

Pédagogie et recherche pour une bibliothèque numérique de machines et mécanismes au sein du projet européen thinkMotion

J.C. FAUROUX, B.C. BOUZGARROU, G. GOGU

Clermont Université, Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), EA3867, FR TIMS / CNRS 2856,
Laboratoire de Mécanique et Ingénieries (LaMI), BP 10448, F-63000

Résumé :

Ce projet pédagogique associe des étudiants à un travail de recherche dans le cadre du projet européen thinkMotion, future grande bibliothèque numérique libre sur le thème des machines et mécanismes. En effet, une bonne part du riche patrimoine mécanique européen tombe dans l'oubli. Or, les jeunes concepteurs doivent mettre en pratique méthodes de conception et outils de Conception et Fabrication par Ordinateur (CFAO) sur des exemples concrets. Cet article présente comment ils analysent brevets et ouvrages anciens, modélisent géométrie et cinématique des machines et produisent du contenu multimédia à l'aide de Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation (TICE).

Abstract :

This pedagogical project associates graduate students to a research work within the framework of the thinkMotion European project, future free digital library dedicated to machines and mechanisms. One can note that a major part of the rich mechanical heritage of Europe is falling into oblivion. At the same time, young designers have to practice design methods and Computer Aided Design / Manufacturing tools (CAD/CAM) on concrete examples. This paper is a presentation of their work, including patent and ancient book analysis, geometric and kinematic modelling of machines and creation of multimedia content with Information and Communication Technologies (ICT) for education.

Mots clefs : projet européen thinkMotion, bibliothèque numérique, patrimoine mécanique, CFAO

1 Bibliothèques numériques, pédagogie et recherche

Par définition, les activités d'enseignement et de recherche ont besoin de s'appuyer étroitement sur le savoir des générations passées. Depuis l'invention de l'écriture plusieurs milliers d'années avant notre ère, l'expansion de l'imprimerie au 15^{ème} siècle puis la période rayonnante des encyclopédistes au 18^{ème} siècle, les connaissances sont accumulées et formalisées par écrit dans des revues scientifiques, des livres ou des encyclopédies. L'expansion de masse de l'informatique (années 1970) puis d'Internet (années 1990) conduit à de nouveaux formats de stockage dématérialisé : les livres électroniques et les encyclopédies en ligne. Ces médias connaissent un grand succès, notamment pour des avantages tels que : capacité de stockage considérable, facilité de recherche, mise à jour rapide, accessibilité pour un public mondial, etc.

Les bibliothèques numériques se généralisent au niveau régional (universités, villes), national, européen voire mondial. En France, la bibliothèque Gallica a été créée en 1997 [1] et propose, en mars 2011, plus de 1,3 millions de documents numériques en ligne. On peut y trouver de nombreux documents scientifiques, par exemple l'édition de 1788 de la *Mécanique analytique* de Joseph-Louis Lagrange [2]. Au niveau européen, la bibliothèque Europeana [3], lancée officiellement en novembre 2008, propose une interface d'accès et de recherche centralisée et multilingue dans d'importantes bibliothèques européennes. Ce sont ces dernières qui stockent les documents, Europeana pouvant être vue comme un portail d'accès. En novembre 2010, Europeana revendiquait 14 millions d'œuvres numérisées, dont deux-tiers d'images et 1,2 million de livres complets [4]. Sur le continent américain, le précurseur reste le projet *Google Recherche de livres* [5], qui annonce 7 millions de livres disponibles en 2010 et poursuit ses travaux de numérisation en partenariat avec les principales bibliothèques universitaires américaines et quelques bibliothèques européennes (dont en France la Bibliothèque Municipale de Lyon) [6].

Cette généralisation du support électronique comporte de nombreux avantages pour les étudiants et les chercheurs. En diminuant les coûts et délais des études bibliographiques, en élargissant la base des

