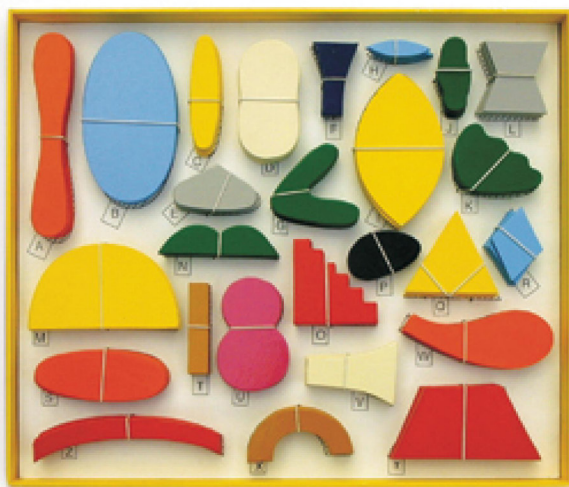
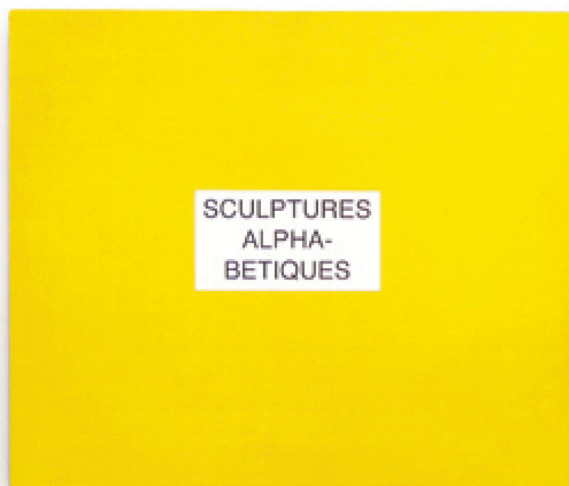
D'autres nouveaux outils, dont l'inspiration semble venir d'un lointain passé, s'installent dans le nouvel échiquier. Avec le projet de recherche « Ça part en gommettes » <sup>(329)</sup> **(fig. 100)**, la designer Adélie Lacombe conçoit des kits de jeux multicolores pour « *re-booster la créativité, trouver de nouvelles idées et débloquer l'inspiration.* » <sup>(330)</sup> Les kits sont composés de plateaux de jeux, dont l'esthétique rappelle la planche de découpe du maquettiste, de gommettes colorées, des blocs cubiques en bois, des pièces géométriques en Plexiglas multicolores qui rappellent les normographes d'antan. Le kit propose des exercices d'écriture, des méthodes pour concevoir le story-board d'un court-métrage, ou pour l'organisation collective d'un débat. Pour chaque exercice, Adélie Lacombe a imaginé des représentations « permettant d'incarner et de spatialiser le blocage et des solutions pour le résoudre. Son projet très plastique exprime comment l'absence d'idées peut conduire à en avoir de nouvelles. » En d'autres termes, le projet « Ça part en gommettes », derrière son appellation enfantine est un véritable outil d'aide à la conception. Il reprend en quelque sorte dans les grandes lignes AutoCAD, World, Adobe Premier, Photoshop ; et s'adresse à un public très diversifié, enfant comme adulte. En revanche, « Ça part en gommettes » ne contient pas d'électronique, mais il est duplicable dans n'importe quel Fablab de proximité équipé d'une découpe laser, d'une imprimante laser, d'une CNC, d'un traceur, d'une découpe vinyli...

L'intégration de projets d'initiation à la programmation informatique dans l'éducation, l'apparition progressive de jeux éducatifs dédiés à l'apprentissage du code, la prolifération des microcomposants électroniques éducatifs, font resurgir les modèles embryonnaires imaginés presque un quart de siècle auparavant dans la recherche

329 Darrault, L. (2019, 4 février). À la rencontre des jeunes designers diplômés de l'ENSCI. étapes : <https://etapes.com/a-la-rencontre-des-jeunes-designers-diplomes-de-l-ensci/>

330 Ibid



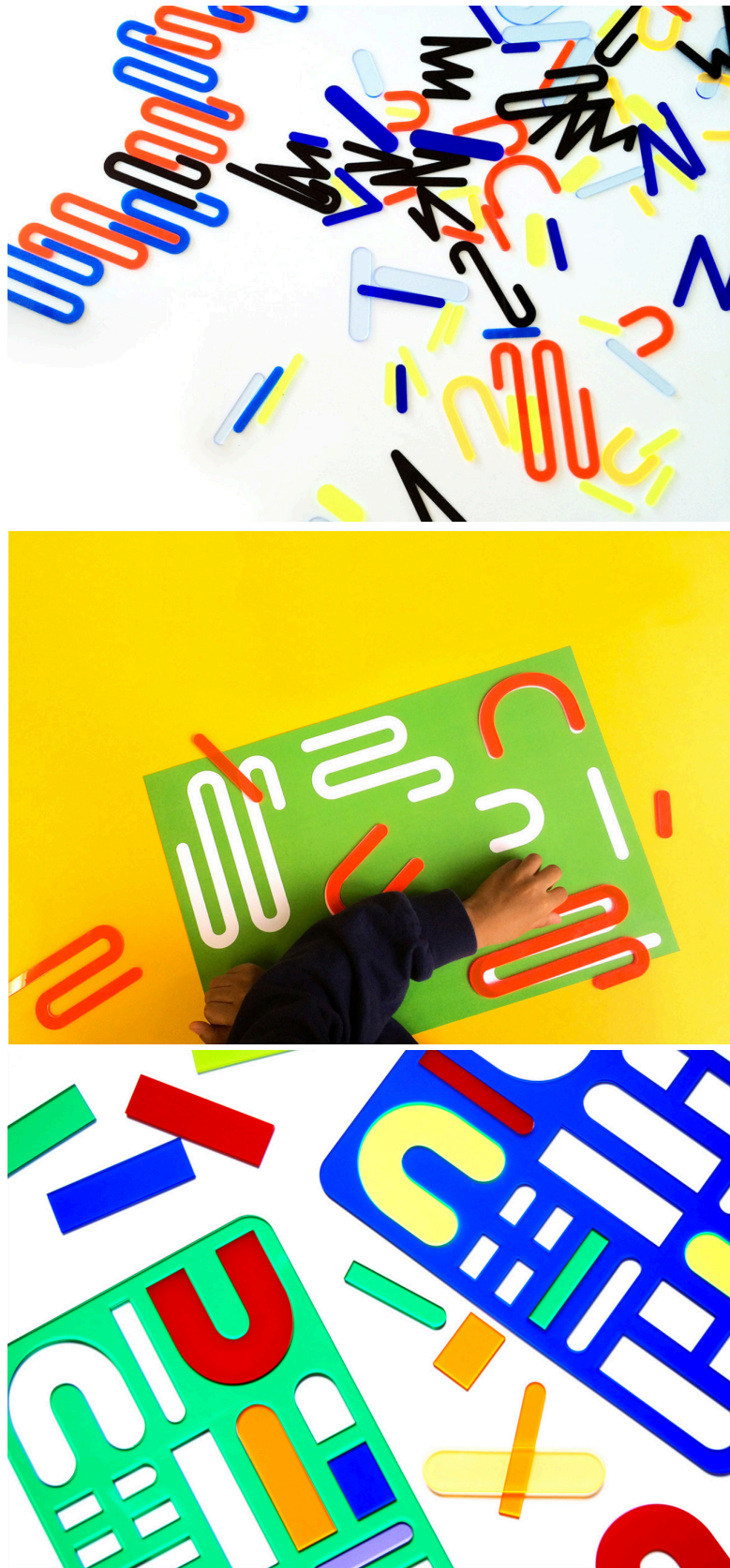


(fig. 101) Le Ludographe, 2015

Paul Cox

Kit pédagogique : Connaître et pratiquer le design graphique à l'école élémentaire.

« Ce kit propose aux enseignants-e-s un ensemble d'outils et d'informations qui constituent une introduction au design graphique adaptée à leurs pratiques professionnelles. Il permettra de faire découvrir aux élèves l'influence du design graphique sur leur environnement visuel et de les sensibiliser à toutes les relations possibles entre les mots et les images. » Centre national des arts plastiques

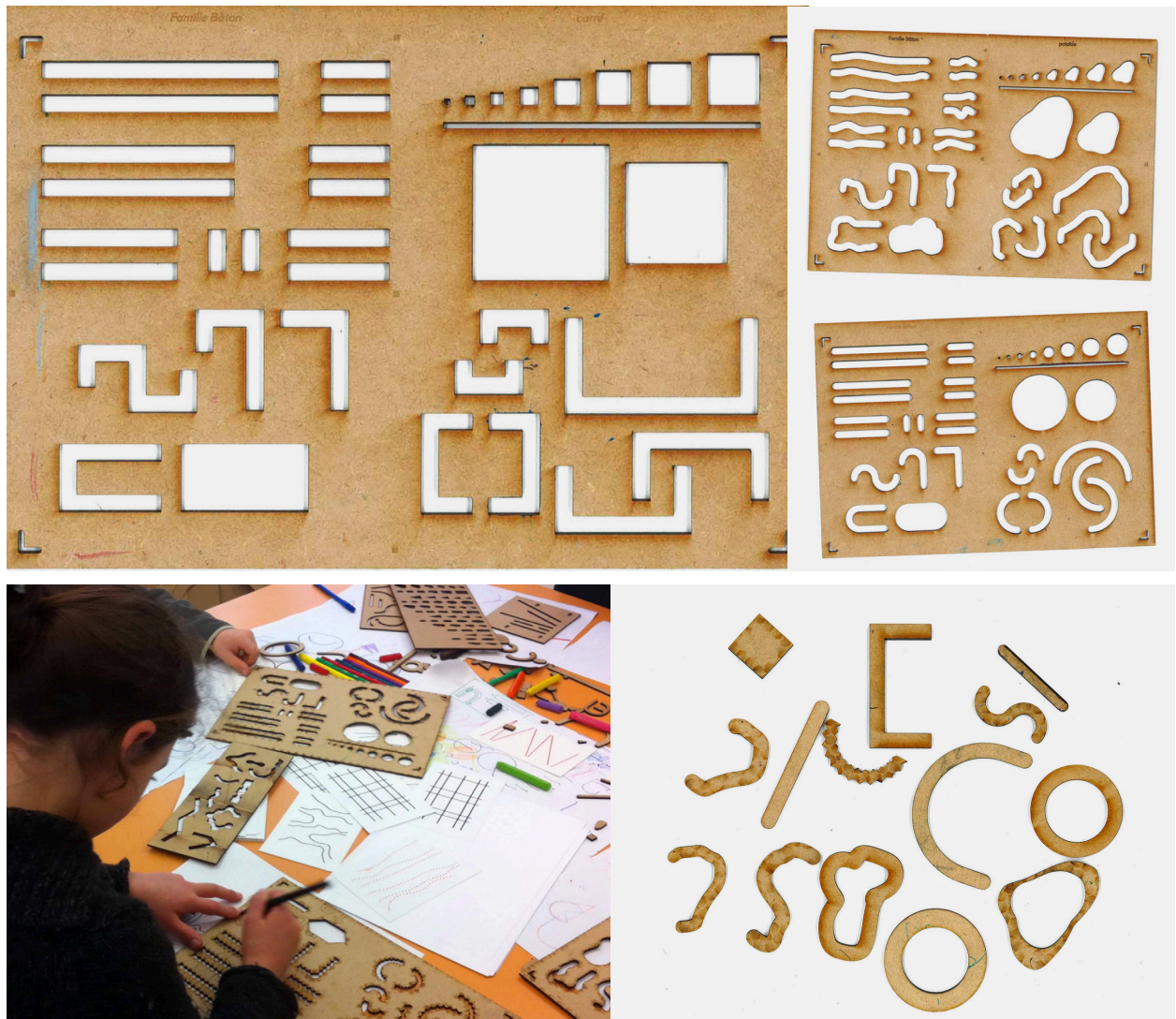


(fig. 102) Les Pretextes, Learning Forms, 2014

**Elosia Perez, graphiste**

Les « Prétextes » sont des normoglyphes en Plexiglas de différentes couleurs destinés à aider les enfants à dessiner. Ils font partie du projet expérimental « Learning forms ». Le « learning Forms » est « un laboratoire de conception, fabrication et diffusion d'outils éducatifs qui revendiquent leur matérialité et témoignent d'une attention portée aux objets inscrits dans un processus d'apprentissage ». Elosia Perez





**(fig. 103) Les kits pédagogiques pour la création typographique en classes primaires, 2018.**

**Lucile Bataille, Graphiste, Studio Structure Bâtons**

Le studio Structure Bâtons s'est spécialisé autour de problématiques liées à la transmission des savoirs. Il s'intéresse notamment aux dispositifs didactiques qui interviennent dans les mécanismes d'apprentissage du langage et réfléchit aux connexions possibles entre design et pédagogie, motivé par une actualisation de la méthode Freinet dans le paradigme des outils numériques.

(a) « grilles, déplacements »,

Exposition à la Galerie Tator, Lyon, 2018

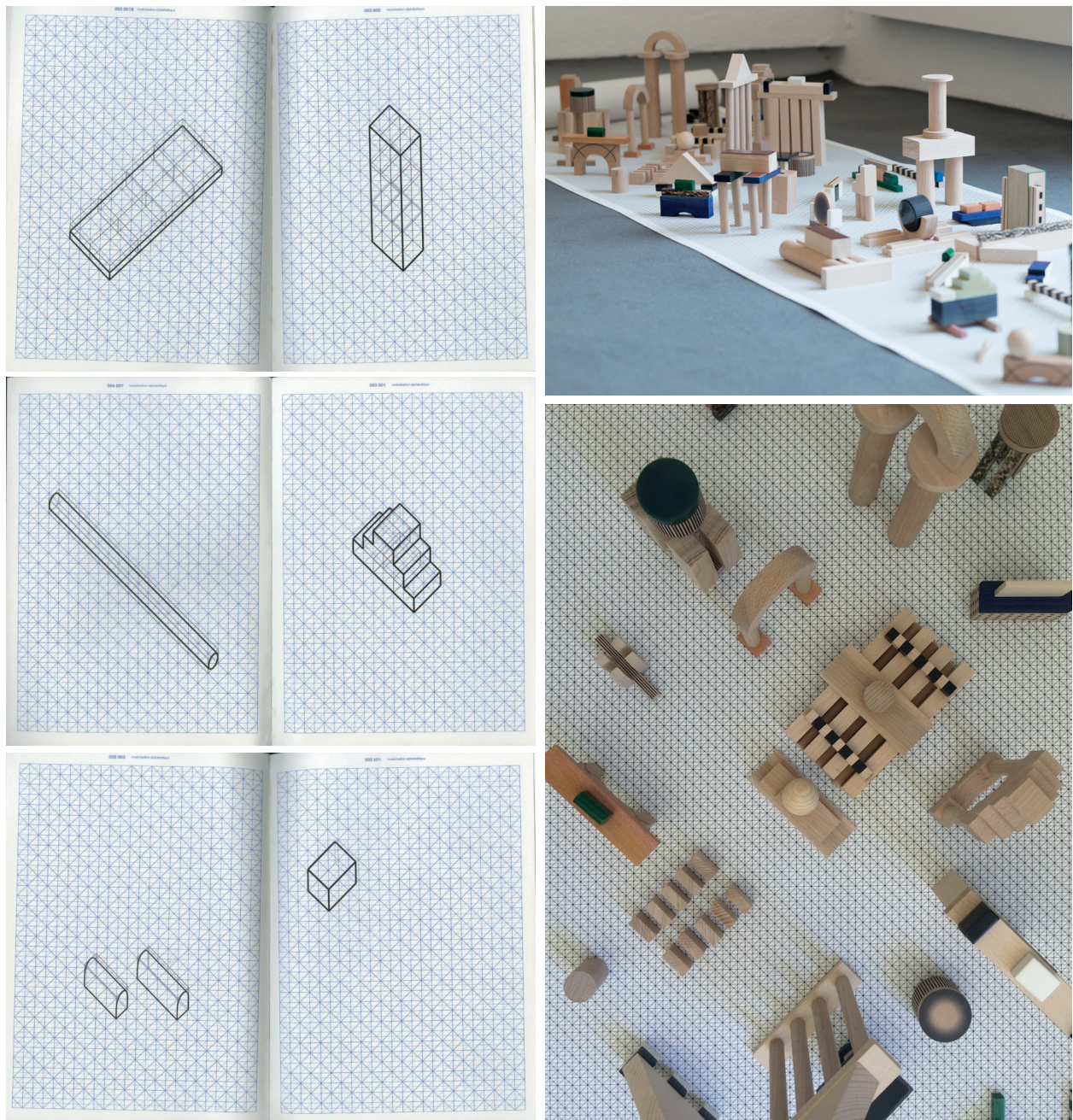
(b) Les Normographe : Modules réalisés à partir de plaques de bois découpées au laser. Ils permettent d'appréhender le signe par différentes process formelles élémentaires : la forme, la contre-forme, le tracé, la copie, l'assemblage qui peuvent-être facilement utilisés pour la création de supports d'expressions (affiches, journaux, blogs, mails, pancartes, signalétiques, etc.).

<http://b-a-t-o-n-s.fr/>



(fig. 104) Les kits pédagogiques pour la création typographique en classes de primaires, 2018  
 Lucile Bataille, Graphiste, Studio Structure Bâtons





**(fig. 105) Alphabet, 2015**  
**Pernelle Poyet, designer**

« Le projet Alphabet, présenté à la villa Noailles durant l'été 2016, est une bibliothèque de conception comprenant des formes, des matériaux, des systèmes d'assemblages et des traitements de surface, dans laquelle puiser pour réaliser des petits objets, du mobilier ou de la mise en espace. Alphabet marque en amont, la volonté de créer les bases d'un langage ou de récits à travers la réalisation en puissance de prototypes. » P.Poyet





(a)



(b)



(c)

**(fig. 106) : Architangram (a), Les chimères (b), Les bruits (c), 2012**

**Julien Nedelec, Artiste.**

*Avec un dispositif quasi Frobelien, Julien Nédélec manipule les codes du monde de l'art, convoquant certaines de ses formes les plus emblématiques. Il élabore un répertoire formel « post-moderniste » en s'attachant aux principes de séries, des progressions géométriques, aux structures modulaires pour proposer des dispositifs narratifs.*

*Architangram est une installation inspirée du tangram, jeu d'origine chinoise composé de sept formes géométriques qui permettent de faire plus de soixante mille dessins, mais uniquement treize formes géométriques simples. L'artiste a construit les treize formes, en volume et en béton, et les a disposées ensuite de manière à former une sculpture figurative.*





*(fig. 107) : La chute d'une feuille au Brésil peut-elle déclencher une tornade au Texas ? 2012  
Julien Nedelec, Artiste.*

informatique<sup>(331)</sup>, architecturale et pédagogique. Les dispositifs actuels qui en résultent s'inspirent des concepts d'antan qui imprègnent désormais les milieux du jeu éducatif. Pour les artistes et les designers, ces dispositifs ouvrent la voie à l'innovation dans le domaine des outils créatifs d'aides à la conception, non seulement pour les enfants, mais aussi pour l'ensemble de la société civile. Si l'architecture, de moins en moins impliquée dans les enjeux pédagogiques, peine à s'approprier ce nouveau champ de l'innovation numérique et participatif, les dispositifs tangibles que l'on voit apparaître sur le marché des jeux éducatifs, sont imprégnés par la culture architecturale. Ils utilisent les mêmes terminologies pour en extraire leurs syntaxes plastiques et leurs modes opératoires. On prétend apprendre les rudiments de l'informatique aux enfants et aux adultes néophytes avec des outils simplifiés à la manière des jeux de construction, dans lesquels coexistent une stratégie formelle ou spatiale qui s'apparenterait à une démarche de conception de projet dans sa phase d'expérimentation. Le bureau traditionnel de l'architecte devient l'espace du jeu qui caractérise désormais la liberté de l'acte de création de l'ère post-digital<sup>(332)</sup>. À travers les projets des designers, des artistes, des graphistes, on observe bien un nouvel intérêt pour les outils d'aide au dessin que les « concepteurs » ou les apprentis concepteurs utilisaient avant l'ère l'informatique, comme , par exemple le Ludographe de l'artiste Paul Cox (**fig. 101**), les Prétextes de la graphiste Elosia Perez (**fig. 102**), ou encore les kits pédagogiques de Lucile Bataille (**fig. 103, 104**).

