Proposition d'un jeu pédagogique de conception d'une navette spatiale "lego" pour l'apprentissage de la collaboration entre métiers

Stéphanie Minel, Perotti Clement, Legardeur Jeremy

▶ **To cite this version:**

Stéphanie Minel, Perotti Clement, Legardeur Jeremy. Proposition d'un jeu pédagogique de conception d'une navette spatiale "lego" pour l'apprentissage de la collaboration entre métiers. 10eme colloque AIP-PRIMECA, CD Rom, La Plagne, France, 17-20 avril 2007., 2007, LA PLAGNE, France. hal-00657988

HAL Id: hal-00657988
https://hal.science/hal-00657988

Submitted on 9 Jan 2012

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.

PROPOSITION D'UN JEU PEDAGOGIQUE DE CONCEPTION D'UNE NAVETTE SPATIALE « LEGO® » POUR L'APPRENTISSAGE DE LA COLLABORATION ENTRE METIERS

Jérémy Legardeur (1,2), Stéphanie Minel (1,2), Baptiste Ivaldi-Brunel (1), Clément Perotti (1), Pascal Saint-Geremie (1), William Ugarte (1)
(1) Ecole d'ingénieurs ESTIA, Technopôle Izarbel, 64210 Bidart, Tel. 05.59.43.84.00, Fax. 05.59.43.84.01
(2) Laboratoire LIPSI - ESTIA, Technopôle Izarbel, 64210 Bidart, Tel. 05.59.43.84.00, Fax. 05.59.43.84.01
email. Initialeprénom.nom@estia.fr

Résumé:

Dans cet article, nous proposons un jeu pédagogique destiné à simuler des activités de conception collaboratives de produits mécaniques dans le cadre de la formation des futurs ingénieurs. Ce jeu est basé sur l'adaptation du jeu Delta Design développé au M.I.T. Le principe de notre jeu est de co-concevoir une navette spatiale en brique Lego® avec des rôles et des règles métier qui sont attribués à plusieurs étudiants. Le support logiciel utilisé (logiciel MLCad) nous permet de proposer une utilisation distribuée de ce jeu. L'objet est d'amener les étudiants à vivre une situation de conception avec ses compromis, ses conflits et ses contraintes afin de les aider grâce aux analyses vidéo à comprendre leur comportement, celui des autres membres et les amener à une réflexion sur les bonnes pratiques de la coopération entre métiers.

Mots clés : pédagogie de la conception collaborative, apprentissage expérimental, coopération entre métier, jeu Légo®

1 Introduction

La conception de produit de part le caractère concurrentiel du marché passe, entre autre, par la constitution d'équipes pluridisciplinaires capable de collaborer efficacement. La collaboration entre les métiers apparaît alors clairement comme un catalyseur pour la créativité et le partage des compétences. Dans les organisations, la collaboration est un phénomène relativement complexe à étudier et formalisé entre autre part ses caractéristiques sociotechniques [1]. Les interactions des individus entre eux mais également avec les systèmes environnants (objets, contexte,…) constituent un champ de questionnement actuel aussi bien au niveau académique qu'industriel. Nous retiendrons qu'il y a travail collaboratif lorsque les acteurs échangent des points de vue sur des informations existantes, partage de l'expérience, définissent des objectifs communs, construisent des informations et compétences ensemble pour tendre vers un artefact commun. Cette définition masque cependant les nombreuses difficultés et les freins. Nous partageons le point de vue de Reynaud sur cette question qui précise que "les compétences individuelles se combattent autant qu'elles s'ajoutent". Ainsi, la coopération peut devenir "une bataille incessante de chacun pour faire valoir son point de vue et imposer les exigences de son métier. … un espèce de rapport de force cognitif qui ne va pas sans blocages et sans affrontements." [2]. En effet, sur le plan social, la pluridisciplinarité implique généralement des acteurs de domaines divers, de compétences complémentaires, et de cultures différentes (référentiel, vocabulaire, formation, parcours, expérience, etc.), chacun ayant une vision propre du produit à concevoir. Chacun développe alors ses stratégies pour faire valoir ses propres objectifs et critères d'évaluation. La coopération naît des initiatives, de l'envie de convaincre, de la construction d'objectifs, de résultats, de risque communs et partagés, de négociations et des

compromis. Il faut une symétrie, un sentiment d'équité dans les rapports entre collaborateurs et non une plénitude imaginaire et humainement impossible.

Si l'étude de la collaboration est relativement complexe dans le contexte industriel, la formation des individus est une problématique forte pour les organismes d'enseignement et plus particulièrement pour les écoles d'ingénieurs. En effet, former de futurs ingénieurs, dotés de réels savoirs techniques tout en leur permettant d'acquérir des "compétences de collaboration" reste un défi majeur pour les écoles de formation.

