

Les CPPS

Impact et opportunités pour l'Industrie du Futur

Olivier Cardin

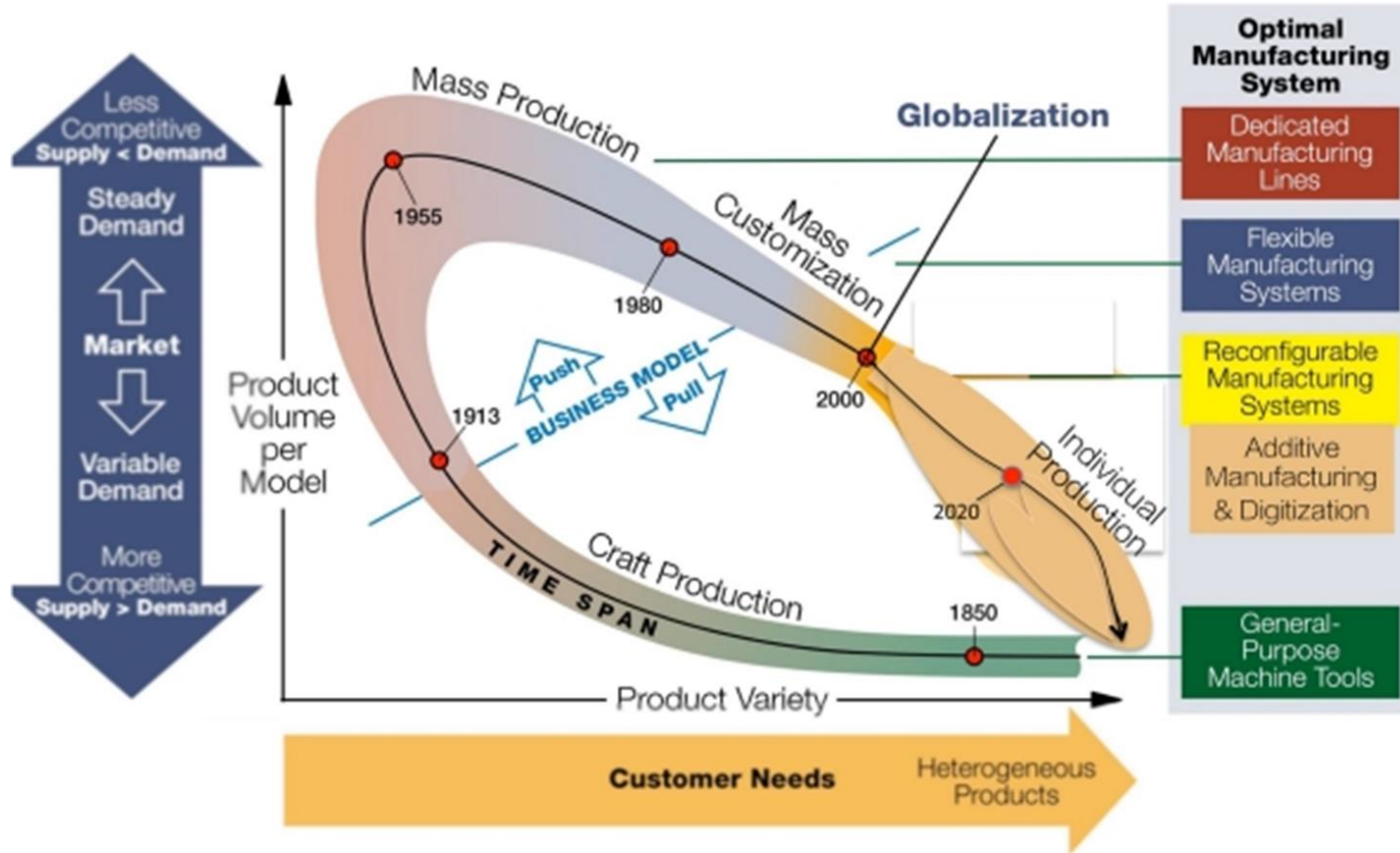
Conférence semi-plénière, Vendredi 7 juin 2019



UNIVERSITÉ DE NANTES

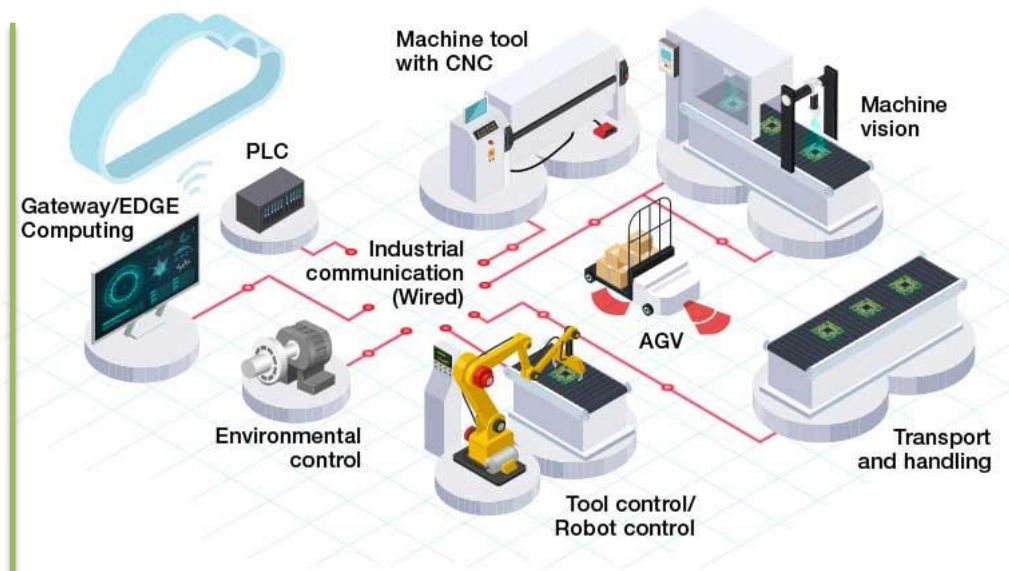
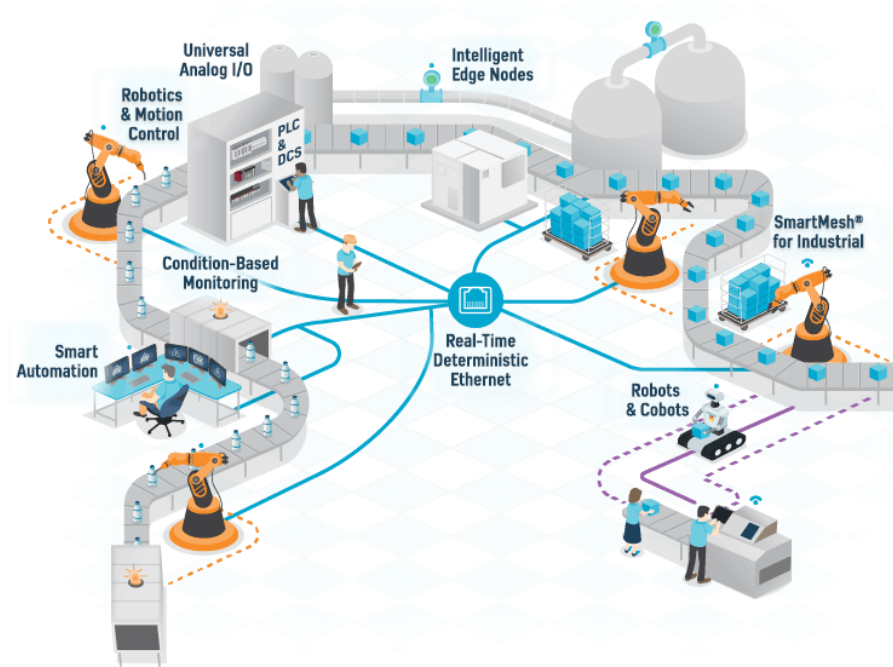