### 3.6 Le mouvement neo-Froebélienne : le retour du langage de forme élémentaire dans les dispositifs de conception ludiques et éducatifs.

La plastique Froebélienne resurgit de plus en plus dans les pratiques artistiques, comme un moyen d'accéder au langage de la conception architecturale. La designer Pernelle Poyet propose avec l'outil de conception *Alphabet* (**fig. 105**), une panoplie de 900 formes élémentaires qui s'assemblent librement et permettent concevoir n'importe quel objet. Avec *Architangram*, *Chimères*, et *Bruits*- l'artiste Julien Nedelec manipule les codes formels de l'art et de l'architecture en s'attachant au principe de série, d'assemblage géométrique et modulaire, pour proposer des dispositifs narratifs quasi froebéliens (**fig. 106, 107**).

« Tout un type de pratiques [...] ont déferlé sur le monde de l'art dans les dix-quinze dernières années, qui ressuscitent ou qui redécouvrent des œuvres, des figures, des

331 En particulier au IA Lab et au MediaLab du MIT.

332 Knox, J. (2019). What Does the 'Postdigital' Mean for Education ? Three Critical Perspectives on the Digital, with Implications for Educational Research and Practice. *Postdigital Science and Education*, 1(2), 357370. <https://doi.org/10.1007/s42438-019-00045-y>



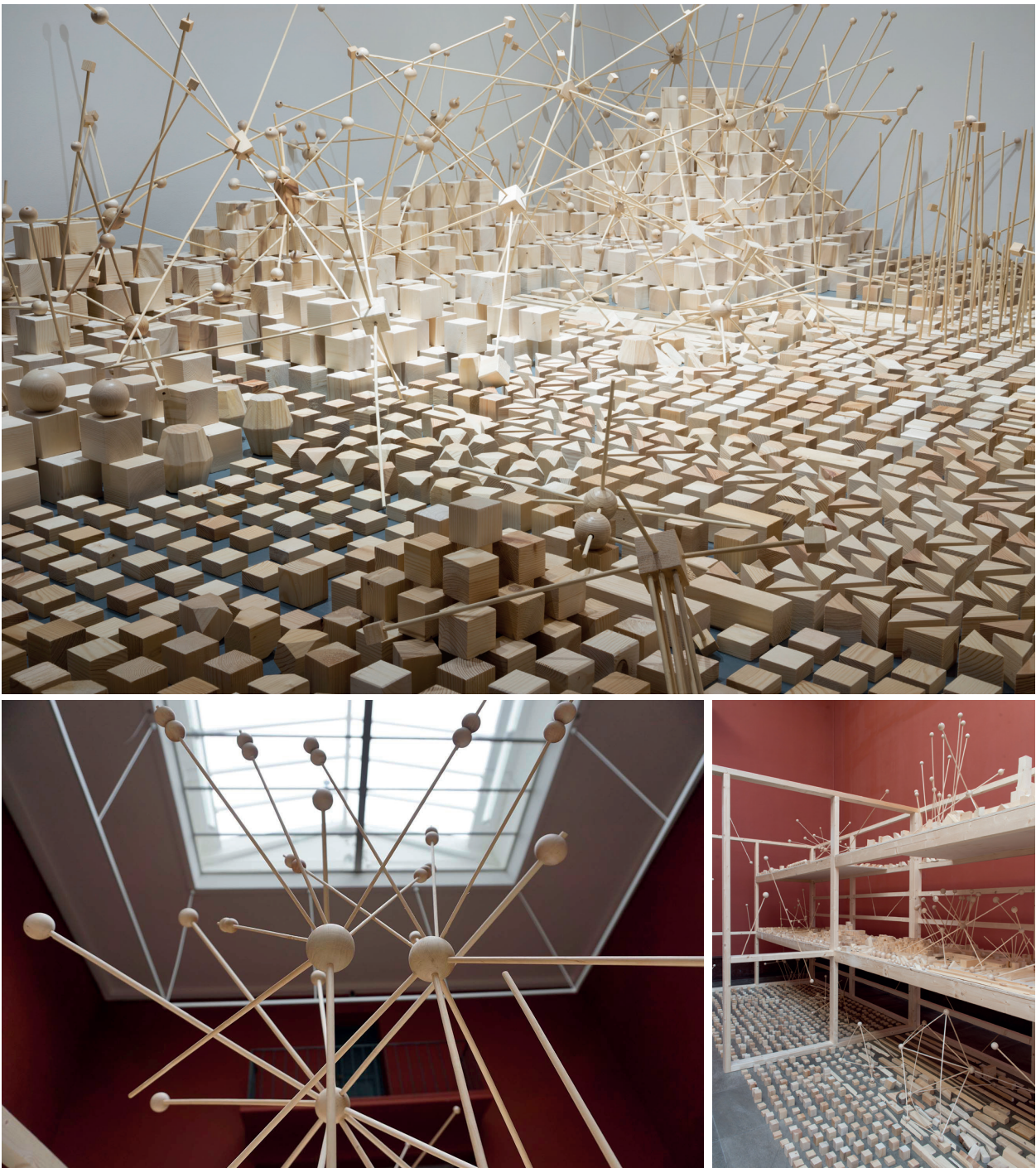
**(fig. 108) Fröbel Fröbelisé, 2014**

**Aurélien Froment**

*Fröbel freobelisé est une exposition présentée à la villa Arson, qui remet en scène les jouets éducatifs de Friedrich Fröbel (1782-1852), et réalisée avec la collaboration de Norman Brosterman, Scott Bultman (Fröbel USA).*

*« Les dons sont présentés dans l'exposition avec un ensemble de photographies représentant chaque objet, cartographiant la pédagogie de Fröbel tout en créant des relations avec d'autres utilisations de la grille géométrique dans les domaines de l'art, de l'architecture ou de l'industrie. Chaque don est représenté par Froment de différentes façons : aux trois domaines de formes proposés par Fröbel — nature, connaissance et art – Froment proposent d'en ajouter deux autres, formes culturelles et formes matérielles. »*



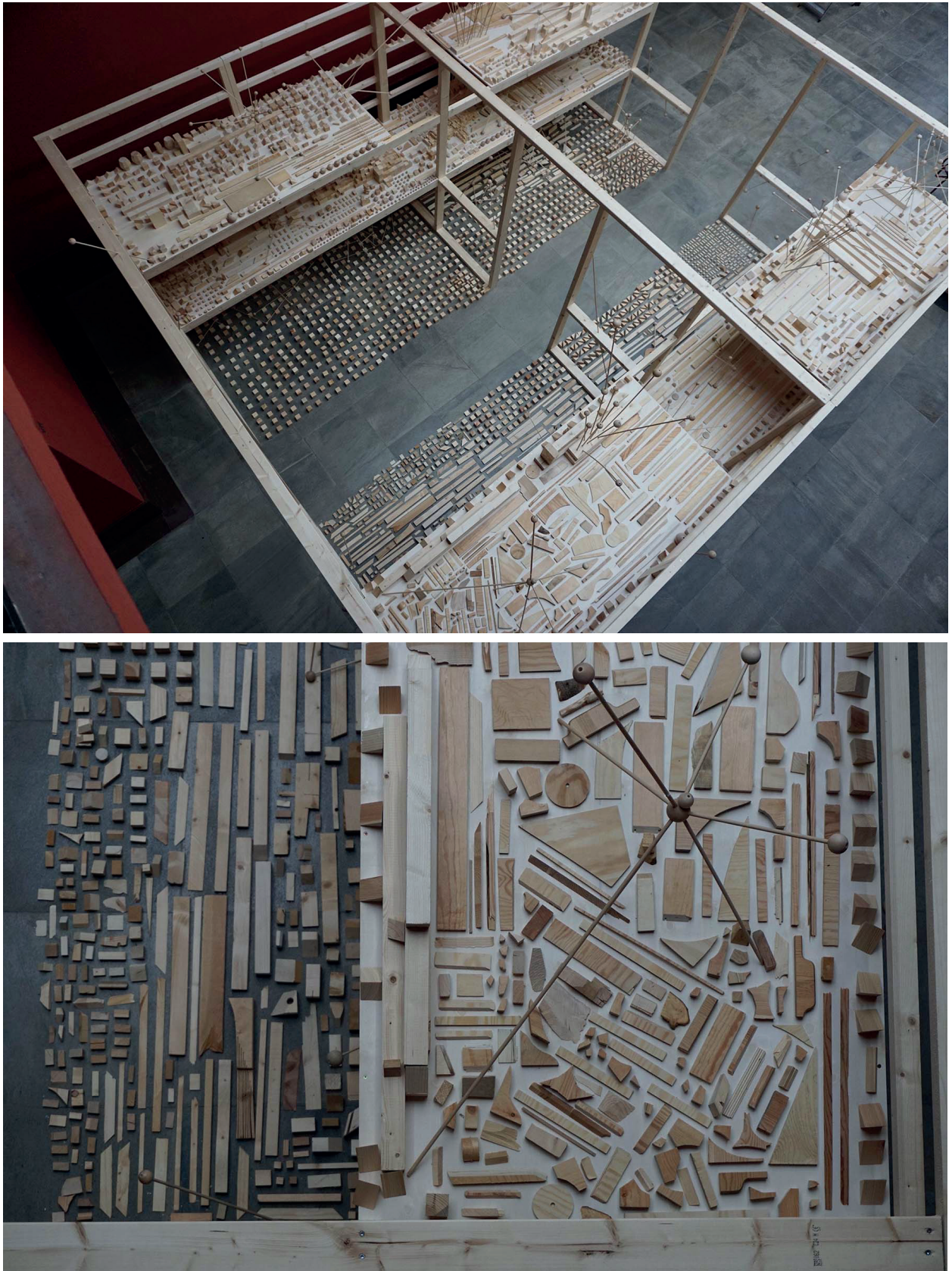


*(fig. 109) The Wood Archive, 2015*

**Eamon O'Kane, Wood Archive, Norwegian Sculpture Biennial 2015, Vigeland Museum, Oslo, Norway**

*L'architecture est au centre des investigations de Eamon O'Kane. Dans son installation The Wood Archive (2015), créé pour la Norwegian Sculpture Biennial, les blocs de construction Frobelien disposés dans l'espace, Eamon O'Kane cherche à rendre visible la façon dont nous produisons des formes. La mise en scène de l'artiste ressemble autant à un jeu de construction qu'à un atelier d'architecte, montrant finalement que les deux mondes se rejoignent : les blocs de construction nous aident à visualiser et à explorer le monde qui nous entoure.*





*(fig. 110) The Wood Archive, 2015*

*Eamon O'Kane, Wood Archive, Norwegian Sculpture Biennial 2015, Vigeland Museum, Oslo, Norway*





*(fig. 111) Les dons de Froëbel, Workshop, 2019  
Fröbel Kindergarten Movement,  
Organisé par Fröbel USA pour les adultes*

architectes, etc. qui ont été négligés, oubliés par l'histoire. C'est devenu un genre d'œuvre en tant que tel, et très souvent la question de l'accapuration du capital symbolique de l'œuvre originale n'est pas réglée, ou est insuffisamment problématisée, et le matériau historique utilisé est ce qui fait tout l'intérêt de l'œuvre... »<sup>(333)</sup> Avec son installation *Fröbel Fröbelisé*<sup>(334)</sup>, l'artiste Aurélien Froment<sup>(335)</sup> fait renaître les œuvres du pédagogue qui incarnent pour l'artiste l'invention d'un langage universel. Froment met en scène différents publics qui manipulent les mêmes petits objets en bois disposés sur un plan quadrillé, mais chacun de ces acteurs a des objectifs et des compétences qui diffèrent : un collectionneur de jouet qui classe, une institutrice qui transmet, un architecte qui construit, un artiste expérimente, un enfant joue ... À partir de la manipulation des formes, chacun sa propre représentation. Ce qui révèle ainsi que le système d'agencement des d'objets sur la grille quadrillée peut encore servir à la représentation de toute forme de démonstration qu'elles soient empiriques, narratives, plastiques, abstraites, mathématiques, physiques, statiques... À travers cette installation, Froment cherche à montrer comment les dons de F. Fröbel établissent des intersections entre les domaines de l'art, de l'architecture, de l'industrie, et de l'éducation qui produisent de nouvelles formes de création (**fig. 108**).

Le plasticien Eamon O'Kane porte un intérêt particulier à l'architecture moderne. Il explore à travers ses installations, les modes compositions formelles et spatiales des projets construits par Frank Lloyd Wright, Charles Eames, Buckminster Fuller, éduqués à la méthode Fröbel. En manipulant lui-même des pièces de jeux extraites des dons, O'kane construit des installations de grandes échelles, comme « history of Play », où il expose des pièces d'architectures à « construire » ou des paysages architecturaux et urbains, jouables. (**fig. 109, 110**).

Le designer et éditeur de jeux éducatifs Scott Bultman<sup>(336)</sup> consacre une partie de son travail à démontrer que les méthodes pédagogiques de Fröbel méritent d'être réactualisées à l'ère de la révolution Maker, pour repenser radicalement l'apprentissage. En 2015, il fonde Fröbel USA<sup>(337)</sup>, un organisme de formation et de diffusion de l'idéologie Froebélienne s'adressant à tous les publics (**fig. 111**). Cet organisme cherche à établir un nouveau cycle d'éducation dédié à l'apprentissage du design pour

333 Aubart, F. (2016, 10 octobre). *Aurélien Froment* | *Zérodeux* / 02. zero deux.fr. <https://www.zerodeux.fr/guests/aurelien-froment/>

334 <https://www.villa-arson.org/2014/04/frobel-frobeled-aurelien-froment/>

335 Froment, A. (2018). *Trois contes doubles*. Les Presses du réel.

336 Architecte, Auteur, créateur de jouets, Scott Bultman a promu la méthode originale Fröbel Kindergarten au niveau international depuis 1997.

337 <https://www.Froebelusa.com>

tous. Avec son nouveau projet « The Garden of Children »<sup>(338)</sup>, Frøebel USA diffuse une série documentaire sur l'utilisation des Dons dans l'innovation pédagogique actuelle. Avec les témoignages de personnalités du monde de l'éducation (experts, auteurs, institutions, chercheurs, artistes, architectes), qui ont su remettre en scène les vertus de la méthode Frøebel, « The Garden of Children » révèle l'influence de cette dernière sur l'avenir de l'éducation. Celle-ci a désormais sa propre appellation : le « Hands-On Frøebel Learning », formant un mouvement pédagogique qui succède en quelque sorte au « hand-and STEAM Learning ». « The Garden of Children » est en passe de devenir le média incontournable du « Hands-On Frøebel Learning ». Ce média rassemble un certain nombre de références bibliographiques, dont certaines très récentes<sup>(339) (340)</sup>, des interviews, des textes historiques, et propose des cycles de formation à destination des enseignants, des professeurs d'université, des chercheurs, des artistes, designers, architectes<sup>(341)</sup>. En outre le « Hands-On Frøebel Learning » s'intéresse particulièrement aux méthodes de conception architecturale, et milite sur l'intégration de la discipline dans les programmes scolaires, en démontrant les liens originels entre les Dons et le mouvement moderne en architecture<sup>(342)</sup>.

Parmi les contributeurs actifs, on retrouve des professeurs d'université d'architecture ou de design, qui élaborent leurs pédagogies à l'aide des dispositifs frøebéliens. Ancien collaborateur de Seymour Papert, Mitchel Resnik, qui dirige le célèbre « Lifelong Kindergarten »<sup>(343)</sup> du MIT MediaLab, affirme que sa pédagogie reproduit celle d'une école maternelle Frøebelienne. Très créatif et prolifique, le processus pédagogique du « Lifelong Kindergarten » valorise la démarche empirique et intuitive dans la conception scientifique, technologie et artistique. Comme à l'école maternelle, les jeunes designers apprennent avec leur spontanéité, en jouant avec leur main, leurs corps, et au contact des autres. « *Les étudiants créés joyeusement en collaborant les uns les autres, et cela les aides à se développer en tant que penseurs créatifs* ». Auteur de l'ouvrage « *Lifelong Kindergarten Cultivating Creativity Through Projects, Passion, Peers...* », un manuel pédagogique à destination de toutes les générations, Resnick défend l'idée que la méthode Frøebel, centrée sur le jeu et l'activité manuelle est modèle durable

338 [www.gardenofchildren.org](http://www.gardenofchildren.org)

339 Wasmuth, H., *Frøebel's Pedagogy of Kindergarten and Play*, ed. Routledge, 2020.

340 Provenzo, E. (2019). Friedrich Frøebel's Gifts, Connecting the Spiritual and Aesthetic to the Real World of Play and Learning. *American Journal of Play*, 2, 8599. <https://www.journalofplay.org/sites/www.journalofplay.org/files/pdf-articles/2-1-article-friedrich-Frøebels-gifts.pdf>

341 <https://www.gardenofchildren.org/experts.html>

342 Brosterman, N. (1997). *Inventing Kindergarten* (1st éd.). Harry N. Abrams.

343 «The Lifelong Kindergarten group develops new technologies, activities, and communities to support young people, from all backgrounds, in creative learning experiences, so they can develop the skills and mindsets needed for success and happiness in today's fast-changing world. » <https://www.media.mit.edu/groups/lifelong-kindergarten/overview/>.



qui peut s'appliquer bien au-delà de l'apprentissage pour les enfants, et donc aux individus de tous âges. Imaginer, créer, jouer, partager, réfléchir, collaborer, explorer à travers des processus artistiques est nécessaire aujourd'hui pour vivre en harmonie avec le progrès technologique qui se produit au quotidien. Pour Resnick, « Hands-On Fröbel Learning » permet avant tout d'exploiter le potentiel créatif des technologies contemporaines par le jeu et la pratique artistique.