Les "connaissances techniques et économiques" des différents acteurs de la conception augmentent sans cesse. Par conséquence, les écoles d'ingénieurs doivent enseigner de plus en plus de disciplines à leurs étudiants. De plus, les outils d'aide à la conception (CAO, PLM,…), les outils d'évaluation technique et économique, etc., se développent continuellement afin d'assister les acteurs dans la réalisation de leurs tâches de plus en plus complexes et spécifiques à un métier. Néanmoins, cette dynamique des connaissances scientifiques et des savoir-faire en général impose aux acteurs de se spécialiser et de choisir un domaine d'expertise particulier. Cette situation conduit à un certain "cloisonnement" des savoirs répartis entre différents individus et entre différentes structures. Un acteur ne peut pas élargir ses compétences dans une multiplicité de domaines. Cette situation conduit à observer une "asymétrie croisée des savoirs" entre les acteurs métier : chaque individu développe des connaissances de plus en plus spécifiques à son métier mais au détriment d'une certaine veille technique dans les autres domaines conduisant ainsi à des difficultés de compréhension, d'échange et de partage aux interfaces des métiers [3].

Aujourd'hui, la formation des individus orientée vers le développement de savoir-être et d'aptitudes de collaboration demeure problématique. En effet, de part la multitude des "paramètres" (développement personnel, psychologie de l'individu, du groupe, culture d'entreprise, jeux de pouvoir, habitude de travail…) qui la conditionnent, il faut reconnaître le caractère fortement contextuel de la collaboration. C'est pourquoi l'aptitude à la collaboration est souvent perçue comme une compétence qui s'apprend essentiellement par l'expérience et la mise en situation réelle de l'individu. De ce fait, dans un but pédagogique, il est très difficile de reproduire de tels environnements d'apprentissage. Cependant, les stages, les projets étudiants sont les premières réponses apportées par les écoles pour mettre en situation les futurs ingénieurs dans leur futur rôle d'acteurs de la collaboration.

Dans cet article, nous faisons l'hypothèse que ces dispositifs d'apprentissage de la collaboration ne sont pas suffisants et peuvent être complétés par d'autres approches. Nous proposons ici un jeu de la conception destiné à être utilisé par les écoles d'ingénieurs comme un outil pédagogique pour l'apprentissage de la collaboration. Ce jeu, essentiellement basé sur les briques Légo®, a été développé pour simuler la conception pluridisciplinaire d'un objet technique et amener un groupe d'étudiants à expérimenter sous contrainte une situation nécessitant la coopération de tous. Bien que de ces derniers suivent le même cursus général, ils ont des origines (Classe préparatoire, I.U.T., I.U.P, DEUG, etc. …) et des options (Conception généralisée de produit, Organisation industrielle ou Maitrise des procédés automatisés) qui permettent de mettre en place des groupes assez hétérogènes même si moins représentatifs de la diversité sur le terrain industriel.

Plus particulièrement, nous avons adapté certains concepts du jeu "Delta Design" développé au M.I.T par Bucciarelli et qui sera présenté dans la partie 2 de cet article. Dans la troisième partie, nous présenterons alors notre jeu. Dans la dernière partie, nous conclurons alors en discutant des limites et perspectives de notre travail.

2 Le jeu Delta Design

Voici la présentation du jeu que les étudiants reçoivent au début de la mise en situation.

Félicitations ! Vous êtes désormais l'un des quatre membres éminents d'une équipe de conception. La mission de votre équipe est de concevoir une nouvelle maison adaptée aux besoins des habitants

d'un pays imaginaire de la planète Deltoid. Ceci est la phrase d'introduction du jeu Delta Design [4]. Dans ce jeu, chacun des 4 joueurs reçoivent un document décomposé de la manière suivante :

- cette partie présente la composition de l'équipe et son objectif, et précise la tâche globale à réaliser en détaillant le cahier des charges de l'habitation à concevoir. Cette première partie est commune à tous les participants.

- la deuxième partie du document, différente d'un métier à l'autre, donne les connaissances nécessaires à la bonne exécution du rôle qui a été assigné au joueur. Chacun des 4 membres de l'équipe va mettre en œuvre la connaissance de son métier pour assurer la bonne exécution du projet.

2.1 Les objectifs de conception dans Delta Design

Dans Delta Design, la vie sur DeltaP est présentée comme très éloignée de celle que nous avons sur terre. Tout d'abord, DeltaP n'est pas une planète mais un monde plan. L'équipe conçoit donc dans un espace à 2 dimensions et non 3 comme nous le faisons habituellement. Pour s'assurer que le produit conçu respecte les spécifications (le cahier des charges) et qu'il plaît au client du point de vue esthétique et fonctionnel, une représentation sur une simple feuille de papier suffit (figure 1).