documents consultés, on peut espérer une meilleure circulation de l'information et un progrès pour la formation et la recherche. Si le support électronique offre de grands avantages, il n'est toutefois généralisable qu'aux documents libres de droits (par exemple en France : document anciens dont l'auteur a disparu depuis plus de 70 ans [7]). Les documents récents commercialisés par des éditeurs privés sont rarement mis en totalité sous format électronique, la duplication de documents électroniques étant très facile. On voit alors apparaître une concurrence nouvelle entre d'une part des œuvres éditées dans le privé, généralement de bonne qualité mais payantes ou difficiles d'accès, et d'autre part des documents libres qui sont soit anciens, soit créés par des bénévoles sans garantie de qualité. Un exemple frappant est celui de l'encyclopédie en ligne Wikipedia, librement ouverte aux collaborations de chacun (expert, non-expert voire personne malintentionnée) : faut-il faire confiance à la qualité de cette information ? En dépit de sa vulnérabilité, Wikipedia offre souvent une information satisfaisante, notamment en sciences exactes [8], ce qui est confirmé par une étude du journal Nature [9]. Cependant, par principe, on ne peut s'en contenter comme source : de nombreuses universités américaines n'acceptent d'ailleurs plus les références bibliographiques tirées de Wikipedia [8].

Il est donc primordial de numériser toujours plus d'ouvrages, de diversifier les sources encyclopédiques libres et de renforcer leur qualité en les faisant relire par des spécialistes. Dans le domaine de la mécanique et de la technologie, c'est d'autant plus nécessaire qu'il existe un patrimoine considérable mais peu valorisé. Par ailleurs, des enseignements tels que les *Eléments de machines* sont de plus en plus négligés en France faute d'horaires disponibles. Pour un futur concepteur de machines innovantes, il est certes important d'apprendre à chercher des connaissances dans des bases de données mais tout aussi fondamental d'étudier un échantillon représentatif de solutions mécaniques existantes du passé, parfois admirables et souvent méconnues. Cet article présente donc nos travaux pour développer, conjointement avec des étudiants et des chercheurs, une bibliothèque numérique de machines et de mécanismes. Après une présentation du projet européen thinkMotion (partie 2), nous décrivons le travail pédagogique effectué (partie 3), en insistant sur les problèmes, solutions et outils recensés (partie 4) avant de conclure sur les perspectives et enjeux futurs en terme de pédagogie et de recherche (partie 5).

2 Le projet européen thinkMotion

Le projet européen thinkMotion a pour objectif de contribuer à créer une grande bibliothèque numérique libre sur le thème des machines et mécanismes, dans le cadre de la bibliothèque numérique en ligne gratuite européenne Europeana [3] et pour une durée de 3 ans (juin 2010-juin 2013) [10].

Il permet de collecter et présenter de façon synthétique et explicite des contenus du patrimoine technologique européen, depuis des machines d'intérêt historique jusqu'aux machines les plus modernes (Fig. 1a). Il porte aussi bien sur des machines complètes que sur des éléments de machines et mécanismes. Le public visé est très large : du simple curieux à l'ingénieur, en passant par les étudiants, chercheurs, industriels, historiens ou juristes... Plus de 76000 documents multimédias doivent être collectés (Fig. 2) : textes, images, vidéos, animations, dessins techniques, notes de calcul, modèles CAO, modèles multi-corps, etc. En complétant les documents statiques (textes, images), les documents animés permettront de mieux comprendre le fonctionnement cinématique et dynamique des machines. Pour chaque document, on vérifie soit qu'il est libre de droits patrimoniaux (ce qui est le cas pour les documents anciens et les brevets), soit que l'ayant-droit accepte de signer un accord officiel de transfert de droits.

