

## Avis de Soutenance

Monsieur Comlan SOSSOU

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mardi 12 février 2019** à 14h00

Lieu : Université de Technologie de Belfort-Montbéliard Campus de Sevenans Rue de Leupe 90400 SEVENANS  
salle P228

Titre des travaux : Une approche globale de la conception pour l'impression 4D

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 60

Unité de recherche : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

Directeur de thèse : Samuel GOMES

Codirecteur de thèse : Ghislain MONTAVON  HDR  NON HDR

Soutenance :  Publique  A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Samuel GOMES	Professeur des Universités	Université Bourgogne - Franche-Comté (UTBM)	Directeur de thèse
M. Alain BERNARD	Professeur des Universités	Ecole Centrale de Nantes - Laboratoire LS2N	Rapporteur
M. Daniel BRISSAUD	Professeur des Universités	Institut National Polytechnique de Grenoble	Rapporteur
M. Jean-Claude ANDRE	Professeur Emérite	Université de Lorraine	Examineur
M. Ghislain MONTAVON	Professeur des Universités	Université Bourgogne - Franche-Comté (UTBM)	Co-directeur de thèse
M. Frédéric DEMOLY	Maître de Conférences	Université Bourgogne - Franche-Comté (UTBM)	Co-directeur de thèse
M. Jerry H. QI	Professeur	The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology	Examineur

## Résumé de la thèse (en français) :

Inventée en 1983, comme procédé de prototypage rapide, la fabrication additive (FA) est aujourd'hui considérée comme un procédé de fabrication quasiment au même titre que les procédés conventionnels. On trouve par exemple des pièces obtenues par FA dans des structures d'aéronef. Cette évolution de la FA est due principalement à la liberté de forme permise par le procédé. Le développement de diverses techniques sur le principe de fabrication couche par couche et l'amélioration en quantité et en qualité de la palette de matériaux pouvant ainsi être mis en forme, ont été les moteurs de cette évolution. De nombreuses autres techniques et matériaux de FA continuent de voir le jour. Dans le sillage de la FA (communément appelée impression 3D) a émergé un autre mode de fabrication : l'impression 4D (I4D). L'I4D consiste à explorer l'interaction matériaux intelligents (MIs) – FA. Les MIs sont des matériaux dont l'état change en fonction d'un stimulus ; c'est le cas par exemple des matériaux thermochromiques dont la couleur change en réponse à la chaleur ou des hydrogels qui peuvent se contracter en fonction du pH d'un milieu aqueux ou de la lumière. Les objets ainsi obtenus ont – en plus d'une forme initiale (3D) – la capacité de changer d'état (en fonction des stimuli auxquels sont sensibles les MIs dont ils sont faits) d'où la 4e dimension (temps). L'I4D fait – à juste titre – l'objet d'intenses recherches concernant l'aspect fabrication (exploration de nouveaux procédés et matériaux, caractérisation, etc.). Cependant très peu de travaux sont entrepris pour accompagner les concepteurs (qui, a priori, ne sont ni experts FA ni des experts de MIs) à l'utiliser dans leurs concepts. Cette nouvelle interaction procédé-matériau requiert en effet des modèles, des méthodologies et outils de conception adaptés. Cette thèse sur la conception pour l'impression 4D a pour but de combler ce vide méthodologique. Une méthodologie de conception pour la FA a été proposée. Cette méthodologie intègre les libertés (forme, matériaux, etc.) et les contraintes (support, résolution, etc.) spécifiques à la FA et permet aussi bien la conception de pièces que celle d'assemblages. En particulier, la liberté de forme a été prise en compte en permettant la génération d'une géométrie minimaliste basée sur les flux fonctionnels (matière, énergie, signal) de la pièce. Par ailleurs, les contributions de cette thèse ont porté sur la conception avec les matériaux intelligents. Parce que les MIs jouent plus un rôle fonctionnel que structurel, les préoccupations portant sur ces matériaux doivent être menées en amont du processus de conception. En outre, contrairement aux matériaux conventionnels (pour lesquels quelques valeurs de paramètres peuvent suffire comme information au concepteur), les MIs requièrent d'être décrits plus en détails (stimulus, réponse, fonctions, etc.). Pour ces raisons un système d'informations orientées conception sur les MIs a été mis au point. Ce système permet, entre autre, d'informer les concepteurs sur les capacités des MIs et aussi de déterminer des MIs candidats pour un concept. Le système a été matérialisé par une application web. Enfin un cadre de modélisation permettant de modéliser et de simuler rapidement un objet fait de MIs a été proposé. Ce cadre est basé sur la modélisation par voxel (pixel volumique). En plus de la simulation des MIs, le cadre théorique proposé permet également le calcul d'une distribution fonctionnelle de MIs et matériau conventionnel ; distribution qui, compte tenu d'un stimulus, permet de déformer une forme initiale vers une forme finale désirée. Un outil – basé sur Grasshopper, un plug-in du logiciel de CAO Rhinoceros® – matérialisant ce cadre méthodologique a également été développé.