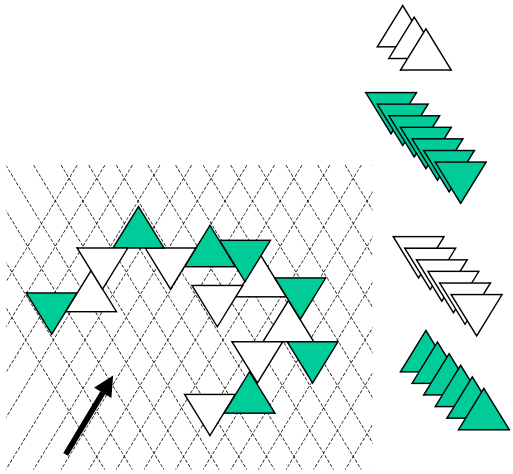

Figure 1. Exemple de maison en cours de conception

L'espace 2D de la planète Deltoid n'est pas orienté suivant les axes X et Y habituels. Sur DeltaP un angle droit fait 60° (en unités Terriennes). Dans ce monde plat, angulaire, tous les objets de la vie courante s'appuient sur des formes triangulaires. Le triangle équilatéral est considéré comme la forme idéale. En conséquence, l'équipe doit concevoir la résidence par assemblage de ces triangles équilatéraux soit rouges (triangle chauffant) soit bleus (triangle refroidissant)).

En tant que composants utilisés pour construire les habitations, les triangles possèdent des fonctionnalités à la fois esthétiques, thermiques bien plus complexes que leur forme et leur unique dimension peuvent le laisser supposer. Lorsqu'ils sont assemblés pour constituer les murs que l'équipe doit concevoir, ils vont se comporter de différentes manières. Les triangles rouges sont conducteurs de la chaleur qui ainsi passe de l'un à l'autre. Ils irradient cette chaleur vers l'extérieur, ils fondent s'ils sont trop chauds, ils se dilatent s'ils sont trop froids. Trois sortes de ciments sont nécessaires à l'assemblage de triangles entre eux. Les joints sont plus résistants lorsqu'ils sont parallèles à la direction de la gravité. Le prix d'achat des triangles est différent suivant la quantité et la couleur. Des sous-ensembles de triangles peuvent être préfabriqués en usine. Suivant leur disposition, l'assemblage sera considéré comme hideux ou superbe par les Deltaiens.

La tâche de l'équipe est donc de créer une habitation qui prenne en compte et intègre le mieux possible toutes les contraintes et goûts du client, ainsi que les caractéristiques des triangles et composants utilisés.

2.2 La mission de l'équipe et sa responsabilité

L'équipe de conception est organisée de telle sorte que chacun des joueurs est responsable d'une partie de la conception. Elle se compose d'un maître d'œuvre, d'un spécialiste en calcul de structure, d'un thermicien et d'un architecte. La consigne assignée est de ne pas se montrer le cahier des charges entre membre d'une même équipe ou d'une équipe adverse. Suite à cette partie commune, chaque joueur reçoit le document qui présente les objectifs et les contraintes de son métier que nous ne développerons pas ici.

Le maître d'œuvre :

Sa tâche concerne le coût et la planification de la construction. Il doit s'assurer du respect du cahier des charges et de la négociation (prix, délais) avec le fabricant et le client. Il doit respecter le devis et réduire le plus possible le temps de construction.

Le spécialiste en calcul de structure :

Son rôle est de s'assurer que la structure physique de l'habitation est capable de supporter les efforts dus aux charges engendrées par la gravité. Le choix des deux points de fixation de la structure au sol est de sa responsabilité, ainsi que le calcul de la résistance globale de l'habitation (maintien de sa cohésion). Lors de la présentation, l'ingénieur en calcul de structure devra justifier de la solidité de sa solution en montrant les joints les plus sollicités et en estimant la charge moyenne sur chaque joint, celle-ci sera exprimée comme un pourcentage de la charge de rupture.

L'ingénieur thermicien

Il doit s'assurer que le projet respecte les normes de confort en terme de température moyenne. Il doit aussi vérifier que la température de chacun des triangles reste dans les bornes de bon fonctionnement. Lors de la revue de projet, le thermicien devra donner une estimation de la température moyenne et identifier les points chauds et les points froids.

L'architecte

Sa mission porte à la fois sur le respect de certaines spécifications fixées dans le cahier des charges : la surface par exemple, et sur l'aspect esthétique et fonctionnel. Il doit faire en sorte que les aspects intérieur et extérieur de la résidence soit conforme aux attentes du client.