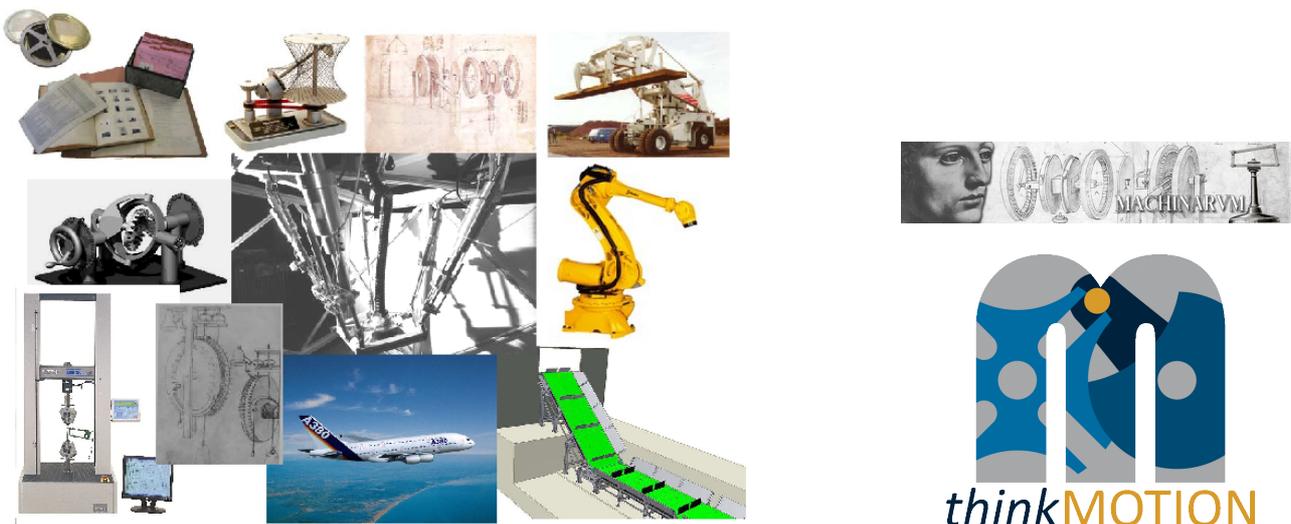


FIG. 1 – a) Exemples de machines et mécanismes relevant du projet. b) Logos du projet.

La base de données contiendra à terme des fiches descriptives de machines comportant des méta-données normalisées, un réseau sémantique comportant un lexique et des définitions ainsi que des fiches biographiques d'inventeurs et scientifiques du domaine.

Les 6 partenaires du projet sont : le coordinateur Ilmenau University of Technology (DE), Institut Français de Mécaique Avancée - IFMA (FR), Politehnica University of Timisoara (RO), RWTH Aachen University (DE), University of the Basque Country (ES), University of Cassino (IT).

Les textes seront à terme fournis en six langues : anglais, allemand, espagnol, français, italien et roumain. Dans l'immédiat, chaque participant fournit les contenus textuels dans sa langue nationale ainsi qu'en anglais. Une phase de traduction ultérieure est envisagée, se focalisant sur les métadonnées principales.

L'IFMA participe au projet, dans le cadre du PRES Clermont-Ferrand et avec l'aide de ses partenaires français (notamment la Bibliothèque Clermont Université [11], la bibliothèque du CEMAGREF [12] et le projet d'inventaire du patrimoine scientifique PATSTEC Auvergne [13]), à la recherche de documents, leur numérisation et leur intégration dans la base de données thinkMotion. L'IFMA coordonne également le processus de traduction multi-lingue. Ce projet à fort rayonnement permettra à chaque partenaire européen de faire découvrir à tous son patrimoine technologique national.

3 Travail pédagogique autour de thinkMotion

Dans le cadre des Unités d'Enseignement (UE) existantes de l'IFMA et de l'Université Blaise Pascal, il est facile d'organiser des exercices d'application du cours portant sur des machines, permettant d'associer les étudiants au projet thinkMotion à travers la pédagogie, tout en produisant des données utiles à ce projet de recherche. Priorité est donnée à l'*objectif pédagogique* selon l'UE :

- Conception et Fabrication par Ordinateur (CFAO) : étude des méthodes de création de formes (volumiques et surfaciques), des méthodes de paramétrage (par variables, par squelette) ainsi que de la cinématique. Logiciel utilisé : Catia V5 (Dassault Systèmes)
- Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO) : sensibilisation au dimensionnement de structures et aux techniques mathématiques d'optimisation. Logiciels utilisés : Catia V5 (Dassault Systèmes), Ansys (Ansys Inc.), OpenOffice (Oracle, tableur utilisé pour la méthode des Eléments Finis + solveur non linéaire pour l'optimisation), Geogebra (géométrie analytique interactive).
- Analyse et Synthèse des mécanismes (ASM) : problèmes pratiques de conception de mécanismes complexes utilisés dans les transmissions mécaniques, les machines et les robots (mécanismes articulés, mécanismes à came, mécanismes planétaires). Méthodes de calcul du rendement dès la phase de conception et analyse de certains phénomènes réels comme la circulation de puissance en circuit fermé. Logiciel utilisé : Adams (MSC Software-Tata Technologies)
- Analyse de Brevets (ADB) : étude et contournement de brevets.
- Projet de seconde année : conception d'un système avec analyse de l'existant et étude de brevets.