L'architecte Terry Knight, chercheur et professeur de Design et d'Informatique au département d'architecture du MIT expérimente sa méthode nouvelle pédagogique du « hand Learning by Fröbel assisté par l'ordinateur ». Les grammaires des formes de Fröbel ont été à l'origine des premières théories informatiques, et des premiers logiciels d'aide à la conception architecturale en 3D<sup>(344)</sup>. Cependant, ces pratiques de conception générées par les outils informatiques ont privilégié le dessin des formes, reléguant la manipulation matérielle, c'est-à-dire la maquette, en second plan dans le processus d'élaboration. Les dons de Fröbel offrent aujourd'hui une nouvelle approche de l'initiation à la conception spatiale, dans laquelle le langage des formes est d'abord appréhendé par le prisme de la matière, avant d'être calculé et réglé par l'ordinateur. Cette sorte d'inversion « naturelle » des méthodes de création en trois dimensions résulte des nouvelles méthodes de fabrication numérique qui s'accompagnent d'un intérêt croissant pour la fabrication traditionnelle et pour les pratiques manuelles artisanales<sup>(345)</sup>. Terry Knight propose aussi une nouvelle théorie computationnelle de la conception générative basée sur la fabrication de grammaires de formes, matérialisées par des objets géométriques physiques. Pour Knight, la meilleure façon pour les étudiants débutants de s'initier à la conception est de faire des exercices de manipulation manuellement dans l'espace. Les étudiants ayant une expérience limitée ou nulle en matière de conception peuvent ne pas être en mesure de voir au-delà de ce qu'ils ont physiquement entre les mains, ce qui peut limiter leur compréhension de l'utilité des grammaires de formes. La pratique informatique vient compléter les applications manuelles, permet de tester des règles, de générer des modèles complexes, difficiles à comprendre avec un modèle physique, aussi sophistiqué soit-il. Ainsi, lier la manipulation plastique et l'implémentation informatique, permet de montrer aux novices la puissance créative et conceptuelle des grammaires de forme. En outre, cette pratique pédagogique offre la possibilité aux futurs concepteurs, qui ne souhaitent pas maîtriser les techniques numériques, d'utiliser avec succès des outils de construction tactiles, qui permettent de maîtriser rapidement les règles élémentaires de composition spatiale.

344 Stiny, G. (1980). Kindergarten grammars : designing with Fröbel's building gifts. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 7(4), 409-462. <https://doi.org/10.1068/b070409>

345 Knight, T., & Stiny, G. (2015). Making grammars : From computing with shapes to computing with things. *Design Studies*, 41, 828. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.08.006>

*Shape grammars have offered a unique computational theory of design over the past forty or so years. Although the focus of shape grammar theory has been on shapes and designs, the material objects or things that might comply with shapes have also been considered. In this paper, I trace the history of approaches for specifying material properties and things through shape grammars. I identify early trends and their limitations, and then propose a new possibility. In early approaches, material things were viewed through the lens of shapes. I argue for a new approach in which shapes are viewed through the lens of material things. Shape grammars are adapted to define making grammars for computing things. Shapes are just one of many things that can be made with these grammars. I conclude with a discussion of the relationship of designing and making, and suggest that designing is a kind of making.*<sup>(346)</sup>

## Conclusion

Cette recherche nous a permis de montrer comment les convergences entre les outils de formalisation des projets architecturaux et les interfaces de jeux éducatifs matériels et tangibles trouvent leurs racines dans l'exploitation de la syntaxe formelle et structurelle des jeux de construction utilisée pour élaborer les premiers outils d'aide à la conception architecturale. Nous avons montré comment les sciences de l'informatique, de l'architecture, du jeu et de la pédagogie partagent la même histoire en se côtoyant intimement pendant les décennies au cours desquelles les premiers logiciels de dessin assisté par ordinateur se sont imposés. Nous avons pu constater que les jeux de construction froebéliens<sup>(347)</sup> à base de blocs ont été à l'origine des premiers outils d'aide à la conception informatique, et ont contribué à créer une filiation conceptuelle entre les sciences de l'architecture et le mouvement de l'éducation alternative constructiviste<sup>(348)</sup> qui a suivi l'évolution des technologies numériques. Nous avons vu comment les premières interfaces d'aide à la conception participative à l'aide de blocs tangibles ( Computer-Aided Participatory Design) sont apparues de manière expérimentale, à contre-courant du développement des logiciels d'aide à la conception qui se sont largement diffusés dans les milieux de l'architecture ( computer Aided-design , CAD, CAO...). Les questions relatives à l'appropriation des technologies par les utilisateurs non experts, qui se sont posées à l'époque de l'immersion de la société dans l'ère de l'informatique, ont trouvé un nouvel écho avec l'arrivée des technologies de l'information et de la communication (TIC). La démocratisation de l'accès à l'Internet et aux médias informatiques, le déploiement du Cyberspace et des industries vidéoludiques, l'émergence du mouvement du *Libre (l'opensource)* , ont été des déclencheurs de la contre-culture des sciences de l'informatique, de l'architecture et de l'éducation qui partageaient les mêmes convictions. L'ensemble de ces réflexions a abouti à l'invention expérimentale d'une nouvelle famille d'interfaces de conception tangibles conçues sur le modèle des jeux de construction, dédiées à l'apprentissage précoce de la programmation informatique. Privilégiant « la manualité intuitive qui participe au développement de l'imaginaire créatif »<sup>(349)</sup> , ces jeux de construction tangibles ont placé l'ordinateur en arrière-plan.

347 Les Dons de Friedrich Fröbel, appelés aussi les Kindergarden

348 Jean Piaget, Seymour Papert

349 Sennett, R. (2010). Outils d'éveil. *Ce Que Sait La Main (Sciences - Sciences Humaines) (French Edition)* .Albin Michel. 285

Nous avons montré comment, simultanément à ces innovations, la société civile s'est emparée des outils de fabrication numérique dans la continuité de la dynamique de la mutualisation des savoirs dématérialisés. Cette accessibilité ouverte et libre s'est imposée comme une idéologie culturelle, économique et politique, en réaction à l'omniprésence des produits numériques industriels qui aliènent la liberté d'agir des individus. Un tournant s'est opéré à travers l'invention de nouveaux processus de conception démocratiques, qui se focalisent en particulier sur les enjeux éducatifs. En effet, cette culture de l'autonomie par rapport à la production des objets numériques ne s'improvise pas et demande à ceux qui s'y intéressent d'acquérir les compétences de l'informatique et de l'électronique<sup>(350)</sup>. Elle peut s'installer progressivement, puis se diffuser abondamment dans la société, notamment s'il existe en parallèle une éducation populaire appropriée à l'égard de la machine, en direction du jeune public, futur consommateur des technologies numériques.

L'intégration de projets d'initiation à la programmation informatique dans l'éducation, l'apparition progressive de jeux éducatifs dédiés à l'apprentissage du code, la prolifération des microcomposants électroniques éducatifs, font resurgir les modèles embryonnaires imaginés presque un quart de siècle auparavant dans la recherche informatique<sup>(351)</sup>, architecturale et pédagogique. Les dispositifs actuels qui en résultent s'inspirent des concepts de cette époque qui imprègnent désormais les milieux du jeu éducatif. Pour les artistes et les designers, ces dispositifs ouvrent la voie à l'innovation dans le domaine des outils créatifs d'aide à la conception, non seulement pour les enfants, mais aussi pour l'ensemble de la société civile.

Si l'architecture, de moins en moins impliquée dans les enjeux pédagogiques, peine à s'approprier ce nouveau champ de l'innovation numérique et participative, les dispositifs tangibles que l'on voit apparaître sur le marché des jeux éducatifs, procèdent en revanche de bon nombre d'attributs de la culture architecturale. Ils utilisent les mêmes terminologies pour en extraire leur syntaxe plastique et leurs modes opératoires. Ces jeux s'emploient à dispenser l'apprentissage des rudiments de l'informatique, aux enfants aussi bien qu'aux adultes néophytes, par le truchement d'outils simplifiés qui s'apparentent à des jeux de construction dans lesquels coexistent des stratégies formelles et spatiales très semblables à la démarche de conception de projet dans sa

---

350 En plus des compétences du designer, de l'artiste, de l'artisan.

351 En particulier au IA Lab et au MediaLab du MIT.



phase d'expérimentation. Le bureau traditionnel de l'architecte devient l'espace du jeu qui caractérise désormais la liberté de l'acte de création de l'ère post-digital<sup>(352)</sup>.

Le questionnement rétroactif de ce mouvement paradigmatique a montré comment les explorations technologiques, corrélées aux enjeux démocratiques et pédagogiques se sont imposées lors de l'émergence des interfaces hommes-machine, à partir des années 70, puis lors des décennies suivantes, marquées par l'arrivée du web et de la fabrication numérique. Nous avons pu constater comment des recherches et des expérimentations embryonnaires et utopiques d'architectes visionnaires sont réappropriées par les disciplines de la création, en particulier dans le design et les arts graphiques et plastiques, mais aussi dans l'éducation et les jeux qui ciblent les jeunes publics. Grâce aux matériaux ludiques et technologiques d'aujourd'hui dédiés à l'apprentissage qui puisent leurs modèles dans la culture architecturale, celle-ci peut renouer des liens avec les enjeux de l'éducation et la participation.

Peut-elle inventer de nouveaux outils d'aides à la conception dans le but de démocratiser son propre savoir et de donner sa place à d'autres<sup>(353)</sup>. La question reste ouverte.

### Les Jeux tangibles d'architectures à l'ère de l'innovation sociale

Le travail de recherche en architecture s'inscrit à contre-courant de l'évolution actuelle des logiques numériques de conception graphique qui s'emploient à accroître la performance des procédés technologiques avec l'intégration de variables paramétriques de plus en plus complexes. En gagnant en efficacité, celles-ci s'orientent exclusivement vers l'automatisation du processus formel et la simplification modulaire des interfaces graphiques. Les prouesses formelles, techniques, collaboratives<sup>(354)</sup> se traduisent aussi par la mise en place d'un mode de production optimisée des représentations en maquettes, dont le processus est devenu en quelque sorte automatisé et externalisé à la machine. On peut dire que l'élaboration manuelle du projet par le dessin et la maquette qui laissaient une place aux découvertes hasardeuses dans l'expérience de la conception, n'est quasiment plus intégrée dans le processus créatif.

Notre réflexion défend une approche de la conception qui se positionne à l'opposé des objectifs ciblés par les outils numériques actuels en termes de performances.

352 Knox, J. (2019). What Does the 'Postdigital' Mean for Education ? Three Critical Perspectives on the Digital, with Implications for Educational Research and Practice. *Postdigital Science and Education*, 1(2), 357370. <https://doi.org/10.1007/s42438-019-00045-y>

353 « L'esprit de jeu n'est pas autre chose que l'esprit du don déployé dans le registre ludique, et réciproquement, sans doute : que l'esprit du don n'est autre que l'esprit de jeu déployé dans le registre oblatif » Caillé, A. (2015). *L'esprit du jeu. Jouer, donner, s'adonner*, Revue du MAUSS, n° 45, 2015. Lectures, 231253. <https://doi.org/10.4000/lectures.19455>

354 Entre experts : Architectes, ingénieurs, entrepreneurs ...

Elle vise à identifier des opportunités créatives, en s'intéressant à la simplification des technologies numériques devenue inéluctablement opaque pour le quidam, afin de retrouver les bases d'un processus ouvert<sup>(355)</sup>. Cette simplification des matériaux numériques existe déjà dans les milieux pédagogiques et ludiques, motivés par un besoin urgent d'apprendre aux nouvelles générations à extraire leurs pratiques ludiques de l'immatérialité sans pour autant se détourner des technologies. Ces matériaux numériques sont maniables, malléables, et tangibles. Ils sont en quelque sorte comme des pièces détachées d'une machine ou d'un logiciel qui s'assemblent manuellement, gestuellement, selon des procédés que l'on pourrait associer à la conception d'une maquette d'architecture ou à un jeu de construction.

Il s'agit donc de reconsidérer les technologies tangibles par le prisme du jeu comme matériau de conception pour tenter un rapprochement avec le public en gommant l'écart entre les experts et les non-experts. Ces matériaux permettraient de réhabiliter les outils manuels<sup>(356)</sup> que les architectes ont utilisés avant l'arrivée d'informatique, de revenir à l'empirisme du geste et à la richesse de la matière comme vecteurs de l'aléatoire créatif augmenté d'affordances narratives grâce aux ressources actuelles du transmédia, de l'interactivité tangible, et de la fabrication numérique, en une nouvelle génération d'outils d'aides à la conception participative<sup>(357)</sup>.

La révolution numérique projette la condition humaine vers un univers dans lequel les technologies régulent, pour le meilleur ou le pire, les activités économiques, les liens sociaux et les organisations spatiales collectives et privées. Corrélée à celle du numérique, la société naissante de la révolution « des égaux » et de la « réciprocité bienveillante »<sup>(358)</sup> basée sur l'économie contributive, les dynamiques de co-construction, l'open source se caractérise par la montée en puissance de l'innovation sociale. En 2014, à l'occasion du OuiShareFest<sup>(359)</sup>, intitulé « *Du collaboratif au contributif : vers le 3e Web* », Bernard Steigler déclarait :

*Nous avons besoin d'une société basée sur une économie de contribution qui redéveloppe et reconstruit des savoirs . Nous avons besoin des capacités, de reconstruire les processus de capacitation au sens où en parle Amartya Sen ( prix Nobel de l'économie en 1998) . Aujourd'hui, une véritable recapacitation est à nouveau rendue possible par les réseaux numériques dans les sociétés consuméristes en crise. Cette technologie permet de développer des processus relationnels qui produisent*

355 De l'open culture

356 Tables à dessin, papiers calques, lames à rasoir, trames autocollantes, normographes, encre noir, rapidographs, colle, cartons, mousse, cutter, photocopieurs....

357 Computer aided to participatory design

358 Rosanvallon, P. (2011). *La Société des égaux (Les Livres du nouveau monde) (French Edition)* (SEUIL éd.). SEUIL.

359 <https://www.ouishare.net>

*une grande valeur d'usage, transformable en valeurs d'échange, mais également en valeur pratique non transformable en valeur d'échange, c'est-à-dire en savoir au sens constructif.*<sup>(360)</sup>

Dans ce contexte en mutation, les démarches collaboratives d'invention de l'espace contemporain fondées sur le transfert des savoirs associent de plus en plus la société civile et les architectes. Certains architectes s'engagent aux côtés des citoyens à participer à l'émergence d'un nouveau modèle économique et culturel appelé à remplacer un capitalisme crépusculaire<sup>(361)</sup> comme le proclame Bernard Stiegler. Ceux-ci souhaitent avant tout donner accès à leur culture pour transmettre leurs savoir-faire et leurs savoir-penser. Pour cela, ils ouvrent l'accès à l'opaque « boîte noire » de la conception architecturale dans le but de permettre aux autres de s'en emparer. Ces architectes inventent de nouveaux protocoles de création, accessibles et conviviaux afin, d'une part d'éduquer la société civile, et d'autre part de faciliter la conception collaborative dans les logiques « bottom-up ».

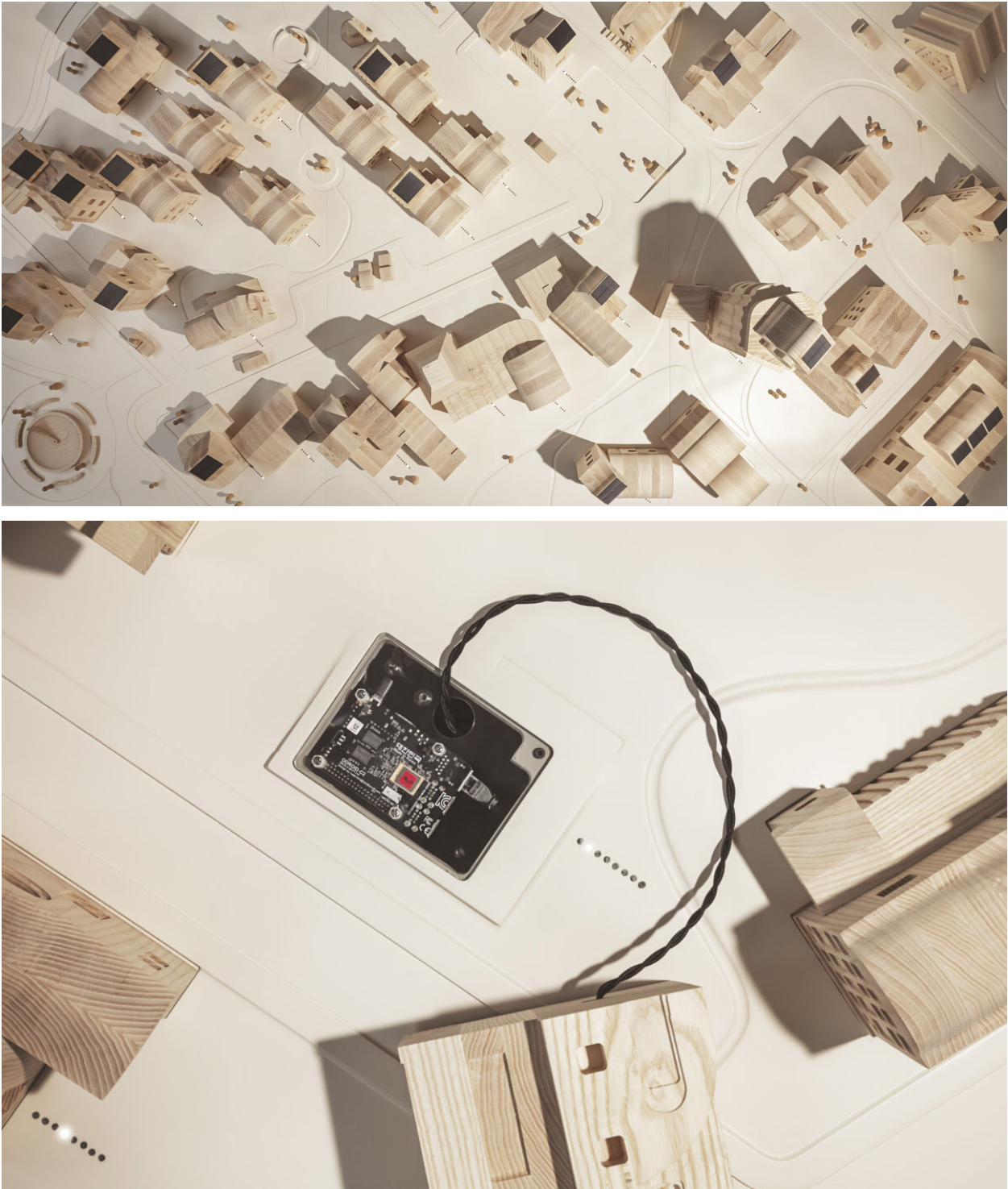
C'est dans ce contexte en ébullition que l'on voit émerger un nouveau paradigme, celui du jeu d'architecture centré autour des notions d'apprentissage des savoirs, de liberté créative, d'engagement et de solidarité, avec d'une nouvelle génération d'outils d'aide à la conception collaborative. Ainsi, de nouveaux processus de conception des projets, qu'ils soient théoriques, programmatiques, architecturaux, urbains, sous la forme de représentation ou de construction dans l'espace, prendraient la forme et la structure du jeu pour laisser la part belle à l'innovation sociale.