2.3 Collaboration avec Delta Design

A noter que ces règles sont parfois floues et subjectives comme par exemple : « *Votre vision d'architecte, un peu artiste, vous pousse à concevoir des produits originaux, à la mode et plutôt innovants. Vous avez imaginé une disposition qui, bien qu'elle prenne ses racines dans la tradition, révolutionne les concepts actuels par des formes jusqu'alors inexploitées.* ». Parfois ces règles sont précises et formelles comme par exemple : *« En désignant par i un triangle quelconque, calculez la somme des moments engendré par la gravité sur chaque triangle par rapport à i :*

$$\sum_{i=1}^{N}\left(\mathrm{f}\times D_{ij}\right)=\mathrm{N}\times\mathrm{f}\times D_{i,cg}$$ ».

Si on analyse les différentes règles métier qui sont données aux joueurs, nous pouvons constater que celles-ci ont été définies afin de proposer des oppositions et des alliances entre elles. Cela permet alors d'observer des moments de collaboration et des moments de négociation entre les joueurs qui font valoir leurs contraintes respectives au moment de la construction de la maison.

L'intérêt du jeu Delta Design réside dans l'analyse des "temps forts" de collaboration. Cette analyse peut être faîte par un observateur externe ou par un binôme joueur- observateur par métier.

Même si chaque expérience avec Delta Design donne des résultats nouveaux, nous pouvons toutefois citer certains "temps forts" qui ponctuent fréquemment le déroulement d'une expérience. Le choix des répartitions des rôles témoignent des personnalités constituant le groupe (est-ce un leader qui organise ? Est ce le premier qui parle qui choisit ?…). Les discussions entre les joueurs sont souvent très riches : les rapports de force commencent à s'installer entre les personnes, une hiérarchie d'ordre social apparaît parfois. Pendant les quelques minutes de présentation de chaque métier, le sujet final, c'est à dire la conception d'une nouvelle résidence, laisse sa place temporairement au profit d'un autre: la structure et la hiérarchisation du groupe. Les personnalités se révèlent : les plus fortes essayent d'imposer et valoriser leurs critères de manière prépondérante sur les autres métiers… Il y a ensuite une variation d'interprétation de la consigné de non présentation des cahiers des charges métiers. En effet, certains la traduise comme une mise en concurrence au sein même du groupe, puisqu'il ne fait pas le montrer nous ne pouvons pas en parler ou échanger. D'autres au contraire retranscrivent leurs contraintes en les hiérarchisant et les organisent de manière opportuniste. Nous apercevons que l'interprétation de cette consigne permet d'amener le groupe a implicitement choisir entre trois grands types d'organisation :

- l'absence d'organisation, et de ne se reposer que sur les personnalités du groupe

- le report sur l'architecte du concept : « C'est à toi de créer nous après on valide par les calculs »

- l'organisation autour d'un leader qui gère le temps et répartit les tâches.

Cette dernière est peu courante mais est apparue lors de formation pour adultes.

2.4 Les résultats et limites de Delta Design

L'analyse du corpus, des photos (cf. figure 2) et enregistrement vidéos d'une séance avec Delta Design permet d'obtenir un certains nombre d'éléments et d'observations des individus en situation collaborative.

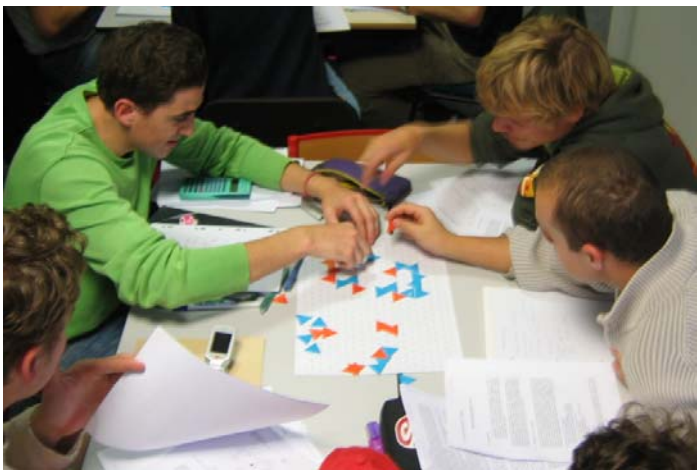

Figure 2. Photo prise lors d'une séance Delta Design.

Nous ne développerons pas dans cet article les intérêts pédagogiques d'une telle démarche car le lecteur pourra se référer à l'article [5]. Toutefois nous soulignons l'intérêt majeur pour l'étudiant qui peut ainsi par une analyse réflexive selon [6] mieux comprendre et analyser son comportement dans une action collective.