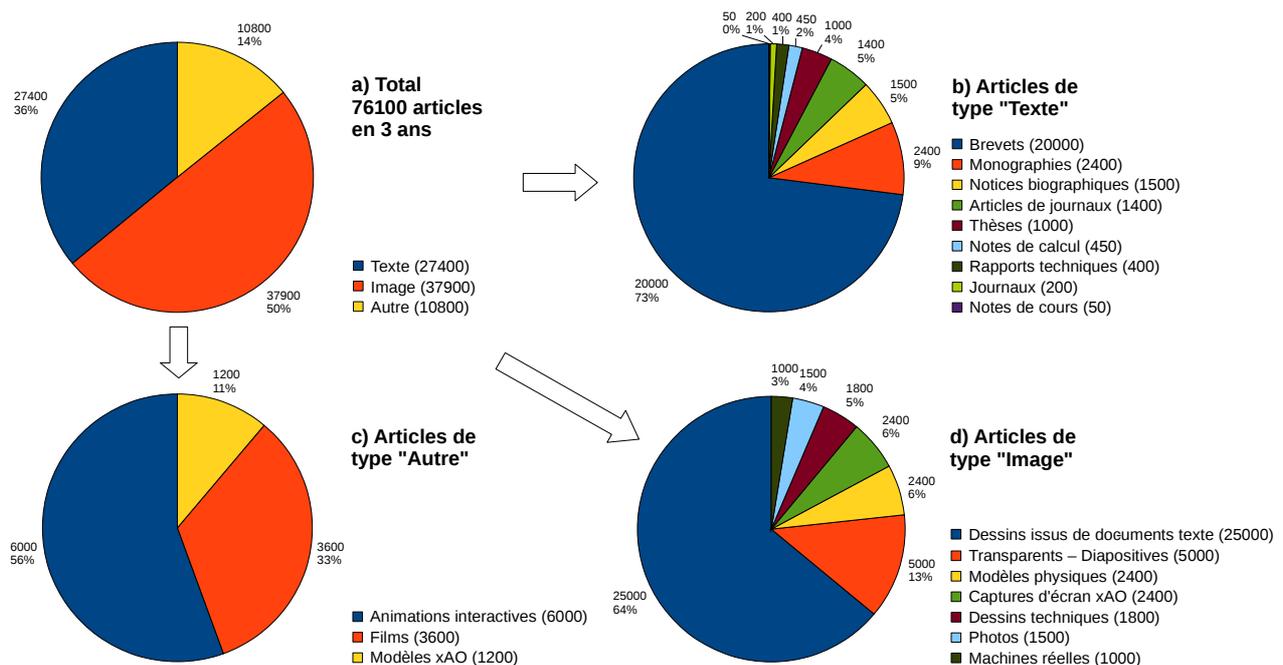


FIG. 2 – Quantités et répartition des données multimédia à produire .

US 2010/0253030 A1

(19) United States
(12) Patent Application Publication
D'Aponte et al.

(54) HYBRID ARM FOR AN INDEPENDENT REAR SUSPENSION FOR A MOTOR VEHICLE
(75) Inventors: Armando D'Aponte, Alessandro (IT), Piero Marchese, Torino (IT), Andrea Santilli, Colligero (Torino) (IT)

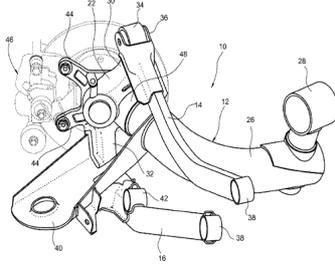
Foreign Application Priority Data
Dec. 3, 2007 (IT) 10/2007/000872

Publication Classification
(51) Int. Cl. B60G 3/06 (2006.01)
(52) U.S. Cl. 280/124.116
(57) ABSTRACT
The arm includes a wheel-side portion for support of a wheel and a body-side portion for connection to the vehicle body, the two arm portions being axially connected to each other by sliding. Alternatively, the wheel-side arm portion is made of cast aluminum and the body-side arm portion is made of cast aluminum and the body-side arm portion is made of cast iron or aluminum with the high compliance in case of impact of the body-side portion made of stamped or extruded steel or aluminum.