Le thème du jeu renaît de nos jours avec le phénomène de la « gamification » de la société qui réactualise en même temps les sciences du jeu. Né du croisement des technologies numériques avec les transmédias et les industries vidéoludiques, oscillant entre la logique marketing de l'économie du divertissement et la réappropriation des fondements du jeu vertueux, ce néologisme désigne aujourd'hui l'élargissement du paradigme ludique à des domaines dont il est habituellement exclu, en particulier celui de l'accès à la connaissance. La métaphore du jeu s'impose un peu partout aujourd'hui comme un fait culturel qui accompagne l'émergence d'une société « émancipée » menée par des citoyens qui luttent contre « *l'appareil d'état gouverné par le marketing globalisé en détruisant tous les outils du savoir* », comme le dit Bernard Stiegler<sup>(362)</sup> dans son manifeste *Ars Industrialis*. La pensée ludique rejoint la pensée pédagogique constructiviste héritée des théories de Jean Piaget qui conduit aujourd'hui à questionner les enjeux de l'apprentissage et de la capacitation des membres de la société active, comme fondation essentielle de la participation démocratique. En tant

360 Firbal, D. (2018, 11 juin). *Du collaboratif au contributif : vers le 3e Web*. Kaizen. <https://kaizen-magazine.com/article/bernard-stiegler-du-collaboratif-au-contributif-vers-le-3eme-web/>

361 « L'économie consumériste est morte, vive l'économie contributive ! » Stiegler, B. (2015, 9 avril). *La Gaîté Lyrique | Économie contributive : ni producteur, ni consommateur*. La Gaîté Lyrique. <https://gaite-lyrique.net/evenement/economie-contributive-ni-producteur-ni-consommateur>

362 Stiegler, B. (2010, 1er janvier). *MANIFESTE 2010 | Ars Industrialis*. <http://www.arsindustrialis.org/manifeste-2010>



**(fig. 112) SolarVille , 2016**

*Space 10, studio de recherche en design, Fablab, avec SANO architecture, Blockchain Labs for Open Collaboration (BLOC), WeMoveIdeas India, Blocktech.*

*SolarVille est une maquette interactive « jouable », dont le but est de sensibiliser le public à la démocratisation de l'accès à l'énergie propre. Un quartier miniature en bois a été construit à une échelle de 1:50 pour montrer comment on peut générer, utiliser, ou vendre, sa propre énergie renouvelable grâce aux panneaux solaires, dans le but de fabriquer une communauté autosuffisante.*

*La démarche du projet SolarVille consiste à transformer une problématique technique très complexe sous une forme familière, accessible et ludique.*



que telle, la pensée ludique ouvre d'importantes perspectives de réflexion sur la fonction du jeu dans une multitude de nouveaux contextes qui entrent dans le champ du design notamment, comme outil de création orienté vers l'éducation, le management collaboratif et le processus d'idéation<sup>(363)</sup>. Dans le champ de l'architecture, comme dans le design, le jeu comme outil de conception partagé devient un nouvel enjeu de projet, un nouveau territoire de fabrication à conquérir par l'invention des dispositifs qui permettent aux architectes et à la société civile de travailler ensemble à la création d'imaginaires collectifs, de trouver et de négocier des idées nouvelles et de les expérimenter librement. Si les architectes s'intéressent, aujourd'hui plus qu'hier, à la fonction sociale du jeu, au jeu comme processus de conception ou de construction, c'est qu'il est devenu possible, utile, nécessaire d'en fabriquer avec l'évolution récente du numérique. Avec l'émergence des matériaux numériques tangibles et des technologies créatives<sup>(364)</sup>, les architectes peuvent désormais déjouer leurs propres outils, et les détourner pour les reconstruire avec de nouveaux systèmes de règles formelles qu'ils doivent inventer pour transposer l'expérience de la conception à celle du jeu. La jouabilité n'est plus strictement numérique. Elle glisse d'un média à un autre, d'un support à un autre, et se transpose dans la matière de la maquette d'architecture (en carton, en papier, en bois, en mousse) désormais devenue facilement modulable, démontable, interchangeable, programmable, interactive, incrémentale. **(fig.112)**

### L'hypothèse du jeu de l'architecte

Cette tentative de penser la maquette comme un jeu s'inscrit dans une perspective de réflexion sur la place de l'architecte en tant que nouvel acteur de la transmission de la culture urbaine et architecturale. La conception ludique est en effet intégrée comme une composante essentielle de la fonction pédagogique englobant les enjeux de l'économie du savoir. Cette recherche s'intéresse ainsi au paradigme du jeu comme art de transmettre et de partager le savoir-penser et le savoir-faire de l'architecte, dans un processus inclusif et réflexif entre expert et non expert ; processus qui inclut de fait les enjeux de solidarité<sup>(365)</sup>, de l'appropriation du projet par des tiers, de sa co-production. Cette réflexion s'ouvre sur l'implication « relationnelle » des parties prenantes qui intègrent le processus de projet, et la capacité de ce dernier, à créer de l'empathie et du dialogue, à construire une culture commune et à faire émerger la créativité et la confrontation des idées entre de différents acteurs. Cela implique

363 L'idéation définit le processus d'émergence d'une idée. Un terme, emprunté de la psychologie, qu'on voit de plus en plus utilisé pour définir les processus de création dans l'innovation sociale.

364 Visible entre autres par l'essor du mouvement maker et du label « Fablab », par le mouvement du libre, le coding, la démocratisation de la fabrication numérique, la réduction des coûts et de la taille du matériel libre du type arduino, etc.

365 « Organiser la solidarité », « Créer du lien social », ces formules sont complémentaires. La solidarité n'étant pas autre chose, comme le dit l'encyclopédie Wikipédia, qu'un « lien d'engagement et de dépendance réciproques entre des personnes ainsi tenues à l'endroit des autres », il devrait être clair qu'être solidaire, c'est se lier. Cette idée de lien, pour ce qu'elle implique de refus de l'isolement, n'est pas nécessairement négative », Huyghe, P. D. (2014). Plaidoyer pour une technique hospitalière, *Le Design : Sociétés, Services, Utilités, À quoi tient le design*. De l'incidence. 49-62



(fig. 113) CCCC.CITY, 2019

**Normal, Designers et Architectes**

Une maquette participative d'architecture combinant les mécaniques du jeu de rôle, de plateau, et du prototype rapide, CCCC.CITY met en scène une ville du futur à travers ses composantes technologiques, sociales et culturelles.

Le temps d'une journée, deux cents « nouveaux citoyens » de tous âges ont été invités à imaginer, construire et explorer une ville fictive. Le projet a été réalisé dans le cadre de « The Sooner Now », événement culturel sur le thème du futur de la ville « Urban Utopias », au centre culturel berlinois Freunde Von Freunden.

que l'architecte s'impose à lui-même une mise à distance<sup>(366)</sup>, un déplacement de son statut de « prescripteur », pour accepter la prise de risque et l'indétermination qu'induit l'intégration des tiers dans un processus de réflexion, où il n'est plus le seul à penser et à concevoir. L'architecte ici prend le rôle, nouveau, de celui d'un designer de processus, plus qu'un designer de projet. Il conçoit les outils qui lui permettent de garantir son propre espace de liberté de création, malgré le fait qu'il soit engagé dans un processus de dépendance réciproque avec des tiers. En même temps, l'architecte doit penser ses outils en adoptant « des techniques hospitalières<sup>(367) (368)</sup> » de manière à leur laisser le plus de liberté possible. De sorte que la recherche et l'affirmation de chacune des libertés au sein du processus de conception deviennent le moteur de la création collective du processus d'idéation. C'est le paradoxe entre recherche d'un dialogue d'une part et recherche de liberté de chacun des acteurs d'autre part qui crée la tension nécessaire au processus productif. Il en est constitutif et s'il est structuré comme un jeu ouvert et réversible<sup>(369)</sup>, il s'apparente à une confrontation vécue positivement<sup>(370)</sup>. **(fig.113)**

### Plaidoyer pour un architecte pédagogue, un nouveau métier

L'architecte est un pédagogue dès lors qu'il enseigne à de futurs architectes au sein d'une école.

Il use de stratégies pédagogiques pour initier à la conception du projet<sup>(371)</sup> les jeunes étudiants débutants qui ne savent pas encore représenter leurs idées. L'expérimentation pédagogique est ici essentiellement basée sur l'initiation à la notation spatiale et à sa formalisation matérielle. Celles-ci qui passent par l'apprentissage de la création formelle, corrélé avec l'acquisition des outils d'expression et de représentation, dont l'accomplissement vise la représentation par le dessin ou la maquette. En outre, l'enseignement du projet s'appuie aussi sur une synergie créative basée sur

366 « La distance est la forme initiale du jeu. Il y a jeu, en quelque sens que l'on prenne ce terme, quand il y a d'abord distance, à partir du moment où, dans l'être, se dessine et se creuse un intervalle qui l'amène à exister pour soi. Il y a jeu, dans un objet quelconque - naturel, technique, biologique, humain - lorsque s'introduit dans son fonctionnement une marge d'indétermination, lorsque se manifeste dans son comportement, pour lui-même et pour qui l'observe du dehors, une certaine imprévisibilité. » Henriot, J. (1989a). *Sous couleur de jouer : La métaphore ludique*. J. Corti.167

367 Hospitalier : recevoir chez soi l'étranger qui se présente, le partage du « chez soi », comme une valeur.

368 Huyghe, P. D. (2014). Plaidoyer pour une technique hospitalière, *Le Design : Sociétés, Services, Utilités, À quoi tient le design*. De l'incidence. 49-62

369 « L'outil juste répond à trois exigences : il est générateur d'efficacité sans dégrader l'autonomie personnelle ; il ne suscite ni esclaves, ni maîtres ; il élargit le rayon d'action » Illich, I. (2003a). *La Convivialité* (0 éd.). Seuil.

370 « Le jeu offre un espace privilégié où s'exerce l'intelligence humaine, à cause du plaisir qu'il suscite, qui attire, qui sait maintenir l'intérêt, et qui est le premier moteur de l'ingéniosité. L'esprit s'y exerce librement, sans les contraintes du réel et les urgences du besoin, il offre des conditions pures d'exercice de l'ingéniosité » Duflo, C., & Monteil, P.-O. (1998). Le jeu, invention d'une liberté dans et par une légalité. *Autres Temps. Les cahiers du christianisme social*, 58(1), 98105. <https://doi.org/10.3406/chris.1998.2054>

371 En première année principalement.

l'implication collective, pour faciliter l'assimilation des connaissances et favoriser le processus d'idéation.

Nous avons pu mettre en œuvre au cours de l'enseignement du projet d'architecture, une dynamique de conception collaborative empirique, qui facilite le processus d'idéation à la fois individuel et collectif. Ce processus peut s'apparenter à une activité ludique qui se produit dans un espace potentiel d'expérimentation<sup>(372)</sup> et qui prend la forme d'un jeu de stratégie, de rôle ou de construction. Les étudiants jouent en apprenant<sup>(373)</sup>. Ils réajustent leurs propos, leurs méthodes, et ils apprennent que l'échec est positif et productif, et que le processus peut se rejouer en dehors de tout objectif de performance. Comme le dit Jacques Henriot :

*Pour qu'une structure ludique qui n'ose pas encore dire son nom puisse faire l'objet d'une approche et d'une appréhension conceptuelles qui conduise à lui attribuer ce nom, il faut et il suffit que l'on adopte envers elle l'attitude que l'on adopte envers ce que l'on appelle habituellement un jeu... /... La distance est la forme initiale du jeu. Il y a jeu, en quelque sens que l'on prenne ce terme, quand il y a d'abord distance, à partir du moment où, dans l'être, se dessine et se creuse un intervalle qui l'amène à exister pour soi. Il y a jeu, dans un objet quelconque – naturel, technique, biologique, humain - lorsque s'introduit dans son fonctionnement une marge d'indétermination, lorsque se manifeste dans son comportement, pour lui-même et pour qui l'observe du dehors, une certaine imprévisibilité.*<sup>(374)</sup>

L'éducation à la représentation s'est complexifiée du fait de la montée en puissance des technologies récentes. Avec l'opposition récurrente entre les pratiques plastiques et les disciplines techniques, on observe un cloisonnement accru des différentes postures. La pratique plastique défendue par les disciplines artistiques considère le numérique comme un matériau créatif, ouvert, et narratif. Les disciplines techniques de la représentation visent l'apprentissage de l'automatisation de la production que permettent maintenant les nouveaux dispositifs de la fabrication numérique. Il est assez rare que ces différentes disciplines se mobilisent ensemble pour hybrider leurs outils et concevoir de nouvelles méthodes de conception dans la mesure où il n'existe aucun cadre académique spécifique où il serait possible de les produire puis de les mettre en pratique. Pourtant, les technologies créatives<sup>(375)</sup> rendent aujourd'hui possible la réconciliation des différentes disciplines qui contribuent à l'initiation à la conception architecturale. Cette réconciliation permettrait l'invention d'une nouvelle génération d'outils d'aide à la conception résultant de la convergence des médias numériques et

372 La localisation de l'espace culturel, Winnicott, D. W. (1971). *Jeu et réalité, l'Espace Potentiel* (1 éd.). Gallimard Education. 186

373 « On oublie trop qu'en jouant on apprend avant tout à jouer, à maîtriser un univers symbolique particulier. » Brougère, G. (2005). *Jouer, Apprendre*. 105. Economica.

374 Henriot, J. (1989). *Sous couleur de jouer : La métaphore ludique (LES ESSAIS) (French Edition)*. J. Corti. 167

375 Le D.I.Y, l'open source, open hardware....



des matériaux tangibles, permettant d'initier les étudiants à la pratique des logiciels à la manière d'un jeu. Pour Henriot, « le jeu, c'est de l'imaginaire en acte »<sup>(376)</sup> :

*Si matériel et structure (la chose avec laquelle on joue et la chose à quoi l'on joue) ne prennent signification et valeur ludiques qu'à partir du moment où quelqu'un décide d'y jouer ou de s'en servir pour jouer, il en résulte, semble-t-il, que la seule « chose » qui soit à définir quand on parle de jeu est la forme de pensée, l'attitude mentale, la conscience singulière de celui qui découvre dans ce matériel et dans cette structure des occasions ou des moyens de jouer.* <sup>(377)</sup>

Cette situation paradoxale et potentiellement favorable, en raison de l'évolution récente des matériaux numériques en open source et des outils de prototypage d'objet<sup>(378)</sup>, peut faire la place à un nouveau champ disciplinaire orienté sur la pédagogie de la conception architecturale, dont le but serait double. D'une part, il s'agirait d'élaborer, de fabriquer et d'expérimenter au sein de l'école d'architecture de nouveaux outils d'aide à la conception collaborative basés sur l'interactivité ludique et tangible, pour faciliter l'apprentissage des étudiants débutants. D'autre part, dans le prolongement des enseignements de premier cycle, une nouvelle matière dédiée à la formation d'architectes pédagogues pourrait voir le jour. Celle-ci s'inscrirait dans le cycle de spécialisation, en master, dans le cadre d'un nouvel enseignement théorique et pratique non plus dédié au traditionnel projet d'architecture (ou d'urbanisme), mais à la formation à la création d'outils pédagogiques jouables, permettant un transfert de la culture architecturale et des méthodes de conception vers la société civile.

La formation de l'architecte pédagogue ou de concepteur de jeu, s'inscrirait dans une perspective d'ouverture de la pratique professionnelle, par un accès à la formation et à l'éducation, dans la filiation de la contre-culture architecturale à l'époque de l'émergence de l'informatique, qui a vu naître le *Computer-aided participatory design* ou les *Tangible Building Blocks*.

Le mode opératoire de cette nouvelle pratique pourrait s'élargir de la conception à la fabrication, la reproduction, à l'édition, et à la diffusion de jeux d'architecture destinés à l'éducation des jeunes en milieu scolaire ou à la formation des adultes, à la transmission de la culture du projet et à la collaboration démocratique dans les enjeux de co-conception. Il s'agirait autant de concevoir les supports des jeux c'est-à-dire leur matérialité, que leur jouabilité interactive, interpersonnelle ou sociale<sup>(379)</sup> dans

376 Henriot, J. (1989b). *Sous couleur de jouer : La métaphore ludique (LES ESSAIS) (French Edition)*. J. Corti. 156.

377 Ibid, 123.

378 Les nouveaux équipements que l'on trouve dans Fablab.

379 « La jouabilité interactive, qui correspond à l'interface de jeu et aux commandes possibles ;

La jouabilité interpersonnelle ou sociale qui correspond aux sentiments partagés par les joueurs et à la conscience de groupe qui émane de la situation de jeu collective. » Philippette, T. (2017). La dimension sociocognitive de la jouabilité. *Interfaces numériques*, 4(1), 23-42. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.781>



**(fig. 114) The Portmanteau , Architectural playthings , 2018**

**Couldbearchitecture, Joseph Altshuler, Zack Morrison, Architectes**

*Le Portmanteau est une série de jeu d'architecture, à destination des enfants, se présentant sous la forme de valises. Chaque valise est composée de petits objets, que l'on dispose sur une trame quadrillée, permettant de concevoir un projet architectural : un espace domestique, une maison, une ville.*

des contextes narratifs régit par des règles empruntées à la culture architecturale <sup>(380)</sup>**(fig.114)**.