Cependant, nous avons identifié un certain nombre de limites à ce jeu Delta Design :

- Tout d'abord, il y a parfois un manque d'enthousiasme des futurs ingénieurs en conception de produit quant à l'expérimentation. Ceci est lié entre autre au fait que l'objectif final est la conception

d'une habitation souvent assimilée aux formations d'architecture et dont les caractéristiques sont peu orientées vers la technologie des produits mécaniques.

- La représentation de l'objet à concevoir (sous forme d'assemblage de triangle) nous paraît trop abstraite pour solliciter davantage d'interactions entre les joueurs. De plus, le format en 2D uniquement s'éloigne des formats 3D (CAO) traditionnellement utilisés en conception de produit.

- Le format du jeu impose une utilisation en présentiel et ne permet pas un test dans un environnement distribué.

De ces limites, nous avons alors imaginé un jeu différent, et davantage orienté vers la conception d'un produit mécanique. La présentation de ce jeu fait l'objet de la partie suivante.

3 Vers un nouveau jeu de la conception basé sur les briques Lego

3.1 Les objectifs du jeu de la conception

Dans le jeu que nous proposons, l'objectif est de concevoir une navette spatiale (cf. exemple figure 3) par l'assemblage de brique Lego® en respectant un certain nombre de contraintes. Le choix des briques est essentiellement basé sur leurs facilités d'utilisation, leurs possibilités de construire/représenter des produits mécaniques (un avion, une automobile), l'utilisation des logiciels libres (ex : MLCad) pour construire et partager à distance des modèles virtuels d'assemblage. A noter qu'un certain nombre de jeux pédagogiques, utilisés dans certaines formations d'ingénieurs et de marketing, et également de coaching en entreprise ont été déjà conçu avec ce type de brique (http://www.seriousplay.com/).

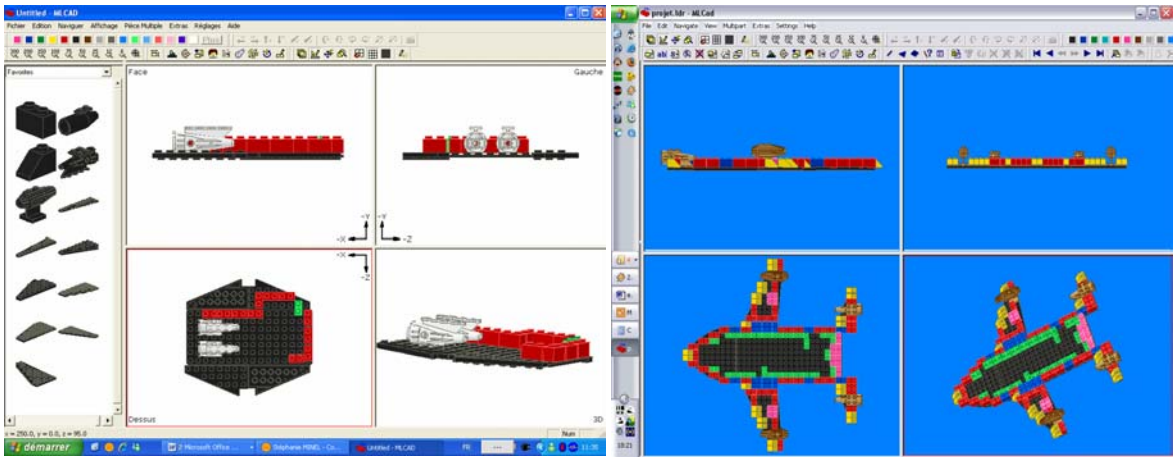

Figure 3. Exemple de navettes en construction sous le logiciel MLCad.

A l'instar du jeu Delta Design, nous avons également une partie commune qui présente l'objectif général assigné à l'équipe puis des définitions de poste et règles spécifiques pour les différents métiers.

Nous allons présenter tout d'abord les objectifs généraux puis nous développerons les règles métiers.

3.2 Les missions de l'équipe multi-métiers

Voici la présentation que chaque joueur reçoit une fois l'équipe constituée.

« *Au départ, l'univers fût crée et cela mit beaucoup de gens en colère ». En effet cela ne profitait encore une fois qu'aux plus riches et aux plus favorisés. Le hasard fit que bien loin de votre calme système solaire de banlieue galactique, il fut créé un système planétaire extrêmement simple. Ce système est conçu sur le principe de l'imbrication physique des éléments. Là-bas, il n'existe qu'un seul*

type d'énergie de liaison, il s'agit du clip. Le clip permet de maintenir ensemble les briques, le constituant de base de la matière. En adaptant ce principe à votre planète, vos atomes seraient cubiques, de 10 cm de coté et vous pourriez les emboîter et déboîter à souhait pour constituer des murs, former des alliages en combinant les propriétés des briques.