Correspondence Address: SEIBERLE MON, P.L.C. 2100 PENNSYLVANIA AVENUE, N.W., SUITE 400 WASHINGTON, DC 20037 (US)

Assignee: SISTEMI SOSPENSIONI S.P.A., Corbetta, Milano (IT)

Appl. No.: 12744629
PCT Filed: Dec. 2, 2008
PCT No.: PCT/IB08/55844
§ 371 (c)(1), (2) (4) Date: May 25, 2010



1443 MÉCANISME À COULISSE ET LEVIERS DU TRAIN D'ATERRISSAGE ESCAMOTABLE CL TAT

L'élément 2 tourne autour d'un axe A du cadre de l'avion. L'élément 1 portant la roue a formé des couples de rotation B et C avec les éléments 2 et 3. L'élément 3 tourne autour d'un axe D du cadre de l'avion. La tige 5 du vérin de commande du train 4 constitue un couple de rotation E avec l'élément 3. Le cylindre 4 forme un couple de rotation F avec l'élément 2. Lorsque la tige 5 descend dans le sens des flèches et le mécanisme prend la position indiquée en traits discontinus, assurant ainsi le relevage du train d'atterrissage de l'avion.

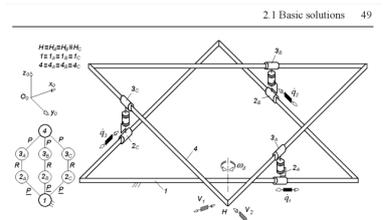


Fig. 2.6. Overconstrained PPM with coupled motions of type 3-PRP defined by $M_6=N_7=3$, $(R_2)=(v_1, v_2, \omega_3)$, $T_F=0$, $N_F=6$, limb topology $P \perp R \perp P$

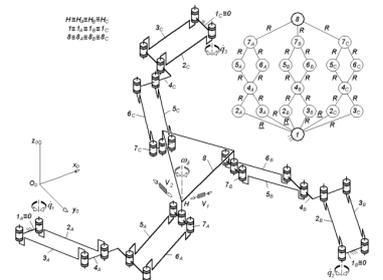
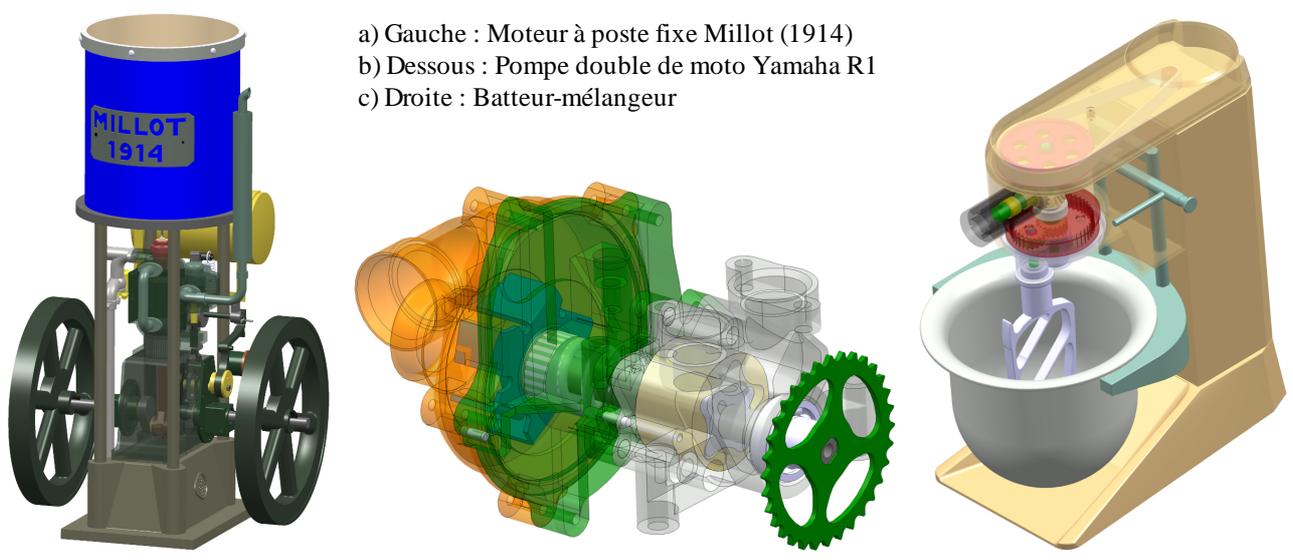


Fig. 2.7. Overconstrained PPM with coupled motions of type 3-PaP defined by $M_6=N_7=3$, $(R_2)=(v_1, v_2, \omega_3)$, $T_F=0$, $N_F=24$, limb topology $P \parallel P \parallel R$

FIG. 3 – Exemples de documents utilisés : a) Brevet US d'un inventeur européen b) Train d'atterrissage selon Artobolevski [14] c) Mécanisme parallèle selon Gogu [16].