---

380 « La jouabilité ne dépend pas des caractéristiques d'un objet ou d'une structure de règles, mais d'une situation qui s'y prête. » Ibid, 23-42

# BIBLIOGRAPHIE



- © Ina - Yona Friedman regarding the machine that invents flats. (2016, 1er janvier). [Vidéo]. Europe of Cultures. <https://fresques.ina.fr/europe-des-cultures-en/fiche-media/Europe00061/yonafriedman-regarding-the-machine-that-invents-flats.htm>
- Agamben, G., Breda, L., & Rueff, M. (2007). *Qu'est ce qu'un dispositif*. Rivages poche petite bibliothèque.
- Aish, R. (1979). 3D input for CAAD systems. *Computer-Aided Design*, 11(2), 6670. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(79\)90098-8](https://doi.org/10.1016/0010-4485(79)90098-8)
- Alexander, C. (1964). A Much Asked Question about Computers and Design. Dans *Architecture and the Computer* (First Boston Architectural Conference éd., p. 4559). Architectural Review.
- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. Oxford University Press.
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., & Angel, S. (1977). *A Pattern Language : Towns, Buildings, Construction* (Center for Environmental Structure Series). Oxford University Press.
- Amdahl, G. M., Blaauw, G. A., & Brooks, F. P. (1964). Architecture of the IBM System/360. *IBM Journal of Research and Development*, 8(2), 87101. <https://doi.org/10.1147/rd.82.0087>
- Anderson, C. (2012). *Makers : The New Industrial Revolution*. Hardcover.
- Anderson, D., Yedidia, J. S., Frankel, J. L., Marks, J., Agarwala, A., Beardsley, P., Hodgins, J., Leigh, D., Ryall, K., & Sullivan, E. (2000). Tangible interaction and graphical interpretation : : A New Approach to 3D Modeling. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '00*, 2347. <https://doi.org/10.1145/344779.344960>
- Atallah, M. (2014). Le groupe LEGO® : histoire et conséquences d'une bifurcation. *A contrario*, n° 20(1), 169. <https://doi.org/10.3917/aco.141.0169>
- Aubart, F. (2016, 10 octobre). *Aurélien Froment | Zérodeux / 02*. zerodeux.fr. <https://www.zerodeux.fr/guests/aurelien-froment/>
- Auray, N. (2002). De l'éthique à la politique : l'institution d'une cité libre. *Multitudes*, 8(1), 171. <https://doi.org/10.3917/mult.008.0171>
- Auray, N. (2009). Pirates en réseau : détournement, prédation et exigence de justice. *Esprit*, Juillet(7), 168. <https://doi.org/10.3917/espri.0907.0168>
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2011). *Getting Started with Arduino : The Open Source Electronics Prototyping Platform (Make)* (1re éd.). Make Media O'Reilly.
- Barlow, J. P., & L. (2000). Déclaration d'indépendance du cyberspace. Dans *Libres enfants du savoir numérique, Une anthologie du « libre »* (p. 50). ECLAT.
- Batty, M. (1993). The Geography of Cyberspace. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 20(6), 615616. <https://doi.org/10.1068/b200615>

- Beau, F. (2007). *Culture d'Univers, Jeux en réseaux, mondes virtuels, le nouvel âge de la société numérique*. Fyp.
- Berneau, D. (2000, 25 mai). *Les architectes à l'heure d'Internet*. humanite.fr. <https://www.humanite.fr/node/228017>
- Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. (2018a). Des Shakers aux Makers : Fragments de généalogie. Dans *Makers, Enquête sur les laboratoires du changement social* (p. 25). Seuil Sciences Humaines.
- Berrebi-Hoffmann, I., Bureau, M. C., & Lallement, M. (2018b). *Makers, Enquête sur les laboratoires du changement social*. Seuil.
- « Biozones » explore le futur. (2001, 23 février). Le Parisien. <https://www.leparisien.fr/seine-saint-denis-93/biozones-explore-le-futur-23-02-2001-2001976998.php>
- Blikstein, P., & Sipitakiat, A. (2014, 10 février). *Project Bloks - Research*. Project Bloks. <https://projectbloks.withgoogle.com/research>
- Blikstein, P., & Sipitakiat, A. (2016, 4 juin). *Project Bloks : Designing a development platform for tangible programming for children*. projectbloks.withgoogle.com. <https://projectbloks.withgoogle.com/research>
- Bmiaa, *walters-way-the-self-build-revolution-at-aa-school*. (s. d.). www.bmiaa.com. Consulté le 10-10-10, à l'adresse <https://www.bmiaa.com/walters-way-the-self-build-revolution-at-aa-school-2/>
- Bodman, C., Cheung, S., & Admiss, D. (2014). *Digital révolution*. Barbican.
- Bonacic, V., Gips, J., & Stiny, G. (1977). Shape Grammars and Their Uses : Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics. *Leonardo*, 10(4), 339. <https://doi.org/10.2307/1573793>
- Bonenfant, M. (2013). La conception de la « distance » de Jacques Henriot : un espace virtuel de jeu. *Sciences du jeu*, 1, 210. <https://doi.org/10.4000/sdj.235>
- Bouige, C., & Perez, E. (2019). Les formes du gai savoir. *Etapes*, 225, 168187. [https://lestroisources.com/content/presses/17/img/original/55a667a54c69farticle\\_etape2.pdf](https://lestroisources.com/content/presses/17/img/original/55a667a54c69farticle_etape2.pdf)
- Brand, S. (1997). *The Medialab, Inventing the future at MIT*. Harry N. Abrams.
- Brent, R. (2004). Alphaworld : The urban design of a digital city. *Journal of Urban Design*, 9(3), 287309. <https://doi.org/10.1080/1357480042000283850>
- Broca, S. (2013). *Utopie du logiciel libre. Du bricolage informatique à la réinvention sociale*. Le Passager clandestin.
- Broome, J., & Richardson, B. (1991). *The self-build book*. Hartland : Green Books.
- Brosterman, N. (1997). *Inventing Kindergarten* (1st éd.). Harry N. Abrams.

- Brouard, H., Friedrich, M., & Lamy, A. (2016, 26 septembre). *Le mouvement hacker et sa politisation*. Club du Millénaire. <http://clubdumillenaire.fr/2013/09/le-mouvement-hacker-et-sa-politisation/>
- Brougère, G. (2005). *Jouer, Apprendre*. Economica.
- Buechley, L., & Eisenberg, M. (2007). Boda blocks : a collaborative tool for exploring tangible three-dimensional cellular automata. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning, CSCL'07*, 102104. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1599600.1599618>
- Buisson, F., Nora, P., Meirieu, P., & Dubois, P. (2017). Rapport sur l'instruction primaire à l'exposition universelle de Vienne. Dans *Dictionnaire de pédagogie* (p. 7895). Bouquins.
- C., & Jutand, F. (2013). *La métamorphose numérique : Vers une société de la connaissance et de la coopération*. Alternatives.
- Caille, A. (2011). *Pour un Manifeste du Convivialisme*. Bord de l'eau.
- Caillé, A. (2015). « L'esprit du jeu. Jouer, donner, s'adonner », *Revue du MAUSS*, n° 45, 2015. *Lectures*, 231253. <https://doi.org/10.4000/lectures.19455>
- Caillois, R. (1967). *Les jeux et les hommes : Le masque et le vertige*. Gallimard.
- Chapuis, D. (2012, 10 janvier). *Le groupe danois en pleine relance*. Les Echos. <http://www.lesechos.fr/2012/01/le-groupe-danois-en-pleine-relance-349322>
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. The Hague : Mouton.
- Chomsky, N. (1959). On certain formal properties of grammars. *Information and Control*, 2(2), 137167. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(59\)90362-6](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(59)90362-6)
- Chomsky, N., & Piaget, J. (1979). *Théories du langage, théories de l'apprentissage : le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky*. Centre Royaumont pour la science de l'homme. Seuil.
- Ciren. (1999, 7 janvier). *Émergence de l'architecture virtuelle*. ciren.org. <http://www.ciren.org/ciren/conferences/070199/>
- Colin, N., & Verdier, H. (2015). *L'âge de la multitude - 2e éd. : Entreprendre et gouverner après la révolution numérique*. Armand Colin.
- Crawford, M. (2010). *Éloge du carburateur : Essai sur le sens et la valeur du travail*. La Découverte.
- Cross, L. (1999). Reunion : John Cage, Marcel Duchamp, Electronic Music and Chess. *Leonardo Music Journal*, 9, 3542. <https://doi.org/10.1162/096112199750316785>
- Cybernetic Opportunity*. (s. d.). DRS2016. Consulté le 10 octobre 2020, à l'adresse <https://www.drs2016.org/ddr9>

- Darrault, L. (2019, 4 février). *À la rencontre des jeunes designers diplômés de l'ENSCI. étapes* : <https://etapes.com/a-la-rencontre-des-jeunes-designers-diplomes-de-l-ensci/>
- Davies, R. (2011, 10 novembre). *Again with the post digital*. Russell Davies. <https://russelldavies.typepad.com/planning/2011/11/i-first-talked-about-post-digital-at-an-event-called-thinking-digital-in-2009-in-gateshead-looking-back-thats-probably-wh.html>
- Diouf, L., Vincent, A., & Worms, A. C. (2013). Les arts numériques. *Dossiers du CRISP*, 81(1), 984. <https://www.cairn.info/revue-dossiers-du-crisp-2013-1-page-9.html#pa29>
- Do, E. Y.-L., & Gross, M. D. (2009). Back to the real world : Tangible interaction for design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23(3), 221223. <https://doi.org/10.1017/s0890060409000195>
- Ducourtieux, C. (2000, 14 juin). *Le Web au service du social*. lemonde.fr. [https://www.lemonde.fr/archives/article/2000/06/14/le-web-au-service-du-social\\_3717750\\_1819218.html](https://www.lemonde.fr/archives/article/2000/06/14/le-web-au-service-du-social_3717750_1819218.html)
- Duflo, C., & Monteil, P.-O. (1998). Le jeu, invention d'une liberté dans et par une légalité. *Autres Temps. Les cahiers du christianisme social*, 58(1), 98105. <https://doi.org/10.3406/chris.1998.2054>
- Durant, D. (2010). *La systémique* (Que sais-je éd., Vol. 1795). PUF.
- During, E., Boyer, E., Aktypi, M., Higuinem, E., Siety, E., & Sztulman, P. (2012). *voir les jeux vidéo, Perception, construction, fiction*. Bayard.
- Dutta, A., Tuerk, S., Kubo, M., Chuong, J. Y., & Chernyakova, I. (2013). *A Second Modernism : MIT, Architecture, and the « Techno-Social » Moment* (The MIT Press). The MIT Press.
- Dykes, W. (2018). *Play Well : Constructing Creative Confidence with LEGO Serious Play. Doctoral dissertation, Fielding Graduate University*, 1134. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31259.90403>
- Electronic Art Festival Transarchitecture. (1998). *The art of the accident : Art, architecture, Media technology*. NAI Publishers.
- Ernest Edmonds, D. (1976). PICTORIAL AND FORMAL ASPECTS OF SHAPE AND SHAPE GRAMMARS On Computer Generation of Aesthetic Objects George Stiny Birkhäuser, Basel and Stuttgart, 1975418 pages133 illustrations paperback Fr./DM 48 ISBN 3-7643-0803-6. *Journal of Cybernetics*, 6(34), 339340. <https://doi.org/10.1080/01969727608910048>
- European Association for Architectural Education. (2012). *Rethinking the human in technologie-driven architecture*. Maria Voyatzaki & Constantin Spiridonidis.
- F.A.T. Lab. (2012, 20 mars). *The Free Universal Construction Kit | F.A.T.* <http://fffff.at>. <http://fffff.at/free-universal-construction-kit/>



- Fenyvesi, K. (2018, 8 mai). *Donner vie à l'apprentissage grâce aux STEAM*. <https://www.schooleducationgateway.eu>. <https://www.schooleducationgateway.eu/fr/pub/viewpoints/experts/bring-learning-to-life-steam.htm>
- Fetro, S. (2011, 27 novembre). *Outils numériques artisanalement modifiés*. Strabic. <http://strabic.fr/Outils-numeriques-artisanalement-modifies-Sophie-Fetro>
- Firbal, D. (2018, 11 juin). *Du collaboratif au contributif : vers le 3e Web*. Kaizen. <https://kaizen-magazine.com/article/bernard-stiegler-du-collaboratif-au-contributif-vers-le-3eme-web/>
- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. S. (1995). Bricks : Laying the foundations for graspable user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '95*, 442449. <https://doi.org/10.1145/223904.223964>
- Flossmanuals /chapter: Historique / RepRap. (s. d.). flossmanuals.net. Consulté le 10 août 2020, à l'adresse <https://fr.flossmanuals.net/reprap/historique/>
- Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics* (1st éd.). MIT Press.
- Frazer, J. (1980). Intelligent Physical Three-Dimensional Modelling System. Dans *Modelling System Computer Graphics* (Intelligent Physical Three-Dimensional Modelling System éd., Vol. 80, p. 125128). Modelling System Computer Graphics.
- Frazer, J. (1994). *An Evolutionary Architecture*. Architectural Association.
- Frazer, J. (1998). The Co-operative Evolution of Buildings and Cities. Dans *Cooperative Buildings : Integrating Information, Organization, and Architecture* (Lecture Notes in Computer Science éd., Vol. 1370, p. 130141). Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG.
- Frazer, J. (2001). The cybernetics of architecture : a tribute to the contribution of Gordon Pask. *Kybernetes*, 30(5/6), 641651. <https://doi.org/10.1108/03684920110391896>
- Frazer, J. H. (1993). The architectural relevance of cybernetics. *Systems Research*, 10(3), 4348. <https://doi.org/10.1002/sres.3850100307>
- Frazer, J. H. (2010). Intelligent Physical Modelling Systems – Why ? *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '10*, 12. <https://doi.org/10.1145/1709886.1709887>
- Frazer, J. H., Frazer, J. M., & Frazer, P. A. (1982). The use of simplified three-dimensional computer input devices to encourage public participation in design. *Computer-Aided Design*, 14(2), 107. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(82\)90188-9](https://doi.org/10.1016/0010-4485(82)90188-9)
- Frazer, J., Mingxi, T., & Xiyu, L. (2005). An eco-conscious housing design model based on co-evolution. *Advances in Engineering Software*, 36(2), 115125. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2004.05.002>

- Freinet, C. (1964). *Bandes Enseignantes et programmation* (Vol. 2932). Bibliothèque de l'école moderne. <https://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/18356>
- Freöbel, F. (2010). *Autobiography of Friedrich Fröbel translated and annotated by Emilie Michaelis... and H. Keatley Moore*. Qontro Classic Books.
- Friedman, G. (1966). *Sept études sur l'homme et la technique. Le pourquoi et le pour quoi de notre civilisation technicienne*. Gonthier.
- Friedman, Y. (1971). *Pour l'architecture scientifique*. Pierre Belfond.
- Friedman, Y. (2003). *L'architecture de survie (premier secours)*. Eclat.
- Friedman, Y. (2006). *Yona Friedman / Pro Domo* (Illustrated éd.). Actar, Centro Andaluz de Arte Contemporáneo.
- Fröbel, F. (1860). *Manuel pratique des jardins d'enfants, à l'usage des institutrices et des mères de famille*. Hachette (L.) & Cie Librairie.
- Froment, A. (2018). *Trois contes doubles*. Les Presses du réel.
- Fuchs, M., Fizek, S., & Ruffino, P. (2014). *Rethinking Gamification*. meson press eG.
- Gelée musicale en kit*. (2019, 4 février). étapes : <https://etapes.com/gelee-musicale-en-kit/>
- Gershenfeld, N. (2007). *Fab : The Coming Revolution on Your Desktop--from Personal Computers to Personal Fabrication* (New edition). Basic Books.
- Gierszon, M. (2014). Architect-activist. The socio-political attitude based on the works of Walter Segal. *Journal of Architecture and Urbanism*, 38(1), 5462. <https://doi.org/10.3846/20297955.2014.893629>
- Gips, J. (1980). *Shape Grammars and their Uses : Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics (Interdisciplinary Systems Research)*. Birkhäuser.
- Goodhouse, A. (2017). *Quand le Numérique marque-t-il l'Architecture ?* Sternberg.
- Gorz, A. (2008). La sortie du capitalisme a déjà commencé. Dans *Écologica* (p. 1265). Galilée.
- Grahame, A., & Wilkhu, T. (2017). *Walters Way and Segal Close : The Architect Walter Segal and London's Self-Build Communities. A Look at Two of London's Most Unusual Streets*. Park Books.
- Gregoire, P., & Petetin, C. (1998). Vers un nouvel imaginaire de l'habitat urbain. *Inter Art Actuel*, 69, 2627. <https://www.erudit.org/fr/revues/inter/1998-n69-inter1104322/46311ac.pdf>
- Gregoire, P., & Petetin, C. (2000). Manifeste pour une architecture virtualisée. Dans *Sans doutes ? Cent architectes parle de leur doctrine* (Les Cahier de la Recherche Architecturale et Urbaine éd., Vol. 5/6, p. 100101). Editions du Patrimoine.

- Groisser, L. B., Negroponte, N., & Massachusetts Institute of Technology. (1973). *Computer Aids to Participatory Architecture*. Massachusetts Institute of Technology.
- Gross, M. D. (2009). Now More Than Ever, Computational thinking and a science of design. *Journal of the Japanese Society for the Science of Design*, 16(62), 1526. <http://mdgross.net/wp-content/uploads/2015/08/no62-09.pdf>
- Gross, M. D., & Do, E. Y.-L. (2009). Educating the New Makers : Cross-Disciplinary Creativity. *Leonardo*, 42(3), 210215. <https://doi.org/10.1162/leon.2009.42.3.210>
- Gross, M. D., Elumeze, N., Eisenberg, M., & Schweikardt, E. (2009). A tangible construction kit for exploring graph theory. *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '09*, 2537. <https://doi.org/10.1145/1517664.1517739>
- Guillaud, H. (2012, 23 novembre). *Makers, la nouvelle révolution industrielle*. lemonde.fr. <https://www.lemonde.fr/blog/internetactu/2012/11/23/makers-la-nouvelle-revolution-industrielle/>
- Guillaud, H., & Sussan, R. (2012, 23 novembre). *makers, la nouvelle révolution industrielle*. <https://www.lemonde.fr>. <https://www.lemonde.fr/blog/internetactu/2012/11/23/makers-la-nouvelle-revolution-industrielle/>
- Gura, M. (2020, 12 mai). *A Closer Look at Learning with A Great STEAM Tool*. EdTech Digest. <https://edtechdigest.com/2020/05/12/a-closer-look-at-learning-with-a-great-steam-tool/>
- Hatch, M. (2013). *The Maker Movement Manifesto : Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*. McGraw-Hill Education.
- Hedjuck, J. (1971). *Education of an Architect : A Point of View*. Cooper Union For The Advanceme. [https://www.moma.org/documents/moma\\_catalogue\\_2648\\_300298971.pdf](https://www.moma.org/documents/moma_catalogue_2648_300298971.pdf)
- Hejduk, J. (1991). *Education of An Architect*. Rizzoli.
- Henriot, J. (1989). *Sous couleur de jouer : La métaphore ludique*. J. Corti.
- Hillis, D. W. (1998). *The Pattern On The Stone : The Simple Ideas That Make Computers Work (Science Masters)*. Basic Books.
- Himenam, P. (2001). *The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age*. Random House.
- Holzman, L. (2017, 3 août). *From STEM to STEAM to Developmental Learning, Our future scientists and engineers need to play*. <https://www.psychologytoday.com>. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/conceptual-revolution/201708/stem-steam-developmental-learning>

- Horn, M. S., & Jacob, R. J. K. (2007). Tangible programming in the classroom with tern. *Extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI 07*, 19651970. <https://doi.org/10.1145/1240866.1240933>
- Huizinga, J. (1988). *Homo Ludens : Essai sur la fonction sociale du jeu*. Gallimard.
- Huyghe, P. (2014). *A quoi tient le design (French Edition)* (1re éd.). De l'incidence.
- Huyghe, P. D. (2014). *À quoi tient le design*. De l'incidence.
- Illich, I. (1973). *La Convivialité*. Seuil.
- Illich, I. (1971). *Une société sans école*. Seuil.
- Ishii, H. (2008). Tangible bits. *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '08*, 1525. <https://doi.org/10.1145/1347390.1347392>
- Jacobs, J.-F. (2013). *Manuel Pratique Des Jardins D'Enfants de Frederic Frœbel A L'Usage Des Institutrices Et Des Meres de Famille, Compose Sur Des Documents Allemands, .. (French Edition)*. Nabu Press.
- Jakobsson, M. (2007). Activity flow architecture, Environment in Active Worlds and Everquest. Dans *Space Time Play : Computer Games, Architecture and Urbanism : The Next Level* (1re éd., p. 194167). Birkhäuser Architecture.
- Jenkins, H. (2013). *La culture de la convergence - Des médias au transmédia (French Edition)*. Armand Colin.
- Juhasz, J. B. (1981). Christopher Alexander and the language of architecture. *Journal of Environmental Psychology*, 1(3), 241246. [https://doi.org/10.1016/s0272-4944\(81\)80042-4](https://doi.org/10.1016/s0272-4944(81)80042-4)
- Kafai, Y. B., & Resnick, M. (1996). *Constructionism in Practice : Designing, Thinking, and Learning in A Digital World* (1re éd.). Routledge.
- Kandinsky, W. (1979). *Point and Line to Plane (Dover Fine Art, History of Art)* (Edition and Printing Not Stated éd.). Dover Publications.
- Kauffman, J. (2016). Dessiner avec l'ordinateur dans les années soixante : le design et ses pratiques à l'aube de l'ère numérique. *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, 32, 105123. <https://doi.org/10.4000/lha.643>
- Kitamura, Y., Itoh, Y., Masaki, T., & Kishino, F. (2002). ActiveCube : a bi-directional user interface using cubes. *KES'2000. Fourth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies. Proceedings (Cat. No.00TH8516)*, 2537. <https://doi.org/10.1109/kes.2000.885768>
- Knight, T. (2015). Shapes and Other Things. *Nexus Network Journal*, 17(3), 963980. <https://doi.org/10.1007/s00004-015-0267-3>



