

Prospectives S.MART Feuille de route 2018

1. Ingénierie et sciences de la conception : Innovation, créativité

1.1. *Positionnement thématique, objectifs, verrous scientifiques et technologiques*

Depuis les travaux de Herbert Simon dans les années 80, les sciences de la conception sont devenues une thématique reconnue dans le domaine académique. Simon, par ses travaux a permis de reconnaître l'activité de conception comme une activité particulière, créatrice de valeur et mobilisant des mécanismes cognitifs spécifiques requérant des méthodes, des outils et des organisations spécifiques. Dès lors l'étude scientifique des mécanismes de la conception est devenue possible et cela a conduit à de nombreux travaux dans le domaine des méthodes, des outils et des organisations. La création du réseau PRIMECA a participé de ce mouvement depuis le début en fédérant les énergies des formations d'ingénierie et des acteurs académiques associés.

Sous le vocable des sciences de la conception on peut considérer trouver :

- l'étude des outils supports à l'activité de conception parmi lesquels on peut citer les outils de modélisation du produit et de ses différentes représentations (selon les métiers, les points de vue, la granulométrie nécessaire, l'état d'avancement de la conception : modèle géométrique, élément finis, modèle fonctionno - structurel...), du problème (requirements, besoin, fonctions, etc.), ou intégrant son cycle de vie (approches PLM), mais aussi des outils de collaboration basés sur les interactions entre les concepteurs (outils de travail collaboratif, environnements immersifs, etc.),
- l'étude des mécanismes cognitifs à l'œuvre dans les équipes de conception (design thinking), des dynamiques d'apprentissage et de gestion des connaissances, des dynamiques du travail collaboratif et de leurs liens avec les outils (CSCWD par exemple),
- l'étude des méthodes d'innovation, de créativité basés sur la résolution de problèmes (TRIZ) ou sur la structuration des idées et ou des couples problème/solution (matrice de Zwicky, FBS, QFD, etc.),
- l'étude des dynamiques organisationnelles, des dynamiques d'acteurs, les dispositifs organisationnels pour le management de l'innovation, la création des conditions de l'articulation entre les phases amont de l'innovation et l'ingénierie,
- enfin des études sur les théories de la conception (C-K, GDT, etc.) permettent de construire un cadre conceptuel à même de bâtir des programmes de recherche cohérents et structurés regroupant des approches disciplinaires différentes (par exemple, ingénierie, sciences cognitives, informatique).

Le programme de recherche associé à l'étude des sciences de la conception est vaste et dépasse largement le domaine de l'ingénierie, des systèmes de production, mais le réseau, par les compétences qu'il rassemble et le lien fort avec les problématiques industrielles est au cœur des problématiques soulevées par l'étude des sciences de la conception.

Les enjeux sociétaux associés sont très liés à la performance de nos entreprises et particulièrement à l'augmentation de nos capacités R et D sur le sol Français, en relation avec les meilleurs centres internationaux. Il convient donc de renforcer notre potentiel par de meilleures organisations, des acteurs mieux formés et des méthodes appropriées

associant recherche amont et application industrielle. L'accélération des cycles de mise sur le marché et de création de nouveaux produits, intégrant des technologies diverses (particulièrement l'intégration des technologies de l'information (ICT)) (cf. enjeux de la mécatronique) constitue un enjeu pour la survie de nos entreprises et le développement de celles-ci. Les modèles développés doivent être de plus en plus proches du réel, représentatifs au juste nécessaire du produit en fonction de l'état d'avancement de la conception et exploitables informatiquement dans un temps acceptable. Les grands groupes aéronautiques, automobile, ferroviaire, naval... souvent en collaboration avec les laboratoires universitaires et les éditeurs de logiciels, ont poussé au développement de modélisations et d'outils performants exploités au niveau international. D'autre part le secteur de la mécanique est largement constitué de PME et ETI qui sont des acteurs clefs de la compétitivité et de l'emploi. Cependant la faiblesse structurelle du tissu de PME-PMI Françaises, représente un risque réel pour l'avenir. La question de la place des utilisateurs et donc du citoyen par ses attentes sociétales, dans le cycle de création/développement des produits est au cœur de beaucoup d'initiatives des grands acteurs de la recherche (mise en place de living labs, fablabs, etc.). D'autre part on constate depuis peu au niveau des institutions nationales et régionales, une prise de conscience de l'importance de l'industrie pour le développement économique futur en réponse aux défis sociétaux (écologie, emploi, mondialisation..). La question de l'articulation de ces initiatives amont avec la capacité créatrice de nos entreprises et un enjeu important pour le succès de la France sur la scène internationale. Les formations des techniciens et d'ingénieurs et les laboratoires associés sont des acteurs clefs pour répondre à ces enjeux. Elles sont les intégrateurs naturels entre : les problématiques industrielles et la création, la structuration et la transmission des connaissances définis dans leurs missions.