Les documents utilisés en entrée sont de nature variée :

- Brevets : ils constituent les trois-quarts des documents textuels du projet (Fig. 2b). Ils sont libres de droits et contiennent une bonne part de toute la connaissance technologique moderne. On choisit des brevets portant sur des machines de complexité raisonnable, intégrant une description écrite et des schémas explicites et, si possible, issus d'un inventeur européen. En CFAO, on privilégie des brevets où les pièces ont des formes réalistes et intéressantes à dessiner (Fig. 3a).
- Ouvrages : un ouvrage tel que la considérable encyclopédie d'éléments de machines d'Artobolevski [14] constitue un réservoir de 8000 mécanismes simples à modéliser, dimensionner en éléments finis et optimiser (en particulier pour l'UE ASM, Fig. 3b). Ces ouvrages n'étant pas libres de droits, la remodelisation 3D des schémas cinématiques d'origine permet d'éviter tout problèmes légal. De plus, nos partenariats avec des bibliothèques permettent d'exhumer d'intéressants ouvrages anciens. Les ouvrages [15] et [16] sont aussi largement exploités pour le domaine des robots parallèles (Fig. 3c).
- Collections privées : le millésime 2009 de l'UE CFAO s'est appuyé sur une collection privée de moteurs à poste fixe (collection Ferri, Aubière, 63). Atout important : les machines étaient soit fournies avec les plans (cas du moteur Millot en Fig. 4a), soit démontables. On envisage de renouveler cette expérience avec des musées.



a) Gauche : Moteur à poste fixe Millot (1914)
b) Dessous : Pompe double de moto Yamaha R1
c) Droite : Batteur-mélangeur

FIG. 4 – Exemples de maquettes numériques paramétrées et animées dans l'unité de valeur CFAO (conception : étudiants du pôle MMS 2009 ; retouche : Richard Cousturier 2010).

Des promotions de 160 étudiants peuvent ainsi générer de grandes quantités de données variées :

- Une fiche descriptive du mécanisme en deux langues (français / anglais) ainsi que des méta-données technologiques liées aux propriétés fondamentales du mécanisme (par exemple : graphe de liaison, mobilité, connectivité, hyperstatisme, redondance structurale)
- Des données paramétrées telles que les modèles CAO ou IAO complets. Ils permettent de modéliser des machines de dimensions variables et de les animer selon des scénarios modifiables à volonté. Ces modèles seront probablement masqués dans la base finale, faute de format standardisé.
- Des données mortes issues des précédentes, telles que des images (vues standard, avec transparences des carter, vues de détails, etc.) ou des vidéos des différents modes de fonctionnement du mécanisme. Les données sont générées à des formats standards de haute qualité pour l'archivage, même si on envisage un affichage de résolution compatible avec un faible débit réseau sur Europeana. La stéréo-vision peut permettre de générer également des données favorisant l'immersion du spectateur.

4 Problèmes, solutions et outils associés

Pour obtenir la pleine adhésion des étudiants dans un tel projet et renforcer leur motivation, une bonne façon de procéder est de les laisser libres du choix du système à modéliser. On peut définir un sujet thématique (par exemple : les robots mobiles, les moteurs...) ou choisir un ouvrage ou une partie d'ouvrage suffisamment riche pour que chacun ait plusieurs choix possibles proches de ses centres d'intérêt.

Le problème qui se pose est alors d'éviter les doublons (un même mécanisme décrit par deux élèves différents). Au niveau local, on évite ce problème en créant sur le système de gestion de cours en ligne de l'établissement (Moodle dans notre cas) un forum public sur lequel chaque étudiant publie le nom et l'image du mécanisme qu'il revendique (Fig. 5a). Comme le premier arrivé est aussi le premier servi, ce principe contribue à accélérer le rythme d'affectation des sujets.

Ce risque de doublons est également présent entre les différents contributeurs européens du projet. Une solution partielle consiste à mettre à jour en permanence une base de données centralisée, actuellement maintenue par le coordinateur (Université Technologique d'Immenau) et s'appuyant sur un serveur web de type Apache, des applets Java et une base de données MySQL. Toutefois, cela implique aussi une forte charge de travail administratif de maintenance.