Notre galaxie n'est pas uniquement composée de ces dernières mais aussi d'une grandeur appelée la lenteur, qui imprègne la matière et en modifie les caractéristiques. Vous devez concevoir la lenteur comme un champ homogène d'anti-énergie à potentiel variable. La lenteur est comprise dans une échelle de valeurs de +15 L° et -15 L° mais qu'il arrive parfois que cette échelle ne soit pas adaptée. La lenteur moyenne agréable pour un organisme vivant est de 0 L°, et supportable à 5 L° près sans dommages corporels. Sachez qu'il est possible de cloisonner la lenteur et d'en utiliser le potentiel et les effets. Pour cela il suffit de s'appuyer sur les propriétés de certaines briques.

La lenteur a pour particularité de toujours vouloir occuper au maximum l'espace qui lui est donnée, un peu comme un gaz le fait sur terre. Elle s'écoule toujours de son plus fort potentiel vers son plus faible. Ainsi seules les briques peuvent stopper l'écoulement de la lenteur.

Si nous représentons une brique comme suit (figure 4) en supposant que L°1>L°2, la lenteur va donc s'écouler vers la droite.

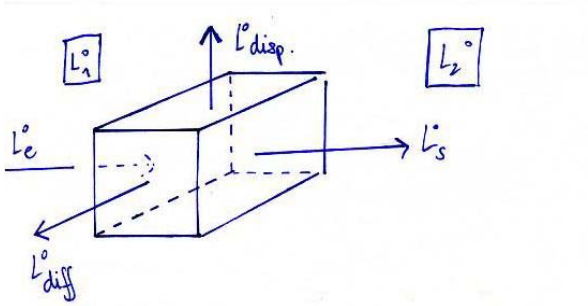

Figure 4 : Flux de lenteur sur une brique Légo

L°e est une lenteur entrant, L°diff correspond à une lenteur diffusée à travers les briques et L°disp à une lenteur dispersée qui est rejetée. Ainsi, nous pouvons les 4 paramètres suivants

- $c_{L°a}$ *, qui correspond à la capacité d'absorption de la brique*
- $c_{L°d}$*, qui correspond à la capacité à diffuser la lenteur*
- *f , le facteur de dispersion*
- $c_{L°s}$ *, qui est une capacité très particulière qui permet de convertir* $L°_s$ *en* $L°_{diff}$ *.*

Ces paramètres peuvent être mis en équation de la manière suivante :

$$L°_e = c_{L°a} * \Delta \boldsymbol{L°}$$
$$L°_{disp} = f * L°_e / c_{L°a} \qquad \text{avec } \Delta \boldsymbol{L°} = \boldsymbol{L°_1 - L°_2}$$
$$L°_{diff} = c_{L°d} / c_{L°a} * L°_e$$
$$L°_s = L°_e - (L°_{diff} + L°_{disp} + c_{L°s} * \Delta \boldsymbol{L°})$$

Pour transporter des marchandises et du matériel en général, de la lenteur qu'il faut transporter à une lenteur de 8 L°, les batteries ont un meilleur fonctionnement dans une lenteur élevée et les moteurs lorsqu'elle est faible. L'effet majeur à dénoter au niveau de la navette est qu'elle influe sur sa vitesse.

$$V_{moy} = [(\boldsymbol{M + S_{ailes}})\Delta \boldsymbol{L°} + 2(\boldsymbol{L°_{int} / S_{châssis}})] - \boldsymbol{kPL°_{ext}}$$

Les variations de lenteur contraignent la structure de la navette particulièrement sur les zones de liaison aile-châssis.

Ces technologies ont été développées par l'aérospatiale locale. C'est cette même industrie qui vous a convoqués pour tester votre aptitude à concevoir leur prochaine navette. Pour cela, il vous a été remis un livret présentant les principes utilisés dans la conception d'une navette de la flotte Vaughonne ainsi que les métiers à pourvoir au sein de l'équipe. »

Pour compléter ces objectifs globaux, nous avons imaginé un principe de tirage aléatoire des valeurs cibles afin de définir des objectifs différents à plusieurs équipes : par exemple, une équipe sera chargée de concevoir une navette spatiale pour transporter *x* personnes à la vitesse de *y*, pour une autonomie de *t*. Les différents types de transports ont des caractéristiques et des obligations différentes, le tout est présenté dans le cahier des charges commun.

