

Prospectives S.MART Feuille de route 2018

1. Industrialisation - tolérancement

Cette partie reprend les éléments présentés dans le livre blanc de la mécanique.

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

Positionnement et objectifs

L'industrialisation s'adresse à la fois aux procédés, produits et systèmes associés à des phases de conception, d'expérimentation et d'exploitation, comportant des aspects technologiques, organisationnel et économique avec un objectif est l'optimisation globale des performances de la production industrielle.

Au niveau des procédés il s'agit de définir les moyens, conditions opératoires, définition des états du produit de façon à mettre en œuvre le procédé dans des conditions industrielles robustes, fiables et économiques.

Au niveau des produits il s'agit de définir les différentes phases de passage des spécifications à la mise en production industrielle: choix des procédés, du processus de fabrication, des ressources, des conditions de mise en œuvre, des états produits et de leur qualification.

Au niveau du système il s'agit ensuite de définir les moyens de production (machine standard ou dédiée, automatisation, moyens de manutention, outillages, moyens de qualification, communication...) et leurs organisations spatiale (implantation, systèmes reconfigurables..) et temporelle (ordonnancement des tâches) leur permettant de réaliser la production d'une façon optimale en réponse aux exigences du marché prenant en compte simultanément les aspects économiques, sociétaux, techniques.

Les systèmes de production se trouvent confrontés aux tendances lourdes du monde économique:

- la forte croissance des pays émergents,
- la mondialisation de la production et des échanges,
- le changement climatique, et les nuisances environnementales,
- le vieillissement de la population.

Ceci doit se traduire par l'apport de réponse aux mutations industrielles :

- une performance industrielle en phase avec les attentes de la société: sécurité d'emploi, bien-être au travail, respect de l'environnement, économie d'énergie et de matière première,
- l'arrivée de technologies clés génériques: maîtrise de la production (phénomènes physiques, technologie, chaîne de production), l'intelligence véhiculée par les produits eux-mêmes et par l'interaction avec l'utilisateur.

Aussi cette thématique nécessite une vue d'intégration entre les aspects pluridisciplinaires et les différentes granulométries d'étude.

Les enjeux industriels

Les nouveaux enjeux industriels et sociétaux se déclinent suivant différents axes :

- Les notions de performance et d'efficacité se sont élargies. Cette performance doit être assurée dans un environnement où les incertitudes et les variabilités techniques, économiques, commerciales, sociétales, humaines n'ont jamais été aussi importantes,
- La grande variabilité de la demande, la personnalisation des produits,
- Le rythme de l'évolution des technologies et des connaissances scientifiques associées, ainsi que leur diffusion massive sont des sources permanentes d'innovation,
- Le renforcement des phénomènes de mise en réseau des firmes et l'éclatement géographique des activités, sont à la fois sources d'efficacité, riches d'innovation, mais aussi sources de fragilité et d'abandon de responsabilités locales,
- La demande sociétale de développement durable, les exigences variées, pressantes et changeantes du client pilotent la production, l'économie circulaire...
- La prise en compte de l'Homme (aspects physiques et cognitifs, compétences, savoir-faire, emploi),
- Les ressources limitées en matière et en énergie.

Enjeux et verrous scientifiques et technologiques

Ces enjeux portent sur :

- l'industrialisation des nouveaux procédés : intégration conception produit et systèmes de production, procédé de fabrication, identification des domaines de fonctionnement en fonction des matériaux, des produits, interaction avec les utilisateurs,
- l'identification du comportement statique et dynamique des machines et robots, le développement de nouvelles cinématiques, la prise d'information pertinente et le pilotage (procédé, machine, produit, production),
- identification des informations pertinentes quantifiées à proposer à l'acteur concerné au bon moment (inducteurs, multi-représentation, adéquation des données et connaissances),
- le développement de modèles (procédés, moyens, systèmes de production, processus) de plus en plus complets, précis, interopérables permettant de simuler et le comportement des procédés, produits et systèmes,
- la pertinence des modèles, avoir la bonne connaissance et sous la bonne forme au moment opportun, et élever le niveau de maturité de ces systèmes à base de connaissances,
- les modèles multi-échelles, multi- points de vue et multi-physiques intégrant les aspects technologiques, économiques, logistiques, humains, sociétaux,
- la variété des représentations, des outils de traitement intégrés de ces multi-représentations (analytique, numérique, topologique, exprimée dans un langage structuré ou non, imprécis...),
- les méthodes de traitement et d'aide au choix à partir de ces multi-représentations, le traitement des informations et connaissances, optimisation
- la plus grande maîtrise des incertitudes et de la variabilité, la prise en compte des incertitudes des modèles et des informations disponibles, des domaines de validité,

- la formalisation et la structuration des connaissances métier pour: réaliser (conception, fabrication, pilotage), décider (en conception/mise-au-point, en pilotage/exploitation) et créer de nouvelles connaissances (indispensables à l'innovation), définir des indicateurs (cohérence, robustesse, consistance, complétude, discriminance)
- la simulation numérique (fabrication virtuelle, virtual manufacturing) pour l'évaluation prédictive et intégrée des performances du produit et du système de fabrication mettant en œuvre des modèles représentatifs (produits, procédés, équipements.. .) assurant la réduction des expérimentations et de la réalisation de prototypes, la réduction des temps d'étude et d'industrialisation, des temps de montée en production, la validation du pilotage de la production, l'analyse des situations de travail, dans un contexte multi-vues, multi échelles et pluridisciplinaire,
- les mécanismes de traçabilité et de partage, systèmes de communication,
- des systèmes Hommes-machines apprenants et auto-apprenants, la réalité augmentée
- les systèmes de production agiles et adaptatifs, usines « intelligentes », le développement d'algorithmes de pilotage,
- la micro et nano fabrication robuste en grande série,
- la manipulation rapide ou fine, la cobotique, la coopération Homme robot, la robotique mobile
- le développement de capteurs,
- la gestion des données (big data, signaux faibles, apport de l'information pertinente au bon moment..)
- l'intégration et l'automatisation de procédés hétérogènes, fabrication automatisée de structure composites,
- la manipulation et l'inspection des pièces (de très petites aux très grandes dimensions, chaudes, flexibles...) avec une très grande précision en grande série,
- la mécatronique: machines intelligentes (monitoring, diagnostic), interaction Homme-machine, utilisation de l'ubiquité grâce aux interfaces mobiles et interactives,
- l'intégration de fonctions cognitive (maintenance, prognostic pré-programmé, adaptation à l'environnement de l'atelier) dans les équipements, la collaboration Homme – machine multimodale, interaction symbiotique,
- la gestion du cycle de vie des systèmes de production
- plates formes pilotes expérimentales pour la confrontation au réel

Développement de nouveaux procédés, maîtrise des procédés

Les recherches scientifiques sur les procédés traditionnels (usinage, fonderie, déformation plastique, traitement de surface, assemblage comme sur de nouveaux procédés appliqués à de nouveaux produits (composites, électronique..) ont permis de mieux maîtriser les procédés et de maîtriser les technologies de production (diminution de la variabilité, diminution de l'engagement matière, réponse aux besoins de qualité ou d'évolution des produits plus difficiles à mettre en œuvre.

L'industrialisation de procédés nouveaux, portent soit sur des améliorations incrémentales de procédés existants afin d'en augmenter les performances (par ex. usinage 8 axes, soudage hybride, etc.), soit des procédés nouveaux, issus des travaux de R&D de laboratoires publics ou privés (par ex. friction stir welding, découpage à très grande vitesse, fabrication additive etc.).

Les connaissances en industrialisation de produits et procédés implémentées dans les logiciels de préparation et de simulation (virtual manufacturing)

Les connaissances sur les procédés (bases de données, modèles de comportement, domaines de validité), leurs conditions de mise en œuvre, le comportement des équipements, ont permis de développer des outils logiciels de préparation du travail (FAO usinage par exemple), de prédiction de la qualité des pièces réalisés (simulation procédé de mise en forme, fonderie) afin d'assister le concepteur (design for manufacturing) pour la conception du produit et pour l'industrialisation des produits (Computer Aided Manufacturing, Computer Aided Engineering).

Il s'agit de formaliser des connaissances métier liées implicites, imprécises et incertaines tout en prenant en compte les connaissances plus formelles scientifiques et technologiques. Il s'agit de prendre en compte simultanément les contraintes technologiques, économiques, logistiques, environnementales. Les outils utilisés actuellement restent dédiés. L'approche plus globale (produit, ressources, procédé, processus..) est apportée par l'expertise de l'utilisateur.

Spécification géométrique des produits

Les domaines d'activités et de recherche en spécification et vérification géométriques des produits peuvent être résumés ainsi:

–la spécification des produits. Ce domaine s'attache à définir des modèles géométriques pour les produits avec défauts dans le but de construire un langage univoque d'expression des limites tolérées pour l'ensemble des acteurs concernés par la maîtrise des variations géométriques. Ce travail est généralement réalisé pour mieux structurer les normes en vigueur et les standards d'échanges entre systèmes XAO. Le deuxième volet de cette activité est la détermination des spécifications des assemblages et des pièces à partir des conditions d'aptitude à l'emploi qui se déclinent en exigences fonctionnelles sur les produits. Il vise également la détermination des spécifications de fabrication à partir des spécifications fonctionnelles des pièces. Cette activité est appelée synthèse des spécifications, également appelée synthèse qualitative,

–la simulation des comportements géométriques des assemblages avec défauts. Ce domaine s'intéresse à la recherche de modèles de transfert de spécifications, à la mise au point de méthodes et d'outils d'analyse des défauts et de leurs conséquences. Deux types de problèmes sont considérés, le problème direct si l'on étudie les conséquences des valeurs des défauts influents sur une spécification (analyse des tolérances) ou le problème inverse si l'on traite la répartition de la valeur de la spécification sur les défauts influents (synthèse quantitative des tolérances). Ces outils répondent généralement à trois objectifs :

- simuler le montage du produit en évaluant les conséquences des défauts des pièces sur la montabilité et la robustesse de l'assemblage,

- simuler le fonctionnement du produit en condition d'usage pour déterminer son aptitude à l'emploi,
- simuler les processus de fabrication pour vérifier la faisabilité des spécifications fonctionnelles, et pour déterminer les spécifications de réglage.
- – la vérification des spécifications ou métrologie. Ce domaine de recherche consiste à trouver des moyens matériels de mesure et les algorithmes de traitement qui doivent donner des indications fidèles à la réalité assorties de leurs incertitudes. Ceux-ci doivent assurer :le réglage et la surveillance des moyens de fabrication ou d'assemblage,
- la déclaration de la conformité des produits au regard des spécifications, en accord avec les normes en vigueur,
- la validation des modèles de simulation.

Optimisation de l'ingénierie et de la production

Cet aspect porte à la fois sur les outils et méthodes de conception, de validation, de mise en œuvre à différents niveaux : conception produit et systèmes de production, pilotage de la production, collaboration entre acteurs (services, entreprises..) mettant en œuvre les modèles méthodes et outils d'optimisation.

L'exploitation de ces données nécessite la mise en œuvre de méthodes et outils d'optimisation pour la prise de décision, l'établissement des données de conduite de la production, le pilotage des flux de produits, la prédiction de la qualité et des performances des produits et moyens de production.

Développement de nouveaux moyens de production et d'implantation des systèmes de production

Le passage, plus ou moins rapide selon les secteurs d'activité d'un modèle de production de masse vers des systèmes flexibles adaptés à la production de multiples versions d'un produit a conduit au développement de moyens de production et de leur implantation assurant une plus grande réactivité et variété de produits (ilots de fabrication, ligne flexible) avec une intervention humaine réduite (automatisation des tâches de production), assistée (identification de composants en fonction des produits, interfaces Homme-Machine, virtualisation d'opérations...).

L'utilisation des robots industriels concernent le chargement et déchargement des machines, le soudage par points ou le soudage continu, la peinture, l'assemblage et l'usinage dans un certain nombre de cas.

Au niveau des équipements, la réduction des effets mécaniques, thermiques, vibratoires sur la qualité des pièces comme des performances des équipements (vitesse, précision, machine à grande vitesse..) conduit au développement de nouveaux composants ou de nouvelles architectures de machines (architecture parallèle), de nouveaux matériaux (bâti béton..).

Automatisation des machines

Les moyens de production ont évolués vers plus d'automatisation et de flexibilité au niveau des machines (machine à commande numérique, robot, lignes de fabrication pilotés

par automates programmables, ilot de fabrication flexible,..), des moyens de manutention (chariots filoguidés, robots...). Ces moyens ont suivi les évolutions technologiques en mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, électronique, informatique, ... Une plus grande instrumentation des équipements afin de contrôler (adaptation des conditions opératoires en fonction des mesures d'effort, de puissance, de vibration en temps réel) la qualité en temps réel (éventuellement à distance) s'est développée. Ainsi, dans le domaine du contrôle/commande, on est passé ces 20 dernières années des armoires de commande entièrement électromécaniques aux automates programmables, du câblage filaire classique aux réseaux industriels, des boutons poussoirs et autres sélecteurs manuels à des écrans tactiles..... Une autre évolution concerne l'utilisation des NTIC appliquée au domaine de la conduite ou de la maintenance des équipements de travail (télémaintenance, vidéo assistée, réalité augmentée, ...).

Augmentation des contrôles / commandes en cours de fabrication

Les points, procédures et moyens de contrôles (contrôlabilité des procédés, équipements, des flux de produit) en cours et en fin de fabrication de façon à réduire les rebus, à réagir le plus tôt possible, à diminuer la variabilité des produits se sont développés (Statistical Process Control, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis ...) ou d'optimiser plus globalement la production en fonction des contraintes et des besoins et d'assurer la traçabilité des produits et des processus. Le pilotage de la fabrication ou la simulation pour la prise de décision à partir de ces informations est alors possible en fonction des informations disponibles (« Intelligent products ») afin d'augmenter l'agilité du système de production. L'intervention à distance sur les équipements en vue de la maintenance, du changement de programme de fabrication ...est possible (augmentation de la contrôlabilité).

Interaction entre l'Homme et la machine, outils de virtualisation

On constate le développement de la réalité virtuelle ou augmentée disposant d'interfaces visuelles, haptiques...afin d'étudier les interactions (physiques, cognitif..) entre l'homme immergé dans son environnement de travail et les équipements.

Un des grands objectifs des années 80 était l'usine sans homme suite à des projets vitrines japonais. Force est de constater que cette idée ne s'est pas développée, compte tenu de la complexité (multiplicité des interactions) et de la contextualisation des problèmes de fabrication, de l'importance des savoir faire, de la diversité des compétences et connaissances. La prise en compte des facteurs humains restent encore insuffisante, notamment dans la définition des interactions homme-machine. Elle constitue un enjeu important vis à vis de la prévention des risques professionnels (progression rapide des TMS, du stress au travail, du vieillissement de la population active, ...).

La diversité de qualification des opérateurs et l'évolution permanente des produits et des technologies imposent l'adaptation permanente du poste de travail.

La tendance s'est donc orienté vers une plus grande convivialité des interfaces, et la maîtrise de l'interaction Homme-machine en gardant le niveau de sécurité (intégration des robots en production, coopération Homme-robot, robot d'assistance physique).

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

La position française reste globalement en retrait au niveau international. On constate des analyses et réflexions sur les systèmes de production du futur dans tous les pays industrialisés et des actions incitatives fortes associées.

La représentation tridimensionnelle des données a fait l'objet récent d'investissements Européens avec la création d'une Infrastructure spécifique VISIONAIR regroupant 24 laboratoires Européens pilotée par le Laboratoire G-SCOP. Les apports de la communauté Française dans le domaine du tolérancement sont mesurables par leur forte implication au niveau de la communauté internationale (CIRP- Groupe Tolerancing), et la participation au comité scientifique du colloque international (CIRP-conference on computer aided tolerancing). Ainsi le modèle GeoSpelling développé à partir des travaux des équipes françaises a été intégré aux normes internationales

1.3. Analyse SWOT sur la thématique concernée

Points forts

- Culture interdisciplinaire des acteurs
- Expérience de contrats en partenariats avec le monde industriel
- Reconnaissance internationale dans le domaine du tolérancement
- Bonne intégration des méthodes dans nos formations
- Plateformes technologiques

Points faibles

- Difficulté de valoriser les activités et compétences au-dessus d'un TRL 3
- Très forte contextualisation des connaissances et savoir-faire
- Confidentialité des savoir-faire industriels

Opportunités

- L'industrie du futur devient un thème porteur au niveau régional, national et européen
- Les soutiens institutionnels aux activités de R&D

Menaces

- Coût des équipements nécessaires pour l'expérimentation

1.4. Synthèse et conclusion

Pour un grand nombre de points les tendances du passé vont se poursuivre mais avec la prise en compte forte des contraintes liées à la disponibilité des matières premières, la réduction de la consommation énergétique, l'impact environnemental, la réduction des rebus, la prise en compte de la fin de vie des produits, l'augmentation de l'emploi industriel.

Outre les points précédents les facteurs de rupture portent sur l'adaptation rapide au marché, la personnalisation de masse, l'économie circulaire, la servicisation et l'économie de fonctionnalité, la territorialisation de la production, la miniaturisation, les produits multi-technologiques, l'intégration des fonctions de service associées au produit, le développement de nouvelles compétences, les communautés d'acteurs à forte

interopérabilité, l'innovation devenue un processus continu essentiel au positionnement concurrentiel des entreprises et à leurs performance.

Des outils de simulation virtuelle intégrant les connaissances scientifiques et technologiques de plus en plus performants et représentatifs de la réalité seront mis en œuvre.

La participation de l'Homme (human centric manufacturing) constitue un changement important de paradigme. Un autre aspect est le développement des moyens directs de communication et d'interaction (cobotique) entre l'opérateur et l'équipement, ils doivent permettre une assistance physique et cognitive à l'opérateur (commande, réalité augmentée, réduction des efforts...) dans différentes situations.

En termes de signaux faibles l'évolution de la demande et des besoins des consommateurs (spontanée ou orientée) par exemple en fonction de la sensibilité aux facteurs écologiques, peut conduire à des infléchissements. Le besoin des personnes de rechercher des emplois proches de leur lieu d'habitation ou du travail à distance peut conduire à des évolutions et à l'adaptation des outils de production.

1.5. Compétences du réseau

G'Scop (Grenoble), IRCCyN (Nantes), LURPA (ENS Cachan), Institut Pascal (Clermont Ferrand), I2M (Bordeaux), LSIS (Arts et Métiers Aix), LCFC (Arts et Métiers Metz), LAAS (Toulouse), CRAN (Nancy), LIMOS (Clermont-Ferrand, Saint- Etienne)

1.6. Bibliographie et références

- Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing, Executive office of the President, President's council of advisors on Science and Technology, June 2011; A national strategic plan for advanced manufacturing, Executive Office of the President National and Technology Council, February 2012.
- Report of the Interagency Working Group on Manufacturing R&D, Manufacturing the Future, Federal Priorities for Manufacturing R&D, , National Science and Technology Council (USA), march 2008,
- Factories of the future. Strategic Multi-annual roadmap. Industrial advisory group FoF; 2010, www.effra.eu)
- FUTURPROD : les systèmes de production du futur, Atelier de Réflexion Prospective de l'ANR, www.cluster-gospi.fr