Les objectifs, associés aux compétences du réseau et à sa capacité d'action doivent nous permettre de nous positionner :

- du point de vue de notre capacité à faire le **lien entre les phases amont créatives et les phases de développement**. En effet, historiquement les formations d'ingénieur ont mis l'accent sur les phases de développement d'industrialisation, point forts de notre industrie et moteur du développement économique de notre pays. Or, aujourd'hui, la donne mondiale fait apparaître une surcapacité de production et un grave déficit de compétitivité de notre appareil productif. En parallèle la capacité créatrice n'a jamais été autant mise en avant et celle-ci est souvent présentée comme le remède à notre manque de compétitivité. On constate que la créativité est souvent associée aux phases amont où le marketing et le design œuvrent pour comprendre les attentes et les tendances des utilisateurs et du marché. Or, l'apparition de dispositifs transversaux, multi métiers, associant des designers, des ingénieurs et des marketeurs, permettant d'aller jusqu'au prototype et anticipant les problématiques d'industrialisation nous permet de nous positionner comme acteur de ces changements autant par la formation de nos ingénieurs que par des développements sur nos plateformes.
- Comme support de calcul intentif et de PLM pour la modélisation et les simulations numériques de plus en plus représentatives du réel
- comme **porteur de méthodes d'innovation originales** déployées tout au long du cycle de conception du produit (TRIZ, C-K pour les plus connues). Nos formations permettent de déployer sur les plateformes une pédagogie active à base de projets industriels permettant de développer des savoirs intégratifs mobilisant les méthodes

dans des contextes où la finalité de l'activité est de proposer un prototype fonctionnel à la fin du projet. Ainsi le réseau est à même de se positionner comme expert de la mise en œuvre de méthodes de créativité dans des contextes de projets technologiques.

- comme **experts de technologies de prototypage** (rapide ou traditionnel), **de fabrication additive** et plus généralement des méthodologies associées (retrodesign etc.). Ici le réseau par ses compétences et ses équipements mutualisés, mobilise une compétence historique forte en la décalant de son objet initial : la production de masse d'objets manufacturés. En effet les techniques modernes de fabrication additive (aussi appelées prototypage rapide) laissent penser que le plus grand nombre pourra à volonté fabriquer ses propres pièces et laisser aller sa créativité par des réalisations en 3D de pièces réelles. Cette illusion est largement entretenue par les fabricants de machines ou les tenants d'une vision romantique de la fabrication. Nous savons d'expérience que les compétences de fabrication sont longues et difficiles à acquérir et les règles de conception des objets, même prototypes, la modélisation prenant en compte les performances (4D, optimisation topologique, anisotropie) et limites (état de surface, propriétés physiques, coût, durée..) de la fabrication additive sont complexes et requièrent un savoir-faire et des compétences que le réseau possède de longue date. Notre objectif doit être de nous faire reconnaître comme centre de compétence dans le domaine de la matérialisation des concepts dans des objets maquettes ou prototype, d'intégrer ces techniques dans les processus créatifs comme au niveau de la fabrication de pièces à haute valeur ajoutée.

Les enjeux pédagogiques doivent converger autour de la mise en place de formations basées sur le projet (problème, objectifs, situations d'usage, etc.) intégrant des boucles de maquettage et prototypage rapide. Ces formations doivent dépasser le cadre strict des ingénieurs et proposer une ouverture interdisciplinaire au design, à l'architecture, aux sciences de gestion etc. Notre savoir-faire dans le domaine de la pédagogie par projet est ici un réel point fort. Ces formations doivent s'appuyer sur des plateformes technologiques où se rencontrent des ingénieurs, des designers, des gestionnaires autour de l'activité de conception pour mettre en œuvre et inventer les méthodes d'innovation de demain.

Les enjeux scientifiques associés sont nombreux et les travaux et initiatives mentionnés plus haut montrent un réel dynamisme dans le domaine.

- Participer au développement des sciences de la conception en permettant de reconnaître la conception comme un pilier central de l'innovation. Créer les fondations théoriques qui permettront de dépasser les clivages disciplinaires et créant les conditions d'une transmission des connaissances efficace.
- Participer à la création d'une communauté interdisciplinaire (architectes, designers, ingénieurs, etc.) regroupant tous les acteurs de l'innovation autour d'objets de recherche communs.
- Développer des outils de synthèse capables de prendre en compte les dimensions "problème" (spécifications, fonctions, contraintes...) et "produit" (formes, technologies, architectures, etc.) .

- Développer des outils de visualisation et d'interaction avec des représentations hybrides physique/virtuelles à même de permettre la rencontre des acteurs de la conception.
- Identifier les usages en s'appuyant sur un environnement virtuel (réalité augmentée, living lab.....) afin de développer des nouveaux produits
- Développer une approche biomimétique pour la conception de produits innovants
- Prendre en compte le paradigme des objets connectés dans la conception de produits
- Développer des outils de prototypage (technologies additives), améliorer les techniques et méthodes de prototypage tout au long du processus.
- Développer des modélisations de plus en plus proches des caractéristiques géométriques, mécaniques, physiques et du comportement 3D des produits
- Assurer l'intégration entre la conception et les différents procédés de fabrication dont les technologies additives
- Assurer la conception de produits et moyens de production fiables et sûrs prenant en compte les variabilités des matériaux, procédés, usages
- Intégrer l'éco-conception sur l'ensemble de la durée de vie du produit
- Développer la simulation multi-physique associée à différentes échelles de temporelles et spatiales

1.2. Etat des lieux national et international versus des expertises du réseau

Au niveau international il existe plusieurs sociétés savantes centrées sur la conception. La plupart de ces sociétés sont interdisciplinaires, internationales et ont pour objectif de promouvoir les travaux académiques et la thématique de la conception. La Design Society (DS) a été fondée en 2000 à la suite de la transformation du WDK (Workshop Design Konstruktion) vieux de 30 ans. Cette société savante internationale est principalement centrée sur l'Europe du nord et les USA. Son objectif est de participer au développement et à la dissémination des connaissances sur tous les aspects de la conception à travers les disciplines. La France est particulièrement présente dans cette société depuis l'organisation en 2007 de la conférence internationale ICED à Paris. La DS organise deux grands événements internationaux (ICED et Design Conference) alternativement tous les deux ans. 14 special interest groups (SIG) assurent une animation thématique de la société. Ainsi, le SIG « Design Theory » est piloté par l'équipe du CGS de l'école des Mines de Paris et le SIG « Decision Making » est co-piloté par l'Ecole Centrale Paris et l'université d'Erlangen. Cette action positionne la France en pointe sur les théories de la conception et donne une visibilité importante aux travaux sur les sciences de la conception. Il existe aussi une association internationale visant à regrouper les sociétés savantes du domaine de la conception : l'international association of design research societies (IASDR) est une association dont l'objet est l'étude et la promotion de la conception de par le monde. Elle regroupe actuellement la Chinese institute of design, la Japanese society for the science of design, la design research society, la Korean society for design science et la Design Society.

Les initiatives internationales se multiplient dans le domaine de la création de lieux originaux visant à promouvoir la conception comme vecteur de la création de nouveaux produits, à travers des méthodologies basées sur l'expérimentation, le maquettage et le croisement interdisciplinaire. Parmi les plus célèbres on peut citer la DSchool de Stanford, le MIT Media lab ou plus centré sur la question du prototypage l'initiative MIT FAB LABs qui

connaît un succès planétaire. Une initiative intéressante dans le domaine des systèmes de production est à noter. Le SIM Lab de l'université d'Aalto vise à proposer un environnement d'innovation collaborative dans le domaine du business process, des réseaux d'entreprises avec un focus spécial sur l'innovation. Dans ce domaine le réseau est potentiellement bien positionné notamment on peut citer la plateforme GI-NOVA du pôle Dauphiné Savoie dont l'objectif est de promouvoir les techniques de prototypage dans les processus de conception amont et de former les ingénieurs aux techniques de créativité basées sur le prototypage. Nous pouvons ici mettre en avant notre maîtrise des techniques de conception et de prototypage (notamment autour de la fabrication additive).

Par ailleurs, le réseau est bien positionné au niveau national et a les moyens de rayonner au niveau international sur les autres points forts qui le constituent. A savoir, une excellente maîtrise des outils et des concepts du PLM et de la maquette numérique, ainsi qu'un excellent positionnement en recherche sur les modèles intégrés produits-processus-organisation et l'implémentation de fonctionnalités avancées dans le domaine de la CAO, des outils de visualisation et d'interaction avec la maquette numérique. Le réseau bénéficie d'une longue histoire dans le domaine de l'enseignement de la conception innovante, des méthodes d'innovation dans la plupart des pôles.

Du point de vue des méthodes la France s'est bien positionnée au niveau du déploiement de TRIZ autour de l'INSA de Strasbourg et le rayonnement de ces travaux est certain (techniques de l'ingénieur) notamment au niveau industriel. Le réseau mobilise largement TRIZ dans ces enseignements favorisant ainsi une bonne dissémination. Par ailleurs, les chercheurs du CGS de l'école des Mines de Paris ont développé une approche théorique de la conception qui connaît un succès international certain. La théorie C-K propose une approche originale de la conception à travers la modélisation de deux espaces en interaction dont les lois d'évolution internes sont différentes et permettent de mobiliser des modes de raisonnement différents. Cette approche de très haut niveau conceptuel permet de penser l'activité de conception d'une manière radicalement nouvelle et donne lieu à des applications nombreuses au sein des services R et D des grandes entreprises.

A travers les travaux autour du laboratoire conception de produits et innovation (LCPI) Arts et Métiers Paris Tech a su se positionner très tôt dans le domaine de la conception innovante en dépassant les barrières disciplinaires. Le LCPI a ainsi participé à la rencontre des mondes de l'ingénierie et du « design » en créant des programmes de recherche et un master interdisciplinaire.

La création de Chaires industrielles vient souligner l'importance de la thématique et la volonté des acteurs économiques de renforcer la capacité d'innovation des entreprises. A titre d'exemple la Chaire PRINCIP : Pôle de Recherche sur l'INnovation et la Capacité à Innover des PMI de l'INP de Lorraine et financée par le F2I, vise à l'identification et la caractérisation des compétences élémentaires à partir desquelles il devrait être possible de modéliser une capacité à innover spécifiques au domaine des PMI. Dans le même esprit la fondation partenariale Grenoble INP finance une chaire d'excellence dans le domaine de l'innovation industrielle dont l'objectif est de permettre de renforcer le lien entre les PME locales et le tissu universitaire pour permettre à ces dernières de renforcer leur capacité d'innovation tant sur le plan organisationnel que sur le plan de l'offre. La Chaire « théorie et

méthodes de la conception innovante » a été lancée en janvier 2009 au Centre de Gestion Scientifique de Mines ParisTech. Elle est financée par de grands groupes industriels autour de motivations liées à la rationalisation des activités de conception et son programme scientifique est centré sur la construction de fondements scientifiques aux sciences de la conception.

1.3. Analyse SWOT sur la thématique concernée

Points forts

- Dynamisme des acteurs Français sur la scène internationale
- Culture interdisciplinaire des acteurs
- Force du réseau sur les domaines du prototypage et de la fabrication additive
- Bonne intégration des méthodes dans nos formations
- Culture du projet et de l'enseignement par projet

Points faibles

- Les mondes du design, de la gestion et de l'ingénierie se parlent peu (fortes rivalités, culture)
- La question de l'innovation est traitée par beaucoup de domaines de manière indépendante
- Les actions de collaboration ne se font qu'au niveau des formations initiales et pas au niveau de la recherche
- Le réseau est peu structuré sur cette thématique

Opportunités

- Les pouvoirs publics sont très volontaristes pour soutenir les entreprises innovantes et les actions de transfert
- Les formations évoluent de plus en plus de filières ingénierie/design s'ouvrent
- Les entreprises sont très demandeuses de relations avec l'université sur ces thématiques

Menaces

- Une réactivité trop lente de l'Université et des acteurs de la recherche sur ces thématiques

Synthèse et conclusion

Liste des contributeurs et remerciement aux acteurs mobilisés

G-SCOP, Pole Dauphiné Savoie

Bibliographie et références

Sociétés savantes internationales :

- Site de la Design Society : <http://www.designsociety.org/sigs>
- Site l'IASDR : <http://www.iasdr.org/>

Quelques exemples de mise en œuvre de lieu de formation à la conception par le prototypage et le croisement interdisciplinaire :

- Stanford institute of design (D School): <http://dschool.stanford.edu/>
- MIT Media Lab : <http://media.mit.edu/>
- Centre for bits and atoms : <http://fab.cba.mit.edu/>
- SIM Lab Aalto University: <http://simlab.aalto.fi/en/>

Arousseau, M., Ballot, E., Bernard, A., Brissaud, D., Caroly, S., Frein, Y., Grabot, B., Rocchi, V. (2013). FUTURPROD : les systèmes de production du futur. Rapport final Atelier de Réflexion Prospectif ANR.☐

Hatchuel, A., & Weil, B. (2008). C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design*, 19(4), 181–192. doi:10.1007/s00163-008-0043-4

Salamatov, Y. (XXXX). La TRIZ, une théorie de l'invention en support des activités de R et D : fondements et méthodes, Techniques de l'ingénieur.

Simon, H. (1996) *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press; 3 edition, Cambridge, Massachusetts.