- Knight, T., & Stiny, G. (2015). Making grammars : From computing with shapes to computing with things. *Design Studies*, 41, 828. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.08.006>
- Knigh, T. W. (1998). Designing a Shape Grammar. Dans *Artificial Intelligence in Design* (p. 499516). John S. GeroFay Sudweeks.
- Knox, J. (2019). What Does the 'Postdigital' Mean for Education ? Three Critical Perspectives on the Digital, with Implications for Educational Research and Practice. *Postdigital Science and Education*, 1(2), 357370. <https://doi.org/10.1007/s42438-019-00045-y>
- Kotsioris, E. (2020, 21 juillet). *Architecture and the Computer : A Contested History*. Architectural Review. <https://www.architectural-review.com/archive/architecture-and-the-computer-a-contested-history>
- Labrune, J.-B. (2015, 22 novembre). *MIT Media Lab*. France Culture. <https://www.franceculture.fr/emissions/l-alphabet-numerique/mit-media-lab>
- Larousserie, D. (2019, juillet 4). *CeuxQuiFont : Massimo Banzi crée la carte électronique Arduino qui donne vie aux objets*. Le Monde.fr. [https://www.lemonde.fr/festival/visuel/2017/08/27/ceuxquifont-massimo-banzi-cree-la-carte-electronique-arduino-qui-donne-vie-aux-objets\\_5177137\\_4415198.html](https://www.lemonde.fr/festival/visuel/2017/08/27/ceuxquifont-massimo-banzi-cree-la-carte-electronique-arduino-qui-donne-vie-aux-objets_5177137_4415198.html)
- Lego Group. (s. d.). *Makerspace - LEGO® Education*. <https://education.lego.com>. Consulté le 5 septembre 2018, à l'adresse <https://education.lego.com/en-us/makerspace>
- Lévy, P. (1997). *Cyberculture*. Odile Jacob.
- Levy, S. (2010). *Hackers: Heroes of the Computer Revolution*. O'Reilly Media.
- Lillard, S. A., Poussin, C., Ambroselli, M., Dreyfus, A., & Spinazzé, E. (2018). *Montessori, une révolution pédagogique soutenue par la science*. Desclée De Brouwer.
- Lolbo, D. G. (2007). Playing with urban life : How SimCity Influences Planning Culture. Dans *Space Time Play, Computer Games, Architecture, and Urbanism : The next level* (p. 206209). Birkhäuser Architecture.
- Mac Luhan, M. (1972). *Pour comprendre les média*. La Galaxie Gutenberg.
- MacCormac, R. C. (1974). Fröebel's kindergarten gifts and the early work of Frank Lloyd Wright. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 1(1), 2950. <https://doi.org/10.1068/b010029>
- Madej, K. (2016). *Physical Play and Children's Digital Games (SpringerBriefs in Computer Science)* (1st ed. 2016 éd.). Springer.
- Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The Scratch Programming Language and Environment. *ACM Transactions on Computing Education*, 10(4), 115. <https://doi.org/10.1145/1868358.1868363>

- Maniaque, C. (2014). *Go West - Des architectes au pays de la contre-culture*. Editions Parentheses.
- Manning, J. P. (2005). Rediscovering Fröbel : A Call to Re-examine his Life & Gifts. *Early Childhood Education Journal*, 32(6), 371-376. <https://doi.org/10.1007/s10643-005-0004-8>
- Martin, F., & Resnick, M. (1993). LEGO/Logo and Electronic Bricks : Creating a Scienceland for Children. *Advanced Educational Technologies for Mathematics and Science*, 6189. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-02938-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-02938-1_2)
- Martin, N. (2018, 20 juin). *Passe ton code d'abord*. France Culture. <https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/la-methode-scientifique-du-mercredi-20-juin-2018>
- Matar, A., & Legal, P. (2019, 10 octobre). *La méthode pour apprendre à coder dans l'esprit Montessori*. colori education. <https://www.colori.education/>
- Mathews, S. (2006). The Fun Palace as Virtual Architecture : Cedric Price and the Practices of Indeterminacy. Dans *Journal of Architectural Education* (Vol. 59, p. 3948). Taylor & Francis.
- Mauco, O. (2013). *GTA IV, L'écran comme terrain opérationnel du jeu, L'envers du rêve américain* (Jeux vidéo et critique sociale éd.). Questions Théoriques.
- Mauss, M. (2007). *Essai sur le don : Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques*. Introduction de Florence Weber. PUF.
- McGonigal, J. (2011). *Reality Is Broken : Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Penguin Books.
- McKean, J. (1989). *Learning from Segal*. Birkhäuser Basel.
- McNerney, T. S. (2004). From turtles to Tangible Programming Bricks : explorations in physical language design. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 326-337. <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0295-6>
- Meljac, C., & Shoov, E. (2011). Piaget : un inconnu. *Contraste*, 3435(1), 3153. <https://doi.org/10.3917/cont.034.0031>
- Miller, S. A. (2019, 1er décembre). *Cognition sociale | Développement sociocognitif dans la petite enfance*. Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. <http://www.enfant-encyclopedie.com/cognition-sociale/selon-experts/developpement-sociocognitif-dans-la-petite-enfance>
- Migayrou, F. (2014). *Architecture: Concept & Notation*. Centre Pompidou.
- Minsky, M., & Papert, S. A. (1987). *Perceptrons : An Introduction to Computational Geometry, Expanded Edition* (Expanded, Subsequent éd.). The M.I.T. Press.
- MIT MediaLab. (s. d.). *Tangible Media Group*. Tangible Media Group -MIT MediaLab. Consulté le 23 novembre 2016, à l'adresse <https://tangible.media.mit.edu/vision/>

- Mitchell, W. J., Mitchell, W. J., Canter, D., March, L., & March, L. (1977). Reviews : Shape Grammars and Their Uses, Pictorial and Formal Aspects of Shape Grammars, the Automated Architect, Place and Placelessness, from Geometry to Topology, Surfaces. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 4(1), 115122. <https://doi.org/10.1068/b040115>
- Negrogonte, N. (2015). Apprendre à apprendre dans un monde connecté. *Cités*, 63, 119132. <https://www.cairn.info/revue-cites-2015-3-page-119.htm?contenu=resume>
- Negroponte, N. (1969). Toward a Theory of Architecture Machines. *Journal of Architectural Education (1947-1974)*, 23(2), 9. <https://doi.org/10.2307/1423828>
- Negroponte, N. (1973). *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment* (First Edition). The MIT Press. <https://archive.org/details/NicolasNegroponteArchitectureMachine/mode/2up>
- Negroponte, N. (1975). Sketching : A Computational Paradigm for Personalized Searching. *JAE*, 29(2), 26. <https://doi.org/10.2307/1424480>
- Negroponte, N. (1975). Soft Architecture Machines. *Computer-Aided Participatory Design, MIT Press*, 102123. <http://www.medientheorie.com/doc/Negroponte.pdf>
- Negroponte, N. (1976). *Soft Architecture Machines*. Hardcover.
- Negroponte, N. (1995). *L'Homme numérique*. Robert Laffont.
- Novel, A.-S., & Riot, S. (2012). *Vive la co-recolution, pour une société collaborative*. Alternatives.
- Osipov, I. V., & Nikulchev, E. (2018). Review puzzles and construction sets falling under the category of augmented reality games. *ITM Web of Conferences*, 18, 02003. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20181802003>
- Papert, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit*. Flammarion.
- Papert, S. (1984). *Computer as mudpie* (Intelligent Schoolhouse : Readings on Computers and Learning éd.). Dale Peterson.
- Papert, S. (1984). *Intelligent schoolhouse : Readings on computers and learning*. Reston Pub. Co.
- Papert, S. A. (1993). *Mindstorms : Children, Computers, And Powerful Ideas*. Basic Books.
- Papert, S. A. (1994). *The Children's Machine : Rethinking School In The Age Of The Computer*. Basic Books.
- Papert, S., & Solomon, C. (1972). Twenty things to do with a computer. *Educational Tchnology Magazine, Memo n° 248*, 40. <https://el.media.mit.edu/logo-foundation/docs/AIM-248.pdf>

- Pask, G. (1969). The Architectural Relevance of Cybernetics. *Architectural Design*, 7/6, 6877. [https://cmusyntheticecologies.files.wordpress.com/2014/01/pask\\_gordon\\_the-architectural-relevance-of-cybernetics.pdf](https://cmusyntheticecologies.files.wordpress.com/2014/01/pask_gordon_the-architectural-relevance-of-cybernetics.pdf)
- Peppler, K., Halverson, E., & Kafai, Y. B. (2016). *Makeology : Makerspaces as Learning Environments (Volume 1)* (1re éd.). Routledge.
- Philippette, T. (2017). La dimension sociocognitive de la jouabilité. *Interfaces numériques*, 4(1), 2342. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.781>
- Piaget, J. (1926). *The Language and Thought of the Child*. Harcourt Brace.
- Piaget, J. (1968). *Le structuralisme*. Que sais-je.
- Piaget, J. (2020). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant (The Origins of Intelligence in Children) - French Edition* (2nd éd.). Delachaux & Niestle Neuchatel.
- Portugali, J. (2013). *Complexity, Cognition and the City (Understanding Complex Systems)*. Springer.
- Portugali, J., Meyer, H., Stolk, E., & Tan, E. (2012). *Complexity Theories of Cities Have Come of Age : An Overview with Implications to Urban Planning and Design*. Springer.
- Provenzo, E. (2019). Friedrich Fröbel's Gifts, Connecting the Spiritual and Aesthetic to the Real World of Play and Learning. *American Journal of Play*, 2, 8599. <https://www.journalofplay.org/sites/www.journalofplay.org/files/pdf-articles/2-1-article-friedrich-Fröbels-gifts.pdf>
- Provenzo, E. F., & Brett, F. (1984). *The Complete Block Book*. Syracuse University Press.
- Purcell, P. (1977). The soft architecture machine. *Computer-Aided Design*, 9(3), 219. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(77\)90136-1](https://doi.org/10.1016/0010-4485(77)90136-1)
- QuéAu, P. (1993). *Le virtuel : Vertus et vertiges (Collection Milieux)*. Institut national de l'audiovisuel.
- Quillien, J. (2007). Saisir l'insaisissable : Des « patterns » aux « séquences » dans l'œuvre de Christopher Alexande. *Environmental Architectural Phenomenology*, 18(1), 926. <http://archive.mcxapc.org/docs/conseilscient/0701quillien.pdf>
- Raymond, S. E. (2000). Comment devenir un hacker. Dans *Libres enfants du savoir numérique, une anthologie du libre* (p. 255277). Eclat.
- Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46(4), 4355. <https://doi.org/10.1007/bf02299672>
- Resnick, M., Martin, F., Sargent, R., & Silverman, B. (1996). Programmable Bricks : Toys to think with. *IBM Systems Journal*, 35(3.4), 443452. <https://doi.org/10.1147/sj.353.0443>



- Resnick, M., Philbin, C. A., & Kölling, M. (2017, 1er janvier). *Papert's Legacy, How the creator of Logo paved the way for modern computing education*. Hello World. <https://helloworld.raspberrypi.org/issues/1>
- Rifkin, J., Chemla, P., & Chemla, F. (2012). *La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde (Les liens qui libèrent) (French Edition)*. Liens qui Libèrent.
- Riot, S., & Novel, A. (2012). *Vive la corévolution ! : Pour une société collaborative (Manifesto - Alternatives)*. Alternatives.
- Rivkin, J. (1997). *La fin du travail*. La Découverte.
- Roberge, A. (2018, 25 juin). *La méthode STEAM : comment intégrer des approches artistiques en sciences*. <https://cursus.edu>. <https://cursus.edu/articles/41758/la-methode-steam-comment-integrer-des-approches-artistiques-en-science>
- Roffey, T. (2017, 24 janvier). *Constructionism & Constructivism*. Makerspace for Education. <http://www.makerspaceforeducation.com/constructionism--constructivism.html>
- Rosanvallon, P. (2011). *La Société des égaux (Les Livres du nouveau monde)*. Seuil.
- Rubin, J. S. (1989). The Fröbel-Wright Kindergarten Connection : A New Perspective. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 48(1), 2437. <https://doi.org/10.2307/990404>
- Rudofsky, B. (1964). *Architecture Without Architects: An Introduction to Non-Pedigreed Architecture*. Doubleday.
- Ryan, B. (2004). Alphaworld : The urban design of a digital city. *Journal of Urban Design*, 9(3), 287309. <https://doi.org/10.1080/1357480042000283850>
- Salihbegovic, A. (2020, 15 juin). *Apologia per una architettura del gioco | Salihbegovic | FAMagazine. Ricerche e progetti sull'architettura e la città*. famagazine.it. <https://www.famagazine.it/index.php/famagazine/article/view/296/1257>
- Schärer, M. (2008). *Friedrich Fröbel et l'éducation préscolaire en Suisse romande : 1860-1925*. Presses Universitaires Romandes.
- Scholler, J. (2019, 22 août). *Press Release : First Fröbel, then Montessori, now Osmo is re-inventing the way preschoolers learn with new age building blocks*. Osmo Blog. <https://www.playosmo.com/blog/press-release-first-frobel-then-montessori-now-osmo-is-re-inventing-the-way-preschoolers-learn-with-new-age-building-blocks/>
- School Education Gateway. (2018, 2 mai). *Apprentissage dans le domaine des STEAM : des projets européens combinant science et arts*. schooleducationgateway.eu. <https://www.schooleducationgateway.eu/fr/pub/latest/practices/steam-learning-science-art.htm>

- Sennett, R. (2010). *Ce Que Sait La Main (Sciences)*. Albin Michel.
- Shaer, O., Horn, M. S., & Jacob, R. J. K. (2009). Tangible user interface laboratory : Teaching tangible interaction design in practice. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23(3), 251261. <https://doi.org/10.1017/s0890060409000225>
- Sharlin, E., Watson, B., Sutphen, S., Lederer, R., Figueroa, P., & Frazer, J. (2001). 3D Computer Interaction Using Physical Objects : Exploration of Tangible User Interfaces. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH*, 123148. [https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/TUIs\\_Leonardo.PDF](https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/TUIs_Leonardo.PDF)
- Simondon, G., Hart, J., & Deforge, Y. (2001). *Du mode d'existence des objets techniques (Philosophie) (French Edition)*. Aubier.
- Solitaire, M. (1988). Le Corbusier et l'urbain : la rectification du damier Frœbelien. *Ville et l'urbanisme après Le Corbusier*, 93117. <https://www.worldcat.org/title/corbusier-et-lurbain-la-rectification-du-damier-Frœbelien/oclc/716747148>
- Solitaire, M. (2016). *Au retour de La Chaux-de-Fonds - Le Corbusier-Frœbel (Le Marteau Parle)*. Wiking.
- Solomon, C. (1988). *Computer Environments for Children : A Reflection on Theories of Learning and Education* (Revised éd.). The MIT Press.
- Stager, G. (2017, 13 mars). *Seymour Papert – Father of the Maker Movement*. Invent To Learn. <https://inventtolearn.com/seymour-papert-father-of-the-maker-movement/>
- Stallman, R., & L. (2000). Droit de reproduction, le public doit avoir le dernier mot. Dans *Libres Enfants du Savoir Numérique, Une anthologie du libre* (p. 243254). Eclat.
- Stallman, R. M. (2017). Le libre comme alternative pour l'école contemporaine. *Hermès, La Revue*, 2(78), 104107. <https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2017-2-page-104.htm>
- Stenson, M. W. (2006, 1er mai). *Artificial Intelligence, Architectural Intelligence: The Computer in Architecture, 1960–80*. girlwonder.com. <http://www.girlwonder.com/blog/wp-content/uploads/2010/05/stenson-dissertation-proposal.pdf>
- Stenson, M. W. (2010). Cedric Price's Generator. *Crit, the journal of the AIAS*, Spring, 15. <http://www.girlwonder.com/papers-articles>
- Stenson, M. W. (2015). Microworld and mesoscale. *Interactions*, 22(4), 5860. <https://doi.org/10.1145/2786024>
- Stenson, M. W. (2017). *Architectural Intelligence : How Designers and Architects Created the Digital Landscape*. The MIT Press.