Le travail individuel (un mécanisme par étudiant) est idéal pour évaluer le niveau réel de chacun, notamment lorsque le nombre d'heures disponibles est élevé. Pour des cours plus brefs ou des étudiants débutants, le travail en binôme est plus rassurant. On peut même travailler en groupes plus conséquents (12 ou 24 étudiants) pour insister sur des aspects tels que le travail collaboratif ou la gestion des données techniques, en particulier sur de gros assemblages (Fig. 4). Toutefois, la notation perd alors en précision.

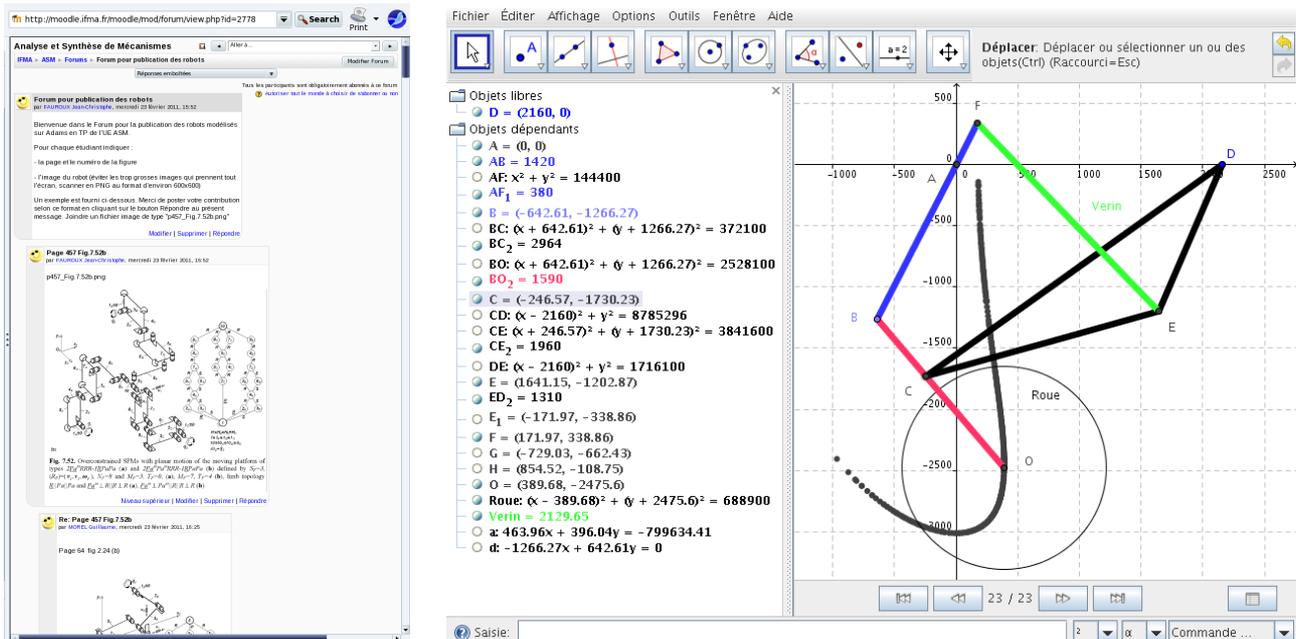


FIG. 5 – Quelques outils : a) Forum Moodle b) Modèle géométrique analytique animé avec Geogebra pour le train d'atterrissage de la Fig. 3b.

L'association d'étudiants à un projet de recherche soulève des problèmes de qualité puisqu'un travail pédagogique est, par définition, imparfait. La perspective de voir son travail publié en ligne est déjà un facteur de motivation et de responsabilisation. Il faut également définir des consignes écrites très précises pour la construction de dessins lisibles et de vidéos exploitables. Par exemple, les modèles multi-corps Adams nécessitent de se donner une convention de représentation des liaisons, peu lisibles par défaut. L'expérience montre toutefois que peu d'étudiants suivent les consignes (parfois, moins d'un tiers d'une promotion). Cela implique obligatoirement, une fois les enseignements finis, de reprendre chaque modèle individuellement pour l'embellir et le rendre conforme à une charte de qualité. Des ingénieurs contractuels accomplissent ce travail de longue haleine et vérifient également les méta-données associées.