Les briques élémentaires pour constituer le produit final sont utilisables à partir d'une base de données réduite et spécifique obtenue à partir de l'ensemble des briques de type Légo®. Cette base de données peut être utilisée aussi bien virtuellement avec le logiciel libre MLCad (http://www.lm-software.com/mlcad/) que de manière tangible dans le cas d'un achat des pièces lego®. Les briques se distinguent de part plusieurs attributs (forme, type et couleur) qui leurs donnent ainsi des caractéristiques particulières en terme de poids, coût, résistance mécanique et thermique. Il y a 5 types principaux de briques : rouges pour la résistance thermique, rose pour les réserves d'énergie, bleu pour la résistance mécanique, jaune pour l'aérodynamique et vert pour l'ergonomie et l'esthétique. Chaque brique est caractérisée par son poids sa résistance thermique, mécanique et son coût. Trois types d'assemblage sont utilisables pour fixer les briques : les assemblages à haut coefficient thermiques, les assemblages structuraux et les assemblages standards. Deux familles de moteurs (gros et petits), avec des paramètres de puissances, de poids et de dégagement thermiques non proportionnels sont proposées. Les différents modèles de chaque famille ont des similitudes (modèle "sport" puissant et peu économique, modèle « gros porteur » plus économique, etc.…). Différents exemples et formes d'ailes sont disponibles : des ailes rectangulaires très porteuses et peu adaptés à la vitesse et provoquant une forte résistance à l'air, des ailes "delta", performantes mais nécessitant plus de puissance, donc plus de carburant…

Les plaques châssis sont caractérisées uniquement par leurs dimensions (le nombre de "picots"), et peuvent être fixées les unes aux autres par des briques de résistance mécanique.

Ainsi, nous contraignons les étudiants à s'immerger dans un monde inconnu au sein duquel les calculs leurs appariassent comme rassurants et maîtrisables.

3.3 Les règles métier dans le jeu de la conception

A l'instar du jeu Delta Design, nous avons proposé une série de règles métier de natures différentes pour chacun des acteurs du jeu de la conception. Ainsi, les métiers présents sont le chef d'assemblage, l'ingénieur motoriste, l'ergonome, le responsable voilure et le lenteurmicien. Nous avons exprimé des règles quantitatives mais aussi d'ordre subjectif permettant de mettre en exergue notre conditionnement, nos habitudes de travail qui ne nous poussent pas naturellement à la coopération métier mais au succès de son propre exercice c'est-à-dire la résolution de ses contraintes. Les règles sont construites afin d'amener les acteurs à coopérer, négocier pour converger sur un compromis acceptable par tous.

Ainsi, le chef d'assemblage se voit garant du respect des budgets et de la consommation en énergie de ce projet. « *Il est impératif de faire valoir votre point de vue sur tous les choix de conception de votre équipe, tout au long de la partie. Vous seul êtes a même de garder le coût et la mise en œuvre énergétique à un niveau acceptable.* ». Il doit calculer les coûts de matériaux mais aussi les salaires attribués aux membres de l'équipe.

L'ingénieur motoriste a lui pour mission de choisir la dimension du ou des moteurs de la navette de le placer et de garantir son bon fonctionnement en toutes circonstances. Il est également chargé de l'alimentation des moteurs.

Le cahier des charges métiers du lenteurmicien commence de la manière suivante : « *Vous devrez dès le début choisir la lenteur interne de votre navette, en effet elle influe sur sa vitesse, Une fois la lenteur interne de votre navette choisie il vous appartient de la répartir et la cloisonner au mieux*. »

L'ergonome doit définir l'organisation intérieure de la navette spatiale. « *La répartition des pièces aura un impact sur les choix de conception du reste de l'équipe, pensez à vous renseigner sur ces conséquences. En tant que responsable du confort et de la praticité dans la navette, il est de votre devoir de faire respecter les lenteurs imposées dans le cahier des charges pour les habitacles.* »

Enfin, le responsable voilure doit choisir « *la taille de vos ailes qui répond approximativement à la loi suivante : S_{ailes}= 30 % nb picots châssis * Km*Nb moteurs. De plus, il est nécessaire que les ailes soient trois fois plus grandes que la largeur du châssis. Il est cependant important de respecter quelques règles de placement : les ailes doivent être le plus proche possible de la plus lente pièce de la navette, et doivent tenir compte de l'emplacement des moteurs.* »

Certains métiers ont des règles de calculs à appliquer pour définir certains paramètres (vitesse, puissance, consommation, lenteur…) et ainsi dimensionner certains éléments de la navette (moteurs, batterie, ailes, cloisons). Tous ont l'annotation finale suivante : « *Tout travail mérite salaire, pensez à consulter votre chef d'assemblage pour en connaître le montant !* »

3.4 Tests du nouveau jeu Légo : des résultats très encourageants

Nous sommes en cours de réalisation de différents tests utilisateurs avec les étudiants du cycle ingénieur et des doctorants. A ce jour, deux groupes nous ont permis d'expérimenter ces nouvelles règles et ce nouveau mode de fonctionnement.