## Abstract (in English):

Invented in 1983, as a rapid prototyping process, additive manufacturing (AM) is nowadays considered as a manufacturing process almost in the same way as conventional processes. For example, parts obtained by AM are found in aircraft structures. This AM evolution is mainly due to the shape complexity allowed by the process. The driving forces behind this evolution include: the development of various techniques on the layer-wise manufacturing principle and the improvement both in quantity and quality of the range of materials that can be processed. Many other AM techniques and materials continue to emerge. In the wake of the AM (usually referred to as 3D printing) another mode of manufacturing did emerge: 4D printing (4DP). 4DP consists of exploring the smart materials (SM) – AM interaction. SMs are materials whose state changes according to a stimulus; this is the case, for example, with thermochromic materials whose color changes in response to heat or hydrogels which can shrink as a function of an aqueous medium's pH or of light. The objects thus obtained have – in addition to an initial form (3D) – the capacity to shift state (according to the stimuli to which the SMs of which they are made are sensitive) hence the 4th dimension (time). 4DP is – rightly – the subject of intense research concerning the manufacturing aspect (exploration of new processes and materials, characterization, etc.). However, very little work is done to support the designers (who, in principle, are neither AM experts nor experts of SMs) to use it in their concepts. This new process-material interaction requires adapted models, methodologies and design tools. This PhD on design for 4D printing aims at filling this methodological gap. A design methodology for AM (DFAM) has been proposed. This methodology integrates the freedoms (shape, materials, etc.) and the constraints (support, resolution, etc.) peculiar to the AM and allows both the design of parts and assemblies. Particularly, freedom of form has been taken into account by allowing the generation of a minimalist geometry based on the functional flows (material, energy, and signal) of the part. In addition, the contributions of this PhD focused on designing with smart materials (DwSM). Because SMs play a functional rather than a structural role, concerns about these materials need to be addressed in advance of the design process (typically in conceptual design phase). In addition, unlike conventional materials (for which a few parameter values may suffice as information to the designer), SMs need to be described in more detail (stimulus, response, functions, etc.). For these reasons a design-oriented information system on SMs has been developed. This system makes it possible, among other things, to inform designers about the capabilities of SMs and also to determine SMs candidates for a concept. The system has been materialized by a web application. Finally, a modeling framework allowing quickly modeling and simulating an object made of SMs has been proposed. This framework is based on voxel modeling (volumetric pixel). In addition to the simulation of SMs behaviors, the proposed theoretical framework also allows the computation of a functional distribution of SMs and conventional material; distribution which, given a stimulus, makes it possible to deform an initial form towards a desired final form. A tool – based on Grasshopper, a plug-in of the CAD software Rhinoceros® – materializing this methodological framework has also been developed.