L'industrie cherche un nouveau modèle



Source: Koren, Y. (2010). The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems (Vol. 80). John Wiley & Sons.

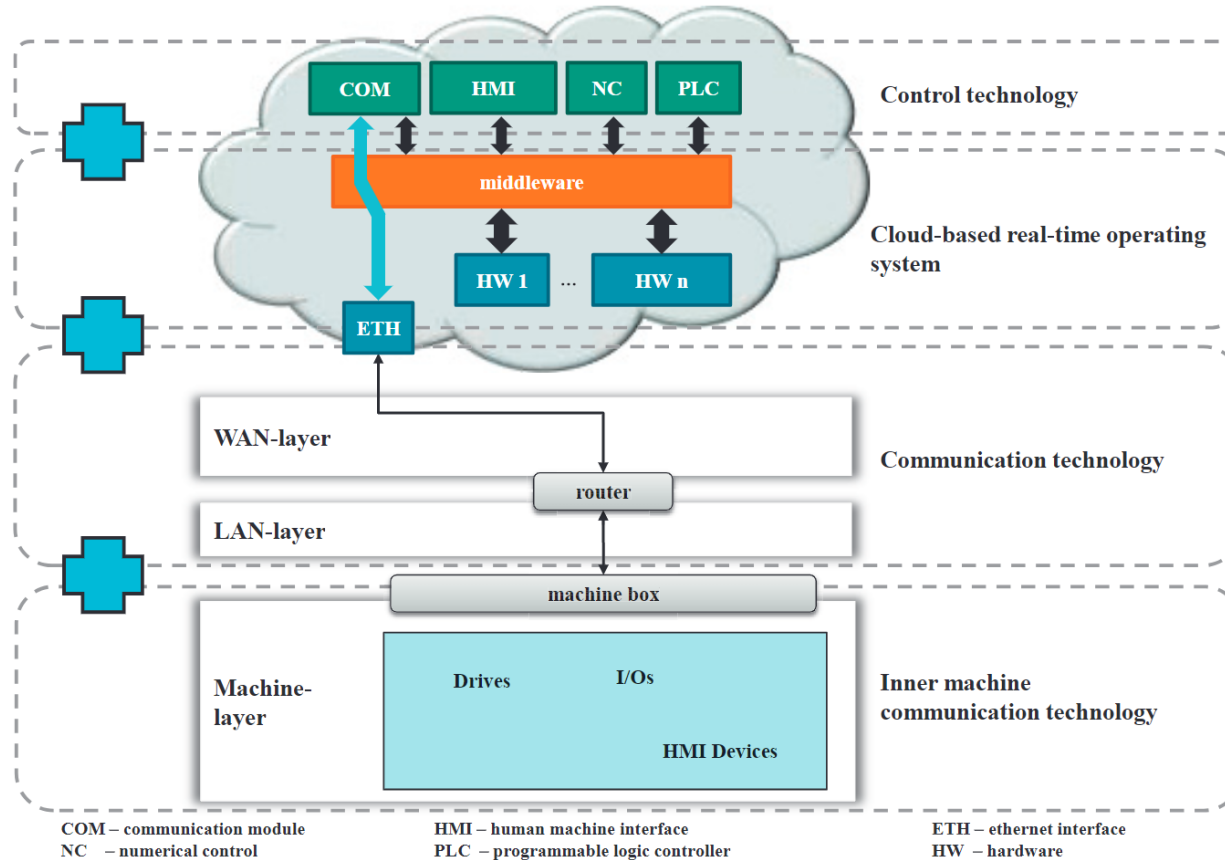
Les ateliers sont connectés



Sources: AnalogDevices Infographic

<http://www.ti.com/applications/industrial/industry-4-0.html>

L'informatique industrielle évolue



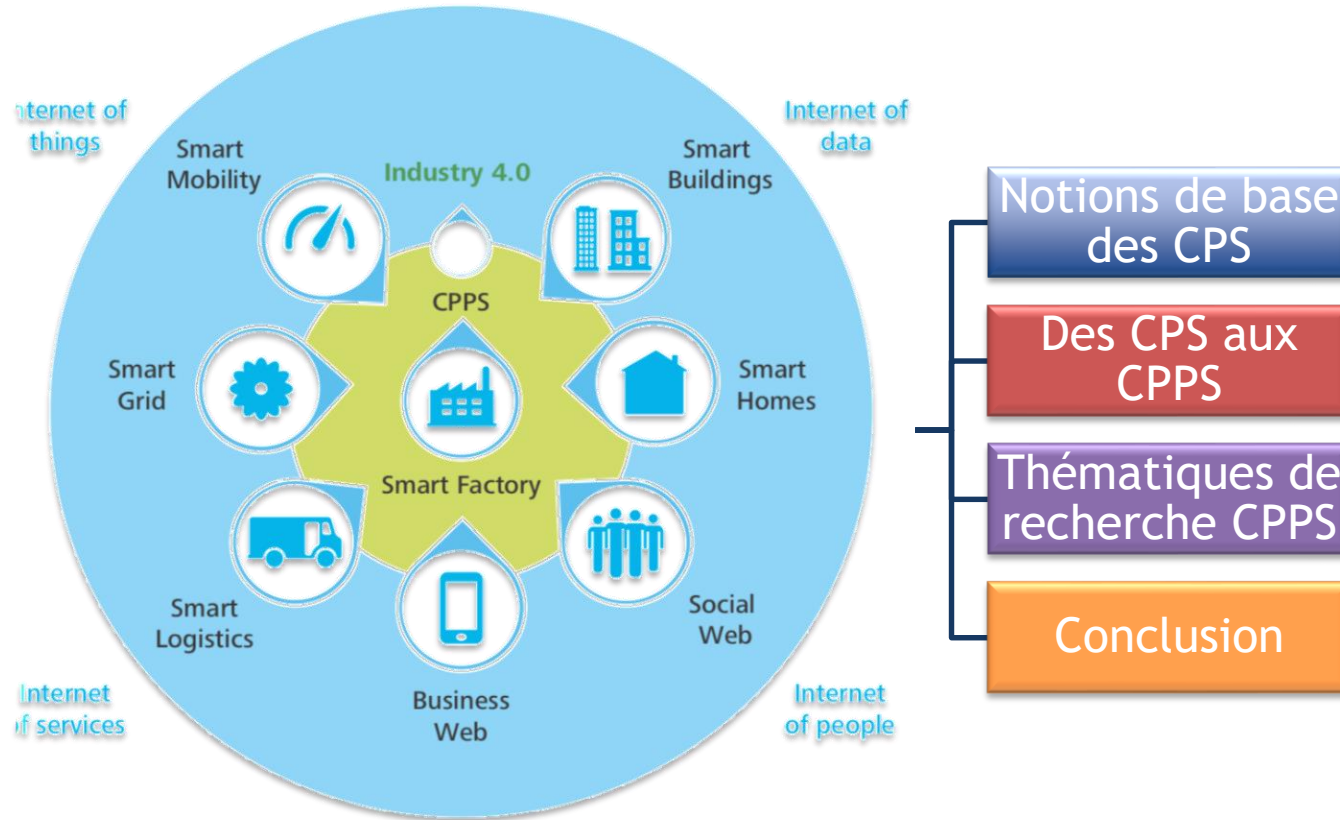
Source: Verl, Alexander, Armin Lechler, Stefan Wesner, Andreas Kirstädter, Jan Schlechtendahl, Lutz Schubert, and Sebastian Meier. 2013. "An Approach for a Cloud-Based Machine Tool Control." *Procedia CIRP*, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, 7: 682-87.

La notion de CPPS émerge

- *Cyber-physical Production System – Système cyber-physique de production*
- Objectifs généraux:
 - Permettre aux systèmes de s'adapter rapidement aux évolutions et perturbations
- Fonctionnalités ciblées:
 - Distribuer l'intelligence au plus près des perturbations
 - Donner des facultés cognitives aux systèmes
 - Autoriser la prise de décision locale
 - Permettre une coordination de la décision via une communication intensive avec l'environnement
 - Fournir des moyens d'action autonomes aux systèmes
- Moyens mis en œuvre:
 - Embarquer de l'intelligence dans les éléments du système
 - Rapprocher et intégrer le software et le hardware
 - Créer un environnement de communication type *Plug&Produce*



Les CPPS au cœur de l'industrie du futur



Source: <https://ripple.com/insights/welcome-to-the-fourth-industrial-revolution/>

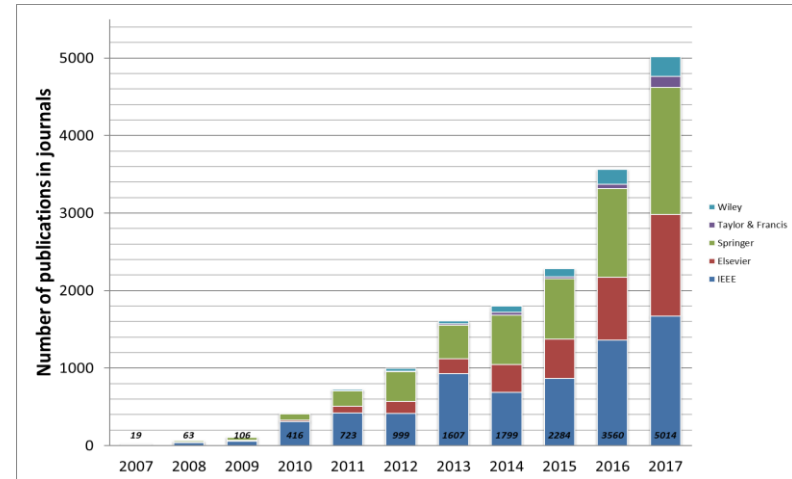


Notions de base des CPS



Les Systèmes Cyber-Physiques (CPS)

- Première définition: US National Science Foundation (Lee, 2006)
- Au fur et à mesure des années, les définitions se sont affinées, et désormais convergent (Monostori, 2014):
 - *Les CPS sont des **systemes formés d'entités collaboratives**, dotées de capacité de **calcul**, qui sont en **connexion** intensive avec le **monde physique** environnant et les phénomènes s'y déroulant, fournissant et utilisant à la fois les services de **mise à disposition** et de **traitement de données disponibles sur le réseau***
- Sujet d'actualité dans la littérature



Source: Monostori L (2014) Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. Procedia CIRP 17:9-13