Des outils de géométrie analytique interactive trouvent aussi tout leur intérêt pour l'analyse et l'optimisation de mécanismes plans, évitant les lourdeurs de la CAO et permettant de se concentrer sur la cinématique (Fig. 5b).

5 Bilan, perspectives recherche et enjeux futurs

Le projet thinkMotion contribue donc à bâtir une bibliothèque numérique de grande envergure pour valoriser le patrimoine technologique européen dans le domaine des mécanismes et des machines. En plus de son intérêt pédagogique, technologique et historique, ce projet ouvre de vastes perspectives de recherche.

En premier lieu, il est propice à une réflexion sur la taxonomie des machines. En effet, on constate que même les ouvrages les plus ambitieux [14] butent sur ce problème. Un second aspect intéressant réside dans la démarche de réflexion préparatoire pour un format neutre universel de représentation de mécanismes. On envisage pour cela de s'inspirer de formats existants tels que STEP ou XML pour contourner les formats propriétaires qui prédominent dans le monde de la CFAO. Enfin, disposer d'une quantité considérable d'éléments de machines sous format numérique autorise, à plus long terme, à imaginer des méthodes de créativité, voire de conception automatique de machines innovantes, basées sur des taxons ou entités fonctionnelles servant de « gènes » élémentaires pour élaborer les « chromosomes » des machines du futur.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Union Européenne pour le financement de ces travaux, tous les partenaires européens du projet thinkMotion, la BCU Clermont-Ferrand, le CEMAGREF, l'équipe du projet PATSTEC, le Musée National des Arts et Métiers et la communauté du réseau AIP/PRIMECA. Ils remercient également tous les étudiants de l'IFMA et de l'Université Blaise Pascal ayant contribué avec enthousiasme à ce projet, ainsi que les ingénieurs contractuels (R. Cousturier). Ce travail est largement ouvert à collaborations, n'hésitez pas à contacter les auteurs.

Références

- [1] Bibliothèque numérique française Gallica, <http://gallica.bnf.fr>
- [2] Lagrange J.L., *Mécanique Analytique*, La Veuve Dessaint (Paris), 1788.
- [3] Bibliothèque numérique européenne Europeana, <http://www.europeana.eu>.
- [4] Agence France Presse, *Bibliothèque numérique : 14 millions d'œuvres*, dépêche du 18/11/2010 consultable sur <http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2010/11/18/97002-20101118FILWWW00576-bibliotheque-numerique14m-d-oeuvres.php>
- [5] Gagnon J., *La numérisation des bibliothèques et ses conséquences sur le droit d'auteur*, rapport technique du Labo. d'étude sur les politiques publiques et la mondialisation, Jan. 2010, 16 p, Québec.
- [6] Google Recherche de livres, <http://books.google.com/intl/fr/googlebooks/agreement>.
- [7] République Française, *Code de la propriété intellectuelle*, Article L123-1, 1er janvier 2011.
- [8] Gourdain P., O'Kelly F., Roman-Amat B., Soulas D., von Droste zu Hülshoff T., *La Révolution Wikipédia – Les encyclopédies vont-elles mourir ?*, Mille et une nuits, 2007, 142 p.
- [9] Giles J., Internet encyclopaedias go head to head, *Nature*, Vol. 438, 15 Dec. 2005, 2p.
- [10] Site officiel du projet européen thinkMotion, <http://www.thinkmotion.eu>.
- [11] Bibliothèque Clermont-Université, <http://bibliotheque.clermont-universite.fr>.
- [12] CEMADOC, Portail documentaire du CEMAGREF, <http://cemadoc.cemagref.fr>.
- [13] PATSTEC, Patrimoine scientifique et technique contemporain, <http://www.pastec.fr>.
- [14] Artobolevski I., *Les mécanismes dans la technique moderne*, Vol. 1-4, Ed. Mir, Moscou, 1975-1977.
- [15] G. Gogu, *Structural Synthesis of Parallel Robots, Part 2: Translational Topologies With Two and Three Degrees of Freedom*, Springer, 2009, 762p.
- [16] G. Gogu, *Structural Synthesis of Parallel Robots, Part 3: Topologies With Planar Motion of the Moving Platform*, Springer, 2010, 685p.

Les liens Internet ont été testés le 11 mars 2011.