- Stiegler, B. (2010, 1er janvier). *MANIFESTE 2010* | *Ars Industrialis*. *ars industrialis*. <http://www.arsindustrialis.org/manifeste-2010>
- Sterling, B. (2010, mai 23). *The Braun Lectron System*. <https://www.wired.com>. <https://www.wired.com/2010/05/the-braun-lectron-system/>
- Stiegler, B. (2008). *Réenchanter le monde* (0 éd.). Flammarion.
- Stiegler, B. (2015, 9 avril). *La Gaïté Lyrique* | *Économie contributive : ni producteur, ni consommateur*. La Gaïté Lyrique. <https://gaite-lyrique.net/evenement/economie-contributive-ni-producteur-ni-consommateur>
- Stiegler, B., & Crépon, M. (2007). *De la démocratie participative*. Mille Et Une Nuits.
- Stiegler, B., & Tisseron, S. (2009). *Faut-il interdire les écrans aux enfants ? (D.e.l.Société)*. Mordicus.
- Stiny, G. (1976). Two exercises in formal composition. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 3(2), 187210. <https://doi.org/10.1068/b030187>
- Stiny, G. (1980). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 7(3), 343351. <https://doi.org/10.1068/b070343>
- Stiny, G. (1980). Kindergarten grammars : designing with Fröebel's building gifts. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 7(4), 409462. <https://doi.org/10.1068/b070409>
- Stiny, G. (1980). *Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape Grammars (Interdisciplinary Systems Research)*. Birkhäuser.
- Stiny, G. (2006). *Shape, Taking about seeing and doing*. The MIT Press.
- Suzuki, H., & Kato, H. (1993). AlgoBlock : A tangible programming language - a tool for collaborative learning. *Proceedings of 4th European Logo Conference*, 110119. [https://www.researchgate.net/publication/242383829\\_Algo-block\\_a\\_tangible\\_programming\\_language\\_a\\_tool\\_for\\_collaborative\\_learning](https://www.researchgate.net/publication/242383829_Algo-block_a_tangible_programming_language_a_tool_for_collaborative_learning)
- Taylor, T. L. (2009). *Play Between Worlds : Exploring Online Game Culture (The MIT Press)* (Illustrated éd.). The MIT Press.
- Technologie Will Save Us. (2020, 15 mai). *Educational STEM Toys For 4-11 Year Olds*. Tech Will Save Us. <https://www.techwillsaveus.com/>
- The Fab Foundation*. (s. d.). *fabfoundation*. Consulté le 19 septembre 2020, à l'adresse <https://fabfoundation.org/>
- Thoisly, E. (2017, 15 décembre). *Architecture et numérique, deux ontologies solidaires*. Sens public. <http://sens-public.org/articles/1277/>
- Thuderoz, C. (2009). « Points, lignes, plan ». Quelques remarques conclusives. *Négociations*, 12(2), 287. <https://doi.org/10.3917/neg.012.0287>

- TopCodes : Tangible Object Placement Codes*. (s. d.). northwestern.edu. Consulté le 10 juin 2016, à l'adresse <http://users.eecs.northwestern.edu/%7Emhorn/topcodes/>
- Tremel, L. (2001). *Jeux de rôles, jeux vidéo, multimédia : Les faiseurs de mondes (Sociologie d'aujourd'hui)*. PUF.
- Triclot, M. (2011). *Philosophie des jeux vidéo*. Zone.
- Triclot, M. (2012). Jouer au laboratoire. Le jeu vidéo à l'université (1962-1979). *Réseaux*, n° 173-174(3), 177205. <https://doi.org/10.3917/res.173.0177>
- Turner, F. (2012a). *Aux sources de l'utopie numérique : De la contre culture à la cyberculture*. C&F Editions.
- Turner, F. (2012b). Des outils de transformation. Dans *Aux sources de l'utopie numérique : De la contre culture à la cyberculture* (p. 157165). C&F Editions.
- Turtles, termites, and traffic jams : Explorations in massively parallel microworlds. (1997). *Computers & Mathematics with Applications*, 33(9), 147. [https://doi.org/10.1016/s0898-1221\(97\)90147-4](https://doi.org/10.1016/s0898-1221(97)90147-4)
- Vallance, M., Martin, S., Wiz, C., & Van Schaik, P. (2009a). LEGO Mindstorms The Structure of an Engineering (R)evolution. *Proceedings of the 2009 British Computer Society Conference on Human-Computer Interaction*, 159172. [https://www.researchgate.net/publication/221436867\\_LEGO\\_Mindstorms](https://www.researchgate.net/publication/221436867_LEGO_Mindstorms)
- Vallance, M., Martin, S., Wiz, C., & Van Schaik, P. (2009b). LEGO Mindstorms, The Structure of an Engineering (R)evolution. *Proceedings of the 2009 British Computer Society Conference on Human-Computer Interaction, BCS-HCI(09)*, 159162. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1671011.1671029>
- Vardouli, R., & Vardouli, T. (2012). The Digital Liminal : Reflections on the Computational Transition in Architecture. Dans *Rethinking the human in technologie-driven architecture* (p. 539552). Maria Voyatzaki & Constantin Spiridonidis.
- Vardouli, T., & Touloumi, O. (2019). *Computer Architectures : Constructing the Common Ground (Routledge Research in Design, Technology and Society)* (1re éd.). Routledge.
- Veeneman, D. (2006, juin 7). *Lectron*. <http://www.decodesystems.com>. <http://www.decodesystems.com/lectron.html>
- Vétel, B., & Turquier, B. (2015). Le jeu au prisme de la matérialité. *Tracés*, 28, 721. <https://doi.org/10.4000/traces.6153>
- Von Borries, F., Walz, P., & Böttger, M. (2007). *Space Time Play : Computer games, architecture and urbanisme : the next level*. Birkhauser.



- Wang, D., Zhang, C., & Wang, H. (2011). T-Maze. *Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '11*, 127135. <https://doi.org/10.1145/1999030.1999045>
- Wang, D., Zhang, Y., & Chen, S. (2013). E-Block : A Tangible Programming Tool with Graphical Blocks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 110. <https://doi.org/10.1155/2013/598547>
- Wasmuth, H. (2020). *Fräbel's Pedagogy of Kindergarten and Play : Modifications in Germany and the United States (Routledge Research in Early Childhood Education)* (1re éd.). Routledge.
- Watanabe, R., Itoh, Y., Kawai, M., Kitamura, Y., Kishino, F., & Kikuchi, H. (2004). Implementation of ActiveCube as an Intuitive 3D Computer Interface. *Smart Graphics*, 4353. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24678-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24678-7_5)
- Watson, B., Sharlin, E., & Sutphen, S. C. (2000). Reviving a tangible interface affording 3D spatial interaction. *Proceedings of 11th Western Canadian Computer Graphics Symposium*, 155166. <https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/ski00.segal.pdf>
- Watson, J. A., Nida, R. E., & Shade, D. D. (1986). Educational issues concerning young children and microcomputers : Lego with logo ? *Early Child Development and Care*, 23(4), 299316. <https://doi.org/10.1080/0300443860230404>
- Weinzapfel, G., & Negroponte, N. (1976). Architecture-by-yourself. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 10(2), 7478. <https://doi.org/10.1145/965143.563290>
- Wiles, W. (2008, 14 mai). *Will Wright interview*. ICON Magazine. <https://www.iconeye.com/icon-056-february-2008/will-wright-interview-3>
- Winnicott, D. W. (1971). *Jeu et réalité. L'espace potentiel*. Gallimard Education.
- Wolf, M. J. P. (2014). *LEGO Studies : Examining the Building Blocks of a Transmedial Phenomenon* (1re éd.). Routledge.
- Worm, A. C. (2012). Seeking Silicon Valley. *Digitalarti*, 11, 29. <https://digitalarti.com>
- Yiannoudes, S. (2016). *Architecture and Adaptation : From Cybernetics to Tangible Computing*. Routledge.
- Zimmerman, E. (2015). Le rôle des matériaux pour un concepteur de jeux. *Tracés*, 28, 199214. <https://doi.org/10.4000/traces.6241>
- Zuckerman, O. (2004). System Blocks : Learning about Systems Concepts through Hands-on Modeling and Simulation. *MIT Masters Thesis*, 1116. <https://www.media.mit.edu>
- Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '05*, 4556. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055093>

Zuckerman, O., & Resnick, M. (2003). A physical interface for system dynamics simulation. *CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '03*, 2348. <https://doi.org/10.1145/765891.766005>



# ICONOGRAPHIE



- Figure 1.** Lloyd Wright, J. (1940). Wright Blocks [Photographie]. iconeye.com. <https://www.iconeye.com/design/features/toys-of-the-avant-garde>
- Figure 2.** McNeur, N. (1976). Nine Square Grid [Photographie]. academia.edu. [https://www.academia.edu/21073241/EDUCATION\\_OF\\_AN\\_ARCHITECT\\_Nine\\_Square\\_Grid\\_model](https://www.academia.edu/21073241/EDUCATION_OF_AN_ARCHITECT_Nine_Square_Grid_model)
- Figure 3.** Munari, B. (1935). *Lettera T* [Photographie]. munart.org. [http://www.munart.org/doc/BrunoMunari\\_Estorick\\_N\\_Yip\\_FriezeMarch2013.pdf](http://www.munart.org/doc/BrunoMunari_Estorick_N_Yip_FriezeMarch2013.pdf)
- Figure 4.** Bell, G. (1962). *Digital Equipment Corporation* [Photographie]. computerhistory.org. <https://www.computerhistory.org/collections/catalog/102652247>
- Figure 5.** Ishii, H. (2008b). *Graphical User Interface & Tangible User Interface* [Graphiques]. cs.tufts.edu. <https://www.cs.tufts.edu/~jacob/workshop/papers/ishii.pdf>
- Figure 6.** Engelbart, D., Landau, V., & Clegg, E. (1960). Engelbart mouse [Photographie]. Dans *The Engelbart Hypothesis : Dialogs with Douglas Engelbart* (Next-Press Bekerley éd., p. 1).
- Figure 7.** Bensene, R., & Hankins, P. (1971). *Wang 3300 Basic Computer* [Photographie]. vice.com. <https://www.vice.com/en/article/d77yym/the-sexy-ibm-selectric-was-the-ipad-of-1961--2>
- Figure 8.** Sutterland, I. (1962). *Sketchpad* [Photographie]. history-computer.com. <https://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>
- Figure 9.** Alexander, C. (1975). A pattern Language, Towns, Buildings, Construction [Dessins, Photographie]. Dans *A pattern Language, Towns, Buildings, Construction* (Oxford University Press éd., p. 1).
- Figure 10 (a).** Fröbel.F (1889). *Fröbel gift n° 1. Kindergarten balls* [Photographie]. Dans "Inventing kindergarden" Brosterman, N. Weekly.1997.
- Figure 10 (b).** Fröbel.F (1889). *Fröbel gift n° 14. Paper weaving* [Photographie]. <http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/04/kindergarten-and-modernist-movement.html>
- Figure 10 (c).** Fröbel.F (1890) *Fröbel gift n° 2. Sphere, cylinder, and cube*[Photographie]. moma.org. <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/1222?slideshow=5&slide=11>
- Figure 10 (d).** Fröbel.F (1890) *Fröbel gift n° 15* [Photographie]. Dans "Inventing kindergarden" Brosterman, N. Weekly.1997.
- Figure 10 (e).** Fröbel.F (1890). *Fröbel gift n° 7 - Triangular and Quadrangular tablets of coloured paper*[Photographie]. [www.architectureofearlychildhood.com. http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/04/kindergarten-and-modernist-movement.html](http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/04/kindergarten-and-modernist-movement.html)

**Figure 10 (f).** Fröbel, F. (1890) *Fröbel's Peas work Gift* [Photographie]. moma.org. <https://www.moma.org/calendar/events/3134>

**Figure 11 (a).** Fröbel, F. (1989). *Kindergarden blocks*. [architectureofearlychildhood.com](http://www.architectureofearlychildhood.com). <http://www.architectureofearlychildhood.com/2013/06/help-norman-brosterman-re-publish.html>

**Figure 11 (b).** Fröbel, F. (1989). *Third, Fourth, Fifth and Sixth Gifts - Building blocks*. [architectureofearlychildhood.com](http://www.architectureofearlychildhood.com). <http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/04/kindergarten-and-modernist-movement.html>

**Figure 12 (a)** . Fröbel, F. (1889). *Royal gifts for the kindergarten, a manual for self instruction in Friedrich Fröbel's principles of education; together with a collection of songs, games, and poems for the home, the kindergarten and the primary school* [Graphiques]. Loc.gouv. [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=43](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=43)

**Figure 12 (b).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=41](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=41)

**Figure 12 (c).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=45](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=45)

**Figure 12 (d).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=34](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=34)

**Figure 13 (a)** . Fröbel, F. (1889). *Royal gifts for the kindergarten, a manual for self instruction in Friedrich Fröbel's principles of education; together with a collection of songs, games, and poems for the home, the kindergarten and the primary school* [Graphiques]. Loc.gouv. [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=49](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=49)

**Figure 13 (b).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=61](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=61)

**Figure 13 (c).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=57](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=57)

**Figure 13 (d).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=63](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=63)

**Figure 14 (a)** . Fröbel, F. (1889). *Royal gifts for the kindergarten, a manual for self instruction in Friedrich Fröbel's principles of education; together with a collection of songs, games, and poems for the home, the kindergarten and the primary school* [Graphiques]. Loc.gouv. [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=75](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=75)

**Figure 14 (b).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=69](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=69)

**Figure 14 (c).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=53](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=53)

**Figure 14 (d).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin-00vann\\_0/?sp=71](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin-00vann_0/?sp=71)

**Figure 15 (a).** Fröbel, F. (1889). *Royal gifts for the kindergarten, a manual for self instruction in Friedrich Fröbel's principles of education; together with a collection of songs, games, and poems for the home, the kindergarten and the primary school* [Graphiques]. Loc.gouv. [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann\\_0/?sp=65](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin00vann_0/?sp=65)

**Figure 15(b).** *Ibid.* [https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin-00vann\\_0/?sp=67](https://www.loc.gov/resource/dcmsiabooks.royalgiftsforkin-00vann_0/?sp=67)

**Figure 16.** Lilienthal, O., & Lilienthal, G. (1880). *Anchor Stone Building* [Photographies]. anchor-stone.eurosourcellc.com. <https://anchor-stone.eurosourcellc.com/design-studio/building-plans.html?limit=all>

**Figure 17.** Lego System. (1960). *Lego as a hobby, Lego System 12,13,14* [Photographies]. images.brickset.com. <https://images.brickset.com/library/ideasbooks/238.pdf>

**Figure 18.** LEGO Educational and DACTA. (1972). *Thinker whith Lego* [Photographies]. spiele-check.de. <https://www.spiele-check.de/pictures/p106668/28455-Denken-mit-LEGO.html>

**Figure 19.** Schweger, Z. (2019). *Form Becoming Feeling after Frank Lloyd Wright engagement with Fröbel Kindergarten Gifts* [Photographies]. zsofiaschweger.com. <https://zsofiaschweger.com/art-project/form-becoming-feeling/>

**Figure 20.** Gonzagarredi (Editeur). (1907). *Matériel pédagogique Maria Montessori* [Photographies]. gonzagarredi.com. <https://www.gonzagarredi.com/cataloghi/Montessori-Materials.pdf>

**Figure 21.** Cuisenaire, G. (1952). *Méthode Cuisenaire* [Photographies]. gonzagarredi.com. <https://www.gonzagarredi.com/cataloghi/Montessori-Materials.pdf>

**Figure 21.** De Bock, K. (2019). *La méthode Cuisenaire 1950* [Photographie]. <https://lirias.kuleuven.be/3172307?limo=0>

**Figure 22.** Mari, E. (1960). *Abc con fantasia* [Photographies]. doseofdesign.me. <https://doseofdesign.me/post/155829179522>

**Figure 22.** Munari, B. (1960). *Alphabet con fantasia* [Photographies]. moma.org. <https://www.moma.org/collection/works/193122?>

**Figure 23.** Wong, W. (1972). Principles of Two-Dimensional Design [Photographie]. Dans *Principles of Two-Dimensional Design* (Van Nostrand Reinhold Company éd., p. 145).

**Figure 24 (a).** Gips, J. (1978). *Page de couverture de l'ouvrage : Shape Grammars and their uses* [Photographie]. Dans « Interdisciplinary systems research », N°10.

**Figure 24 (b).** Stiny, G (1978). *Page de couverture de l'ouvrage : Pictoral and formal aspects of Shape and Shape Grammars* [Photogaphies]. Dans « Interdisciplinary systems research ». N°13.

**Figure 25.** Stiny, G. (s. d.). *Kindergarten grammars : designing with Fröebel's building gifts* [Illustration]. [http://home.fa.utl.pt/~lromao/2008\\_09/sg/aula\\_2/kinder\\_2.pdf](http://home.fa.utl.pt/~lromao/2008_09/sg/aula_2/kinder_2.pdf)

**Figure 26.** Friedrich Fröbel Gift (1885). *Peas-Work* [Graphiques]. digitalspace.info. <http://digitalspace.info/?k=Fröebel+gifts+explained>

**Figure 27.** Yona Friedman (1971). *Méthode des boutons et des ficelles* [Graphiques]. Dans « Pour l'architecture scientifique ». Paris. Pierre Belfond. 23-24

**Figure 28 (a).** IBM (1964). *Selectric IBM MT/ST à bandes magnetiques* [Photogaphie]. heise.de

<https://www.heise.de/ct/artikel/Der-Mensch-denkt-die-Maschine-arbeitet-302172.html>

**Figure 28 (b).** IBM (1961). *Selectric typewriter* [Photogaphie]. lbm.com. <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/selectric/transform/>

**Figure 28 (b).** IBM (1961). Golfball, Selectric Tapewriter [Photogaphie]. lbm.com. <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/selectric/breakthroughs/>

Figure 29 (a). Yona Friedman (1973), *Flatwriter* [Graphiques]. Dans "Pro Domo" Actar Publishers.136.

**Figure 29 (c).** Yona Friedman, 1973), *Flatwriter : Zonage, plan en damier* ([Graphiques]. Matoffice.com. <http://www.matoffice.com/research/self-plan-ning-self-decision/>

Figure 30. Yona Friedman (1973), *Flatwriter* [Graphiques]. Dans "Pro Domo" Actar Publishers.136.

**Figure 31.** Negroponete, N. (1970). *Soft Architecture Machines* [Photographie]. Dans *Soft Architecture Machines* (MIT Press éd., p. 1).

**Figure 32.** Negroponete, N. (1969). *Seek Machine* [Photographie]. Dans *Toward a Theory of Architecture Machines* (Journal of Architectural Education Volume 23, Issue 2 éd.).

**Figure 33.** Jewish Museum. (1970). *Software : information technology : its new meaning for art.* [Photographie]. fondation-langlois.org. <https://www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=541>

**Figure 34.** Negroponete, N., & Davis, D. (1974). *Seek Machine* [Photographies]. Dans *Art and the Future* (Preager Publishers éd., p. 97105).

**Figure 35.** Frazer, J. (1985). *Maquettes électroniques d'architecture* [Photographies]. Dans *An évolutionary architecture* (AA Publications éd., p. 8.27).



- Figure 36.** Frazer, J. (1980). Machine-readable models as input devis, working prototype [Photographies]. Dans *An évolutionnaire architecture* (AA Publications éd., p. 14).
- Figure 37 (a).** Frazer, J. (1982). Flexible modeling système [Photographie]. Dans *An évolutionnaire architecture* (AA Publications éd., p. 38).
- Figure 37 (b).** Frazer, J. (1982). Système miniaturisé [Photographie]. Dans *n évolutionnaire architecture* (AA Publications éd., p. 39).
- Figure 38 (a).** Price, C. (1977). *Generator Project, Shadow studies* [Dessin]. www.cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321773>
- Figure 38 (b).** Price, C. (1977). *Diagrammatic chart of element sequence* [Dessin]. www.cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321880>
- Figure 38 (c).** Price, C. (1977). *Axometric view of cube arrangements* [Dessin]. www.cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321744>
- Figure 39 (a).** Price, C. (1978). *Generator Project, Menu 23 layout, detail of S.W. Zone 1* [Dessin]. cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321465>
- Figure 39 (b)** Price, C. (1978). *Generator Project, Plan of Menu 25, detail of S.W. Zone 1* [Dessin]. moma.org. <https://www.moma.org/collection/works/104703>
- Figure 40 (a)** Price, C. (1977). *Chart of activity compatibility for Generator* [Dessin]. cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/396769>
- Figure 40 (b).** Price, C. (1977). *Generator Project, Shadow studies for the 22nd of December* [Dessin]. cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321503>
- Figure 41.** Rams, D., Braun, & Greubel, J. (1969). *Lectron Electronic Toys* [Photographies]. lectron.info. [http://lectron.info/images/GB1217885A\\_UpdatedLectronPatentFiling\\_1970-12-31\\_Drawing1\\_resize.jpg](http://lectron.info/images/GB1217885A_UpdatedLectronPatentFiling_1970-12-31_Drawing1_resize.jpg)
- Figure 42.** Frazer, J. (1980a). *Maquette électronique du Generator* [Photographie]. moma.org. [https://www.moma.org/collection/works/1076?sov\\_referer=artist&artist\\_id=0&page=2](https://www.moma.org/collection/works/1076?sov_referer=artist&artist_id=0&page=2)
- Figure 42.** Frazer, J. (1980b). *Maquette électronique du Generator, 1980 John and Julia Frazer* [Photographie]. cca.qc.ca. <https://www.cca.qc.ca/en/search/details/collection/object/321277>,
- Figure 43.** Frazer, J. (1985). *Self Builder Kit Working Models* [Photographies]. <https://pages.cpsc.ucalgary.ca/~ehud/Publications/ski00.segal.pdf>
- Figure 44.** Frazer, J. (1990). Universal Constructor, prototype [Photographies]. Dans *An évolutionnaire architecture* (AA Publications éd., p. 49).

- Figure 45.** Frazer, J., & Nagasaka, I. (1991). Three-dimensional self-organizing constructor [Graphique]. Dans *An évolutionary architecture* (AA Publications éd., p. 50).
- Figure 46.** Frazer, J., & Seemüller, S. (1991). Evolving sequence from the universal constructor [Graphiques]. Dans *An évolutionary architecture, John Frazer, ed. AA Publications, 1995, p. 48* (AA Publications éd., p. 46).
- Figure 47.** Frazer, J., Höpfner, J., & Hopfner, L. (1990). Universal Constructor, Sketch proposal [Graphiques]. Dans *An évolutionary architecture* (AA Publications éd., p. 48).
- Figure 48.** Petetin, C. (2018). Three-dimensional intelligent modelling system, John et Julia Frazer, 1980 [Photographies]. Dans *Coder le monde* (Centre Pompidou éd., p. 1).
- Figure 49.** Frazer, J. (1995). The Universal Constructor, working model of a self-organizing interactive environment. [Photographie]. Dans *An évolutionary architecture* (AA Publications éd., p. 1).
- Figure 50.** Papert, S. (1998). Tortis / Turtle [Photographie]. Dans *Mindstorms : Children, computers, and powerful ideas.* (Basic Books éd., p. 1).
- Figure 51.** Perlman, R. (1974). *Tortis / Turtle talk button box* [Photographie]. <http://cyberneticzoo.com/tag/radia-perlman/>
- Figure 52.** Solomon, C. (1975). Seymour Papert avec un des premiers modèle de Turtle Logo [Photographie]. Dans *A pictorial history of the Massachusetts Institute of Technology* (Little, Brown and Company éd.).
- Figure 53.** Papert, S., & Catlin, D. (s. d.). *Valiant Turtle, 1983* [Photographie]. theoldrobots. <http://www.theoldrobots.com/turtle5.html>
- Figure 55.** Martin, F., & Silverman, B. (1996). *Brique programmable MIT* [Photographie]. researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/224102048\\_Programmable\\_Bricks\\_Toys\\_to\\_think\\_with](https://www.researchgate.net/publication/224102048_Programmable_Bricks_Toys_to_think_with)
- Figure 56.** Vilett, R. (2000). *Cartes d'AlphaWorld* [Graphiques]. [https://mappa.mundi.net/maps/maps\\_013/](https://mappa.mundi.net/maps/maps_013/). [https://mappa.mundi.net/maps/maps\\_013/](https://mappa.mundi.net/maps/maps_013/)
- Figure 57 (a).** Braben, D., & Bell, I. (1964). *Elite* [Graphiques]. fr.wikipedia.org. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Elite\\_\(jeu\\_vid%C3%A9o\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Elite_(jeu_vid%C3%A9o))
- Figure 57 (b).** Rotberg, E. (1980). *Batelzone* [Graphique]. videogamehistory.fandom.com. <https://videogamehistory.fandom.com/wiki/Battlezone>
- Figure 57(c).** Colley, S., Thompson, G., & Palmer, H. (1974). *MazeWar* [Graphique]. vossey.com. <https://www.vossey.com/dossier/page/La-genese-de-Counter-Strike-et-de-Steam-1974---Maze-War-par-Steve-Colley--1142.htm>
- Figure 58.** Addis, M., & McKay, W. (1964). *The Sumeria game, 1964* [Photographie]. arcadology.net. <https://arcadology.net/the-sumerian-game/>

- Figure 59 (a).** *Daglow, D. (1981). Utopia [Graphique]. senscritique.com.* <https://www.senscritique.com/jeuvideo/Utopia/367261>
- Figure 59 (b).** *Garriott, R. (1979). Akalabeth [Graphique]. senscritique.com.* [https://www.senscritique.com/jeuvideo/Akalabeth World of Doom/101821](https://www.senscritique.com/jeuvideo/Akalabeth_World_of_Doom/101821)
- Figure 59 (c).** *Wesson International. (1990). Moonbase [Graphique]. abandonia.com.* <http://www.abandonia.com/en/games/24489/Moonbase.html>
- Figure 60.** *Wright, W. (1989). SimCity [Graphiques]. le-monde-du-captain-sparke.fr.* <https://le-monde-du-captain-sparke.fr/sim-city-1989/>
- Figure 61.** *Wright, W. (2002). SimCity [Graphiques]. arstechnica.com.* <https://arstechnica.com/gaming/2015/10/from-simcity-to-well-simcity-the-history-of-city-building-games/>
- Figure 62.** *Nova, N., & Bolli, L. (2006). Une histoire des manettes (a), Boutons de manettes (b). Le design des Joypads vu par Nicolas Nova et Laurent Bolli [Photographies]. Dans Jeux Vidéo (Étapes : 231 éd., p. 118,119,126,127).*
- Figure 63.** *McNerney, T. S. (2002). Tangible programming Bricks [, An approach to]. alumni.media.mit.edu.* <http://alumni.media.mit.edu/~mcnerney/mcnerney-sm-thesis.pdf>
- Figure 64, 65.** *Jacob, R. J. K., & Horn, M. (2002). Tern, Quetzal [Photographies]. cs.tufts.edu.* <http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/chi07.horn.pdf>
- Figure 66.** *Jacob, R. J. K., & Horn, M. (2002). Tangible Object Placement Codes. TopCodes [Graphique]. users.eecs.northwestern.edu.* <http://users.eecs.northwestern.edu/~mhorn/topcodes/>
- Figure 67.** *Wang, D., Zhang, Y., Gu, T., He, L., & Wang., H. (2004). E-Block /T-Maze [Photographies]. semanticscholar.org.* <https://www.semanticscholar.org/paper/E-Block%3A-A-Tangible-Programming-Tool-with-Graphical-Wang-Zhang/ed0e2e83a9183eedaef3bc8935076792c1cac390>
- Figure 68.** *Suzuki, H., & Kato, H. (2000). AlgoBlock [Photographies]. tib.eu.* <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN005528926/AlgoBlock-A-tangible-programming-language-for-collaborative/>
- Figure 69.** *Ichida, H., Itoh, Y., Kitamura, Y., & Kishin, F. (2004). ActiveCube [Photographies]. tib.eu.* [https://www.tib.eu/en/search/id/springer:doi~10.1007%252F978-3-540-24678-7\\_5/Implementation-of-ActiveCube-as-an-Intuitive-3D?-cHash=99babeaed67f1b3da2ac17b2811ca4a](https://www.tib.eu/en/search/id/springer:doi~10.1007%252F978-3-540-24678-7_5/Implementation-of-ActiveCube-as-an-Intuitive-3D?-cHash=99babeaed67f1b3da2ac17b2811ca4a)
- Figure 70.** *Anderson, D., & Frankel, J. L. (2000). Computational Building Blocks [Photographies]. merl.com.* <https://www.merl.com/publications/docs/TR2000-13.pdf>
- Figure 71.** *Petetin, C. (2020). Les modes d'interaction haptiques.*
- Figure 72.** *Brand, S. (1970). Whole Earth Catalog [Photographies]. moma.org.* <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/1166>

- Figure 73.** Russell, S., Graetz, M., & Wiitanen, W. (1962). *Spacewar game* [Photographies]. culture-games.com. <https://www.culture-games.com/histoires-du-jeu-video/spacewar-le-premier-jeu-video-ambitieux>
- Figure 74 (a).** Bosqué, C. (2017). *Carte Arduino* [Photographies]. Un design diffus : le design dans son plus simple appareil. Dans *Objectiver. Éditions de la Cité du design*. 165
- Figure 74 (b).** Contrôleurs Adafruit, Micro:bit, nano.
- Figure 75.** Contrôleurs, capteurs entrées et sorties, compatible Aduino.
- Figure 76.** Qi, J., & Huang, A. (2018). *Chibitronic* [Photographies]. media.mit.edu. <https://www.media.mit.edu/posts/media-lab-to-the-moma-a-complicated-reality-of-dreams-coming-true/>
- Figure 77.** FAT-Lab, & Sy-lab (2012). *Free Universal Construction Kit* [Photographies]. fffff.at. <http://www.sy-lab.net/Free-Universal-Construction-Kit>
- Figure 78.** Jacob, F., & Loglio, M. (2016). *Cubetto Primo-arduino* [Photographies]. primotoys.com. <https://www.primotoys.com/blog/2017/07/primo-story-2-fighting-giant/>
- Figure 79.** Scholler, J., & Sharma, P. (2013). *Osmo* [Photographies]. playosmo.com. <https://www.playosmo.com/en/coding/>
- Figure 80 (a).** Mlynář, V., & Pollág, J. (2016). *Koski* [Photographies]. vaclavmlynar.com. <https://www.vaclavmlynar.com/koski-game>
- Figure 80 (b).** Fujiki, J. (2013). *Echochrome* [Graphiques]. socks-studio.com. <http://socks-studio.com/2012/03/19/oscar-reutersvards-impossible-constructions-as-game-play-dont-do-this-at-work-27/>
- Figure 81.** Koby, B., & Hirschmann, D. (2012). *technology Will Save Us* [Photographies]. moma.org. [https://www.moma.org/collection/works/184278?artist\\_id=46313&page=1&sov\\_referrer=artist](https://www.moma.org/collection/works/184278?artist_id=46313&page=1&sov_referrer=artist)
- Figure 82.** Bdeir, A. (2016). *Littelbit* [Photographies]. moma.org. <https://www.moma.org/collection/works/145485>
- Figure 83.** Silver, J., & Rosenbaum, E. (2012). *Makey Makey [(2012) Jay Silver et Eric Rosenbaum]*. makeymakey.com. <https://makeymakey.com/>
- Figure 84.** Johnson, M. (2015). *Bareconductive* [Photographies]. bareconductive.com. <https://www.bareconductive.com/>
- Figure 85.** Hamda, N. (2015). *Ozobot* [Photographies]. ozobot.fr. <http://ozobot.fr/>
- Figure 86.** Cross, M. (2012). *cubelet* [Photographies]. modrobotics.com. <https://www.modrobotics.com/education/>



**Figure 87.** Blikstein, P. (2018). *Project block [Photographies]*. *projectbloks.withgoogle.com*. <https://projectbloks.withgoogle.com>

**Figure 88.** Horn, J. (2014). *Samlab [Photographies]*. *samlabs.com*. <https://samlabs.com/us/>

**Figure 89.** Petetin, C. (2017). *MCookie [Photographies]*. *microduinoinc.com*. <https://microduinoinc.com/mcookie/>

**Figure 90.** Suzuki, Y. (2015). *Look like music [Photographies]*. *yurisuzuki.com*. <https://yurisuzuki.com/artist/looks-like-music>

**Figure 91.** Suzuki, Y. (2014). *Ototo [Photographies]*. *yurisuzuki.com*. <https://yurisuzuki.com/archive/works/dentaku-ototo-2/>

**Figure 92.** Suzuki, Y. (2012). *Denki puzzle [Photographies]*. *yurisuzuki.com*. <https://yurisuzuki.com/archive/works/denki-puzzle/>

**Figure 93.** Pluvimage, R., & Piffano, M. (2015). *Papier Machine [Photographies]*. *pinaffo-pluvimage.com*. <https://pinaffo-pluvimage.com/>

**Figure 94.** Cauvard, M., & Raphaël, P. (2012). *Noisy Jelly [Photographies]*. *pinaffo-pluvimage.com*. <https://pinaffo-pluvimage.com/>

**Figure 95.** Virieu, L. (2011). *Affone [Photographies]*. *leovirieu.fr*. <http://leovirieu.fr/affone/>

**Figure 96 (a).** Gourguechon, C. (2013). *Paper electronic modules [Photographies]*. *coraliegourguechon.fr*. <https://coraliegourguechon.fr/Paper-electronic-modules-1>

**Figure 96 (b).** Gourguechon, C. (2013). *Circuit to link [Photographies]*. <https://coraliegourguechon.fr/Circuit-to-link>

**Figure 96(c).** Gourguechon, C. (2018). *Paper User Interfaces [Photographies]*. *coraliegourguechon.fr*. <https://coraliegourguechon.fr/Paper-User-Interfaces>

**Figure 96(d).** Gourgueton, C. (2013). *Anatomical board of speakers [Photographies]*. *coraliegourguechon.fr*. <https://coraliegourguechon.fr/Anatomical-board-of-a-speaker>

**Figure 97.** Deintuitie Fabriek. (2016). *Waterscape [Photographies]*. *deintuitiefabriek.nl*. <https://www.deintuitiefabriek.nl/WATERSCAPE>

**Figure 98.** Nawrot, K. (2018). *Mind Walks [Photographies]*. *voidwreck.com*. <https://www.voidwreck.com/>

**Figure 99.** Nawrot, K. (2019). *Phénomènes [Photographies]*. *indexgrafik.fr*. <https://indexgrafik.fr/karl-nawrot-construire-par-le-vide/>

**Figure 100.** Lacombe, A. (2018). *Ca part de gommette [Photographies]*. *etapes.com*. <https://etapes.com/a-la-rencontre-des-jeunes-designers-diplomes-de-l-ensci/>

**Figure 101.** Cox, P. (2015). *Le Ludographe [Photographies]*. *cnap.fr*. <https://www.cnap.fr/le-ludographe-kit-pedagogique>

- Figure 102.** Perez, E. (2014). *Les Pretextes* [Photographies]. eloisaperez.fr. <http://www.eloisaperez.fr/>
- Figure 103.** Bataille, L. (2018). *Les Normographes*, [Photographies]. b-a-t-o-n-s.fr. [http://b-a-t-o-n-s.fr/p.html?14#normographe\\_famille\\_batons](http://b-a-t-o-n-s.fr/p.html?14#normographe_famille_batons)
- Figure 104.** Bataille, L. (2018). *Grilles, Déplacements* [Photographies]. b-a-t-o-n-s.fr. <http://b-a-t-o-n-s.fr/p.html?1530643519320#editionsb1>
- Figure 105.** Poyet, P. (2015). *Alphabet* [Photographies]. pernellepoyet.fr. <https://pernellepoyet.fr/>
- Figure 106.** Nedelec, J. (2012). *Architangram, Les chimères, Les bruits* [Photographies]. julien-nedelec.net. <https://julien-nedelec.net/wordpress/index.php/portfolio/les-bruits/>
- Figure 107.** Nedelec, J. (2012). *La chute d'une feuille au Brésil peut-elle déclencher une tornade au Texas ?* [Photographies]. julien-nedelec.net. <https://julien-nedelec.net/wordpress/index.php/portfolio/la-chute-dune-feuille-au-bresil-peut-elle-declencher-une-tornade-au-texas/>
- Figure 108.** Froment, A. (2014). *Frœbel Frœbelisé* [Photographies]. villa-arson.org. <https://www.villa-arson.org/2014/04/froebel-frobeled-aurelien-froment/>
- Figure 109.** O'Kane, E. (2015). *The Wood Archive* [Photographies]. eamonokane.com. <http://www.eamonokane.com/work.html>
- Figure 110.** O'kane. (2015). *The Wood Archive* [Photographies]. eamonokane.com. <http://www.eamonokane.com/work.html>
- Figure 111 (a).** Frœbel USA (2019). *Frœbel Gift Workshop adults* [Photographies]. Frœbelusa.com. <https://www.facebook.com/Frœbelusa/photos/3301392939902534>
- Figure 111 (b).** *Ibid.* <https://www.facebook.com/Frœbelusa/photos/3301334963241665>
- Figure 111 (c).** *Ibid.* <https://www.facebook.com/Frœbelusa/photos/3301393446569150>
- Figure 111 (d).** *Ibid.* <https://www.facebook.com/Frœbelusa/photos/3301392716569223>
- Figure 112.** Space 10. (2016). *SolarVille* [Photographies]. space10.com. <https://space10.com/project/solarville/>
- Figure 113.** *Normals.* (2019). *CCCC.CITY* [Photographies]. normalfutu.re. <https://normalfutu.re/normals/f-f-t-p/cccc-city-the-event/>
- Figure 114.** Altshuler, J., & Morrison, Z. (2018). *The Portmanteau* [Graphique & Photographies]. couldbearchitecture.com. <http://couldbearchitecture.com/work/%20seeing-double-the%20portmanteau-portmanteau>



**Titre :** Les technologies tangibles et ludiques appliquées à l'apprentissage de la conception architecturale et à la conception participative

**Mots-clés :** Conception participative - innovation sociale - fabrication numérique - jeu tangible - Education - Conception de Jeux

**Résumé :** La recherche s'intéresse à l'utilisation des jeux de construction sous la forme d'outils tangibles d'aide à la conception participative.

La thèse identifie les liens étroits entre la contre-culture informatique des années 1960 jusqu'au mouvement néo-maker actuel et les outils de la conception architecturale, par le prisme des enjeux ludiques et éducatifs. La réflexion met en lumière l'influence formelle et procédurale des « Dons » de Friedrich Fröbel dans l'émergence des utopies informatiques en architecture et en design, ainsi que la réhabilitation actuelle de leurs outils pédagogiques dans l'apprentissage de l'informatique, sous la forme de dispositifs tangibles d'aide à la conception.

La recherche s'inscrit dans le champ de la révolution numérique par l'innovation ouverte et les technologies créatives. Il s'intéresse à l'émergence des dispositifs de l'open culture qui se déploient autour des enjeux de la participation citoyenne. Les technologies ouvertes

et créatives opèrent un vaste chantier théorique et expérimental sur la démocratisation de la culture architecturale et sur le rôle des acteurs qui peuvent désormais partager leur savoir faire pour le rendre accessible à l'ensemble de la société. Dans ce contexte en mutation, de nouveaux outils de la conception architecturale restent à inventer. Leur nature, leurs fonctionnalités, leur ergonomie, leur esthétique doivent permettre à tous les contributeurs, à toutes les générations, de comprendre la complexité du processus de conception, afin d'être en mesure de se l'approprier.

La thèse s'intéresse principalement aux outils de conception permettant la collaboration de manière réflexive et ludique entre tous les acteurs. Son enjeu se situe du côté du développement des interfaces numériques et analogiques dites tangibles qui contiennent de grandes potentialités en termes d'écriture narrative et d'expérimentation collaborative.

**Title :** Tangible and playful technologies applied to architectural design learning and participatory design

**Keywords :** Participatory design - Social innovation - Digital manufacturing - Tangible game - Education - Game design

**Abstract :** The research is interested in the use of construction games as tangible tools to support participatory design. The thesis identifies the close links between the computer counter-culture of the 1960s until the current neo-maker movement and the tools of architectural design, through the prism of playful and educational issues. The reflection highlights the formal and procedural influence of Friedrich Fröbel's "Gifts" in the emergence of computer utopias in architecture and design, as well as the current rehabilitation of their educational tools in the learning of computer science, under the form of tangible design assistance devices.

The research is in the field of the digital revolution through open innovation and creative technologies, with the emergence of open culture mechanisms that are deployed around the issues of citizen participation. Open and creative technologies operate a vast theoretical and experimental project on the

democratization of architectural culture and on the role of actors who can now share their know-how to make it accessible to the whole of society. In this changing context, new architectural design tools remain to be invented. Their nature, their functionalities, their ergonomics, their aesthetics must allow all contributors, all generations, to understand the complexity of the design process, in order to be able to appropriate it. The thesis is mainly interested in design tools allowing for reflexive and playful collaboration between all actors. Its stake lies in the development of so-called tangible digital and analog interfaces which contain great potential in terms of narrative writing and collaborative experimentation.