Domaines d'application des CPS

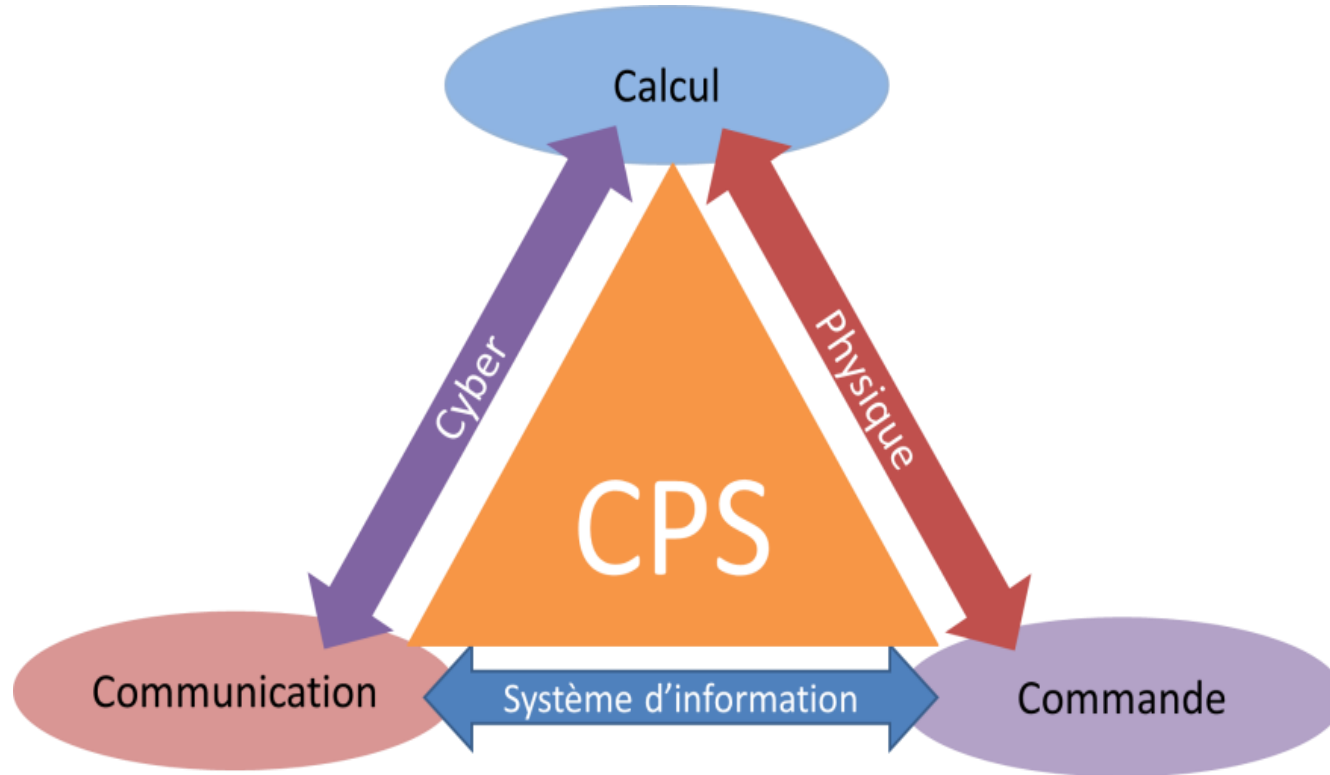
- Synthèse NIST, Virginia & Berkeley Universities (2010)
 - **Communication** : conception de moyens de communication innovants ;
 - **Consumer** : modification des habitudes consuméristes des usagers ;
 - **Energy** : production et distribution d'énergie ;
 - **Infrastructure** : bâtiments, génie civil et travaux publics ;
 - **Health Care** : santé ;
 - **Military** : applications orientées vers la défense ;
 - **Robotics** : robotique (humanoïde, de production, de service ou mobile) ;
 - **Transportation** : tous les modes de transport, individuels ou collectifs, de personnes ou de marchandises, etc;
 - **Manufacturing** : production manufacturière

Les CPS sont multi-disciplinaires, multi-échelles, etc.



Source: Implementing a Cyber-Physical System with MATLAB and Model-Based Design. 2017, Pieter J. Mosterman, MathWorks and Justyna Zander, NVIDIA Corporation, <https://fr.mathworks.com/company/newsletters/articles/implementing-a-cyber-physical-system-with-matlab-and-model-based-design.html>.

Vue fonctionnelle des CPS



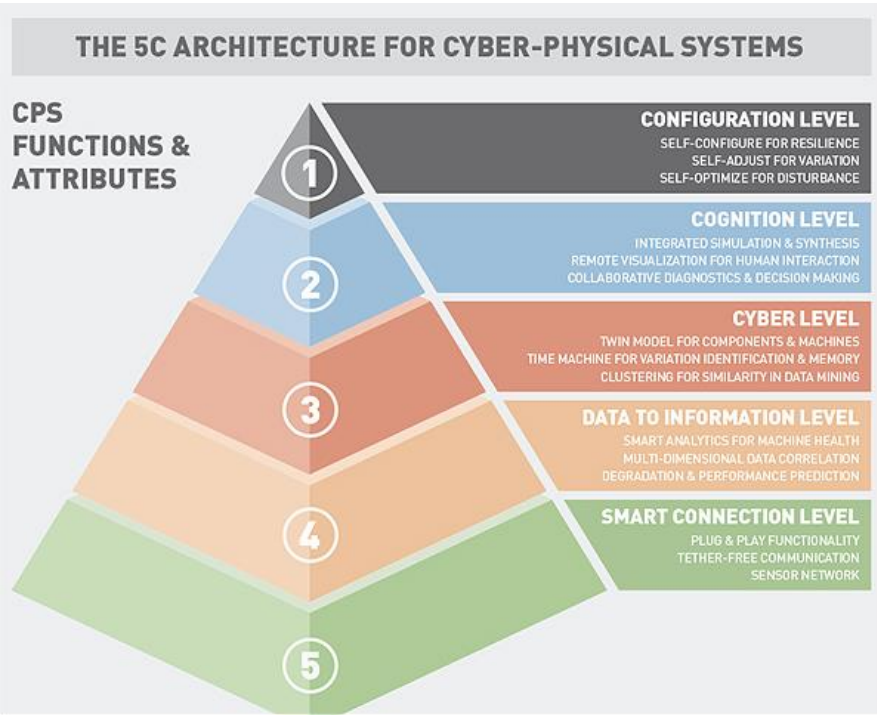
Source: Klimeš, Jiří. 2014. "Using Formal Concept Analysis for Control in Cyber-Physical Systems." *Procedia Engineering*, 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, 69: 1518-22. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.149>.

CPS: caractéristiques

- Haut niveau d'**intégration** physique/cyber ;
- Capacités de **traitement** dans chaque composant physique, dû au fait que les ressources en traitement et communication sont généralement limitées ;
- Hautement **connectés**, via réseaux avec ou sans fil;
- Adapté à des **échelles temporelles et spatiales multiples** ;
- **Fiables**, voire certifiés dans certains cas;
- Capable de **reconfiguration**/réorganisation dynamique ;
- Hautement **automatisés**, en boucles fermées.

Source: Shi J, Wan J, Yan H, Suo H (2011) A survey of cyber-physical systems.
In: Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2011 International Conference on. IEEE, pp 1-6

Classification fonctionnelle des CPS



- **C1.** Au niveau **Connexion**, le CPS opère sur un réseau Plug&Play et utilise des données envoyées par un réseau de capteurs ;
- **C2.** Au niveau **Conversion**, le CPS sait traiter l'information et la retranscrire en informations de plus haut niveau ;
- **C3.** Au niveau **Cyber**, le CPS a une connaissance des autres CPS de l'environnement et peut interagir avec eux pour enrichir son propre traitement d'information ;
- **C4.** Au niveau **Cognition**, le CPS est capable d'établir un diagnostic basé sur des simulations de son propre comportement et une analyse différentielle des données de capteurs ;
- **C5.** Au niveau **Configuration**, le CPS peut s'adapter seul en cas de défaillance, se reconfigurer ou ajuster de manière autonome ses paramètres afin de retourner à un comportement nominal.

Source: Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A., 2015. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters 3, 18-23.

Synthèse CPS

- Les thématiques associées aux CPS sont dans la continuité de beaucoup de travaux déjà menés
- Concept permettant d'englober de nombreuses thématiques traditionnellement disjointes
 - Systèmes embarqués,
 - Intelligence Artificielle,
 - Automatique,
 - Internet des Objets,
 - Etc.
- Identificateur d'une communauté plus large et plus « visible »

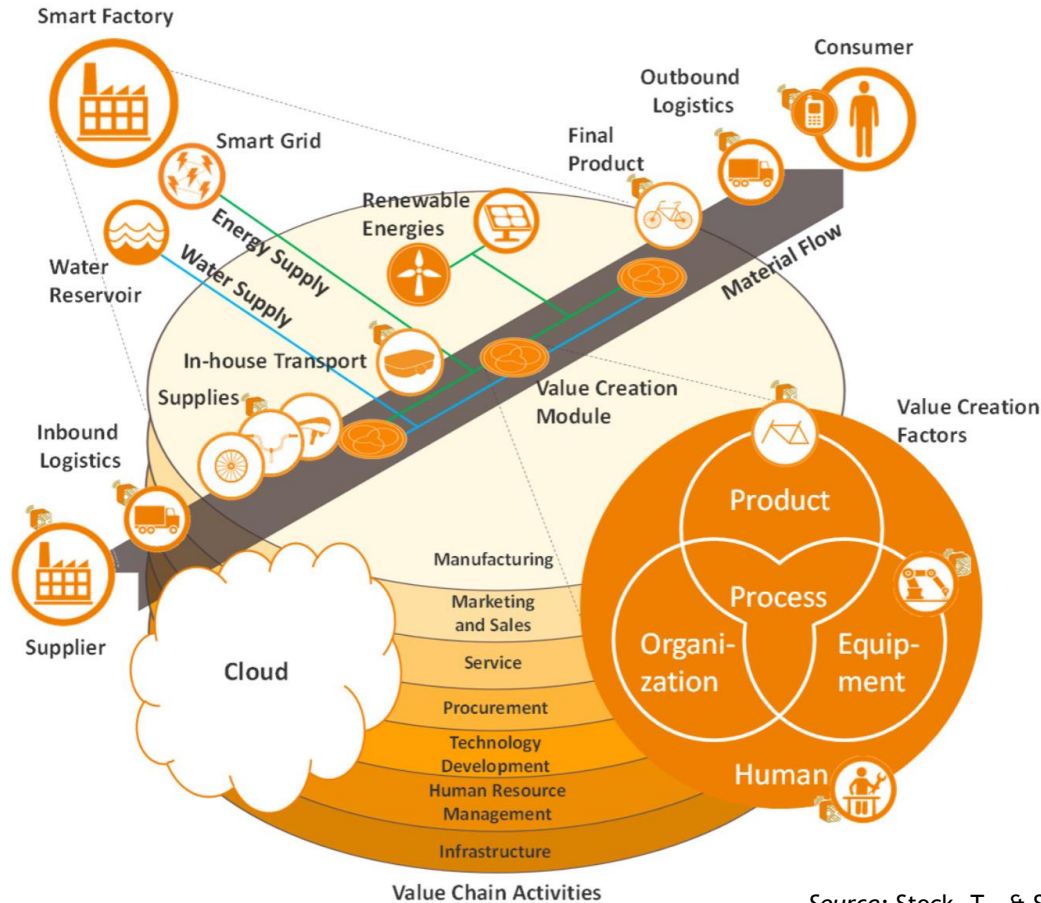
Source: JLL, Nantes, 2016, « Les CPS, c'est ce qui sauvera les automaticiens! »



Des CPS aux CPPS

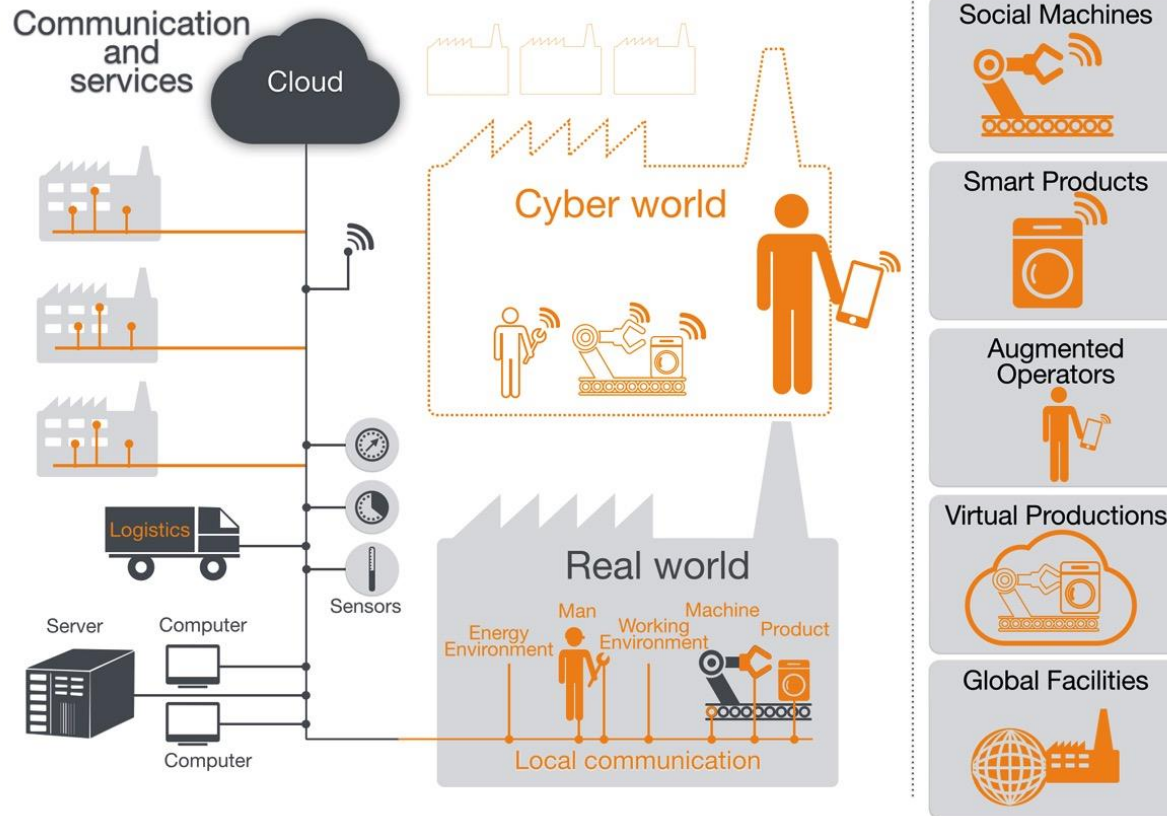


Le cadre Smart Factory



Source: Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536-541.

Digitalisation de l'industrie



Source: Juhás P, Molnár K, Izsák P (2016) The issue of management of production processes in modern enterprises in accordance with the standard of industry 4.0. Industry 40 1:47-50

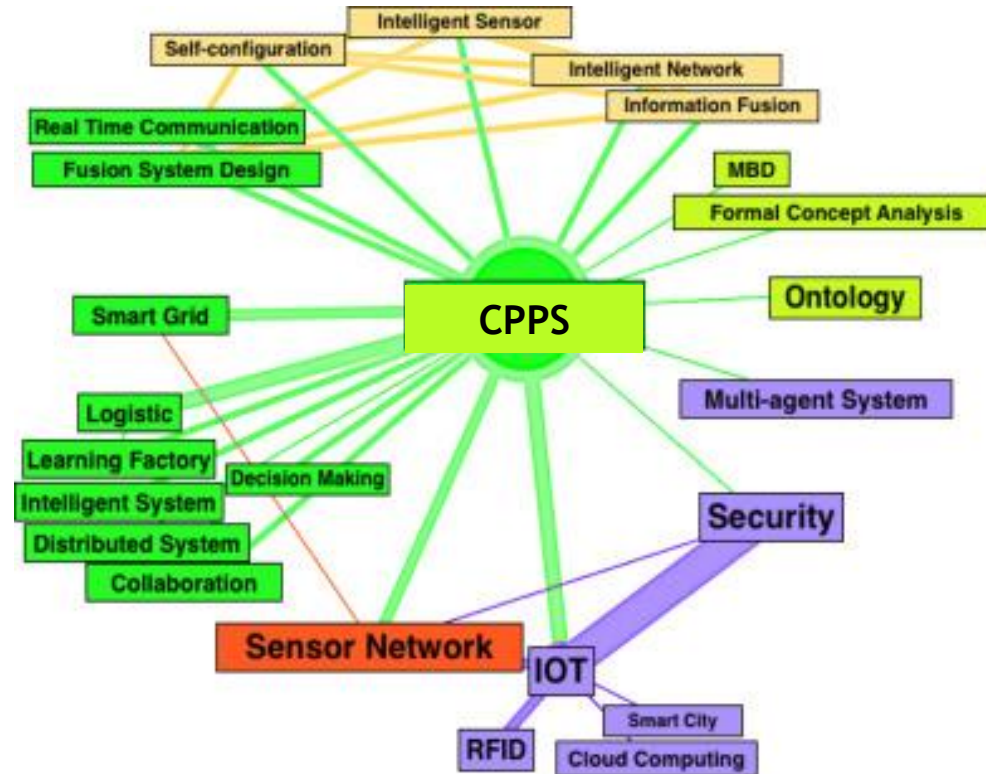
Tentative de définition de CPPS

- Définition (Cardin, 2019), adaptée de (Monostori, 2014):
 - *Cyber-Physical Production Systems are systems of systems of autonomous and cooperative elements connecting with each other in situation dependent ways, on and across all levels of production, from processes through machines up to production and logistics networks, enhancing decision-making processes in real-time, response to unforeseen conditions and evolution along time*
 - *Un CPPS consiste en un **système de systèmes** d'éléments coopérants et **autonomes**, **connectés** au travers d'une relation contextualisée, au sein et au travers de **tous les niveaux de la production**, du process aux réseaux logistiques, améliorant les processus de **prise de décision en temps-réel**, la réponse à des conditions imprévues et leur évolution au cours du temps.*

Sources:

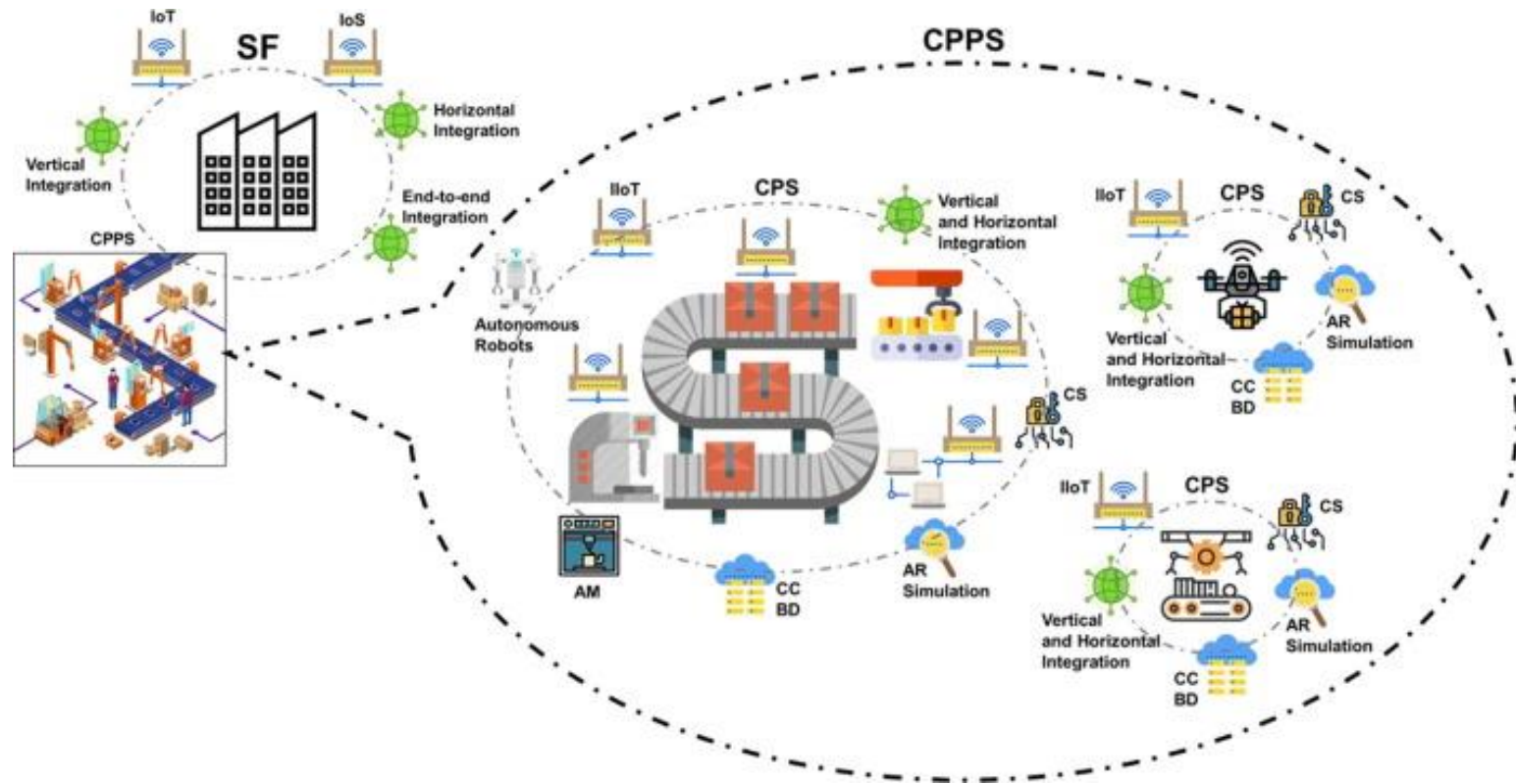
Cardin O (2019) Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework. Computers in Industry 104:11-21
Monostori L (2014) Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. Procedia CIRP 17:9-13

Arbre de mots-clés associés aux CPPS



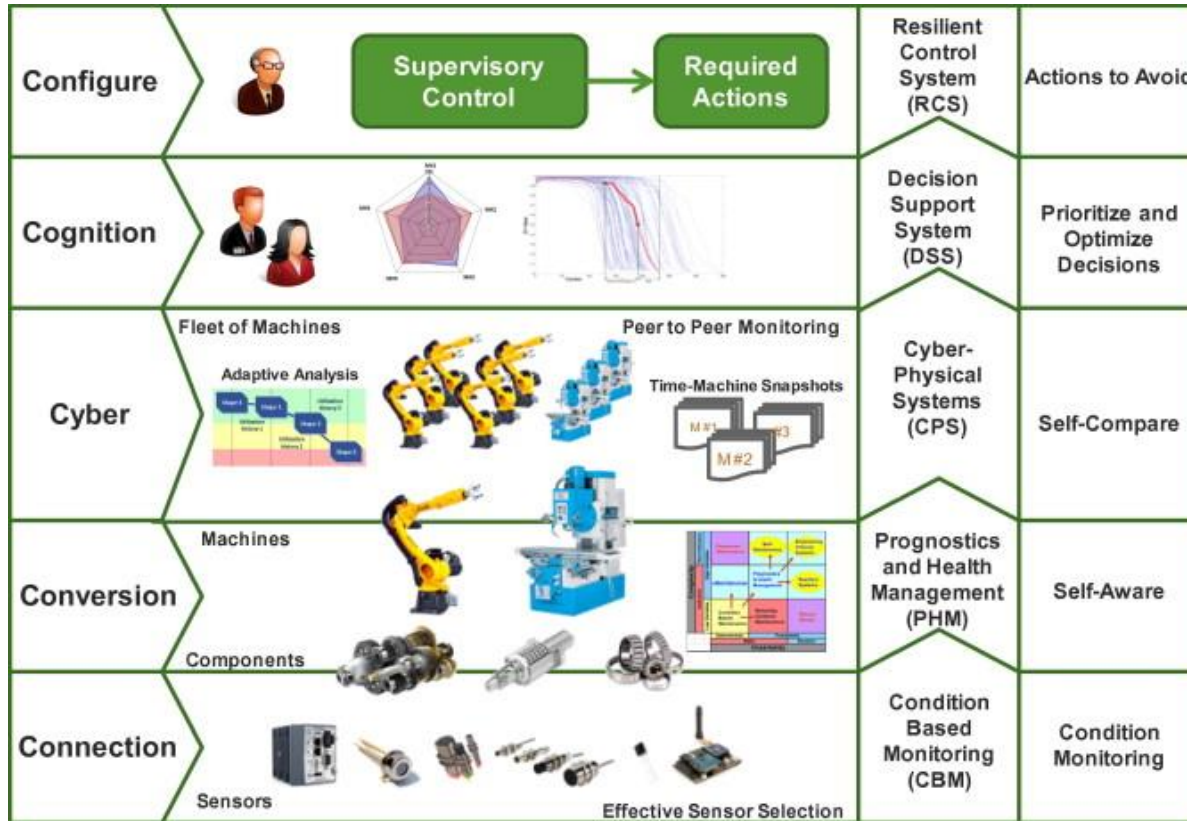
Source: Monostori L, Kádár B, Bauernhansl T, Kondoh S, Kumara S, Reinhart G, Sauer O, Schuh G, Sihn W, Ueda K (2016) Cyber-physical systems in manufacturing. CIRP Annals 65:621-641

Exemple de vue macro d'un CPPS



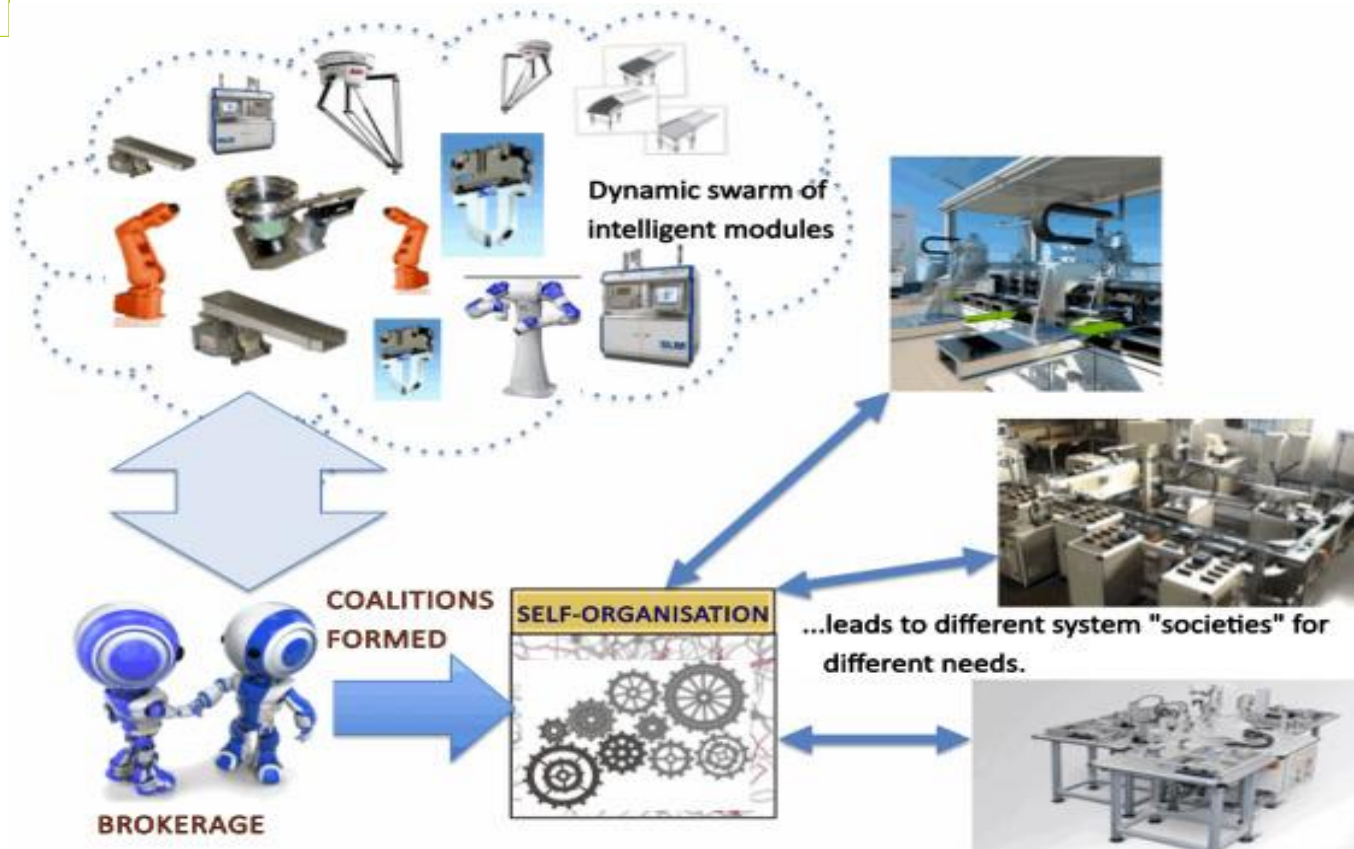
Source: Alcácer, V., and V. Cruz-Machado. 2019. "Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems." *Engineering Science and Technology, an International Journal*, January.

Outils et techniques liant les CPPS aux 5C



Source: Lee, Jay, Behrad Bagheri, and Hung-An Kao. 2015. "A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems." *Manufacturing Letters* 3: 18-23.

Exemple de vue dynamique d'un CPPS



Source: Wang, L., Törngren, M., Onori, M., 2015. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*

Quelques concepts connexes aux CPPS

- Mécatronique
 - Un CPPS est un ensemble de systèmes mécatroniques
 - La mécatronique est une base de départ pour la conception de CPPS, devant être complétée par des outils d'ingénierie des systèmes complexes (IDM?)
- Systèmes multi-agents & Paradigme holonique
 - Prise de décision avec adaptation aux perturbations (self-*)
 - Notion de système de système => capacité d'agrégation
 - Architectures de référence bien adaptées à la production
- Produits intelligents
 - L'intégration verticale sur une phase du cycle de vie du produit induite par le CPPS entre en complément de l'activité horizontale des produits intelligents tout au long du cycle de vie.
- Robots autonomes
- Cloud technologies / IIoT / WSN ...

Les CPPS ne sont pas déshumanisés!

- Un humain est *par nature* autonome et coopérant
- S'il a les moyens techniques de communiquer avec les éléments automatisés, alors il peut intégrer un CPPS
- Plusieurs modes de coopération entre CPS et humains peuvent être adaptés pour les CPPS:
 - **Full** : l'humain n'a qu'un rôle de supervision du CPPS, qui prend la totalité de ses décisions sans l'intervention de l'humain ;
 - **Automation** : le CPPS guide l'humain dans sa tâche en prenant la majeure partie des décisions et en laissant les fonctions d'adaptation à l'humain ;
 - **Tool** : l'humain guide le CPPS en prenant la majeure partie des décisions ;
 - **Manual** : le CPPS n'a qu'un rôle d'informateur de l'humain qui va prendre la totalité des décisions.

Source: Dworschak, B., Zaiser, H., 2014. Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing - First Findings and Scenarios. Procedia CIRP, 8th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2014 Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution 25, 345-350.