De part son univers imaginaire, le jeu proposé permet de placer les utilisateurs dans une ambiance ambigüe : à la fois plaisante et déroutante. Cependant, tous ont accepté très facilement de se plonger dans cet univers.

L'attrait de « l'outil CAO » du jeu Légo est indéniable face aux triangles papiers du jeu Delta Design ! On assiste à un véritable engouement (cf photos de la figure 5) sur les écrans présentant le modèle CAO de la navette. Néanmoins, nous avons pu observer que l'ordinateur contraint fortement le nombre de manipulation et rend le partage de l'objet intermédiaire de conception difficile. Aussi, une piste d'amélioration nous semble être l'ajout de pièces Légo® physique pour construire la première maquette physique de la navette avant de la reproduire sous *MLCad*.

Nous souhaitons intégrer plus fortement la notion de client et de sous-traitant dans les règles. Ce point est encore en cours de développement.

Nous allons poursuivre ces tests afin d'affiner les cahiers des charges métiers et d'éprouver ce mode de pédagogie. Nous avons pu constater par exemple la nécessité de développer des fiches Excel afin de faciliter les phases de calculs, qui sont souvent l'indicateur de réussite fixé par les utilisateurs, et qui ne sont en fait qu'une excuse à la gestion de projet pour l'organisateur.

Néanmoins, nous avons pu constater que les testeurs ont pris du recul face à leurs réactions et comportements vis-à-vis de leurs objectifs métiers dans l'équipe en s'appropriant le produit. Ainsi, la coopération n'est plus un sujet de plus, mais un sujet qui les implique, dans lequel ils savent se situer. Ils ont vécu une situation simple évidente, et pourtant ils ont du mal à partager leurs contraintes et à les traduire dans les objectifs de leurs collègues. La transposition aux difficultés liées à l'organisation industrielle n'en est que plus facile !

Figure 5. Photos prises lors des premiers tests du jeu Légo.

4 Conclusions et perspectives

A l'issu de ces tests et la finalisation de nos règles, nous souhaiterions proposer une expérience entre plusieurs établissements (écoles d'ingénieur, universités) et notamment dans le cadre de l'AIP Primeca afin de tester ce jeu de manière distribuée (entre plusieurs équipes) et à distance (dans différent lieux).

L'objectif de notre jeu est de se rapprocher des pratiques sociotechniques [7] des ingénieurs qui utilisent à la fois des modèles CAO (dans notre cas, c'est le modèle *MLCad*), des outils propres (dans notre cas, ceux sont les macros Excel), et des prototypes (dans notre jeu, l'équipe pourra prototyper les premières versions de la navette avec de vraies briques Lego®). Nous nous inscrivons dans le courant actuel visant à la mobilisation et à la mutualisation des moyens académiques notamment dans le cadre particulier de l'apprentissage de savoirs-être complexes tels que la collaboration entre métiers. C'est à cette condition que les jeunes ingénieurs performants [8] pourront s'insérer plus facilement dans leurs réseaux socioprofessionnels.

Le jeu sera proposé sous forme de tests libres aux participants du colloque national PRIMECA 2007.

Références

[1] L.L. BUCCIARELLI "An ethnographic perspective on engineering design", Design Studies, v. 9.3, 1988.

[2] J.D. REYNAUD "Le management par les compétences : un essai d'analyse, Sociologie du travail", 43, p7-31, 2001.

[3] S. FINGER, S. KONDA, E. SUBRAHMANIAN, "Concurrent design happens at the interfaces", Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing 95, v. 9, 89-99, 1995.

[4] L.L. BUCCIARELLI "Delta Design Game", MIT, 1991.

[5] G. PRUDHOMME, J.F. BOUJUT, D. BRISSAUD, "Toward Reflective Practice in Engineering Design Education", International Journal of Engineering Education, Vol 19, n°2 328-337, 2003.

[6] D.A. SCHÖN, "The Reflexive Practitioner: How Professionals Think In Action", Ashgate publishing, Cambridge, 1991

[7] E. SUBRAHMANIAN, A. WESTERBER, S. TALUKDAR, J. GARRETT, A. JACOBSON, C. PAREDIS, C. AMON, "Integrating Social Aspects and Group Work Aspects in Engineering Design Education", in the proceedings of the Workshop on Social Dimensions of Engineering Design, pp. 117-126, 17–19 May 2001.

[8] T. KURFESS "Producing the Modern Engineer", in the proceedings of the Workshop on Social Dimensions of Engineering Design, pp. 201-208, 17–19 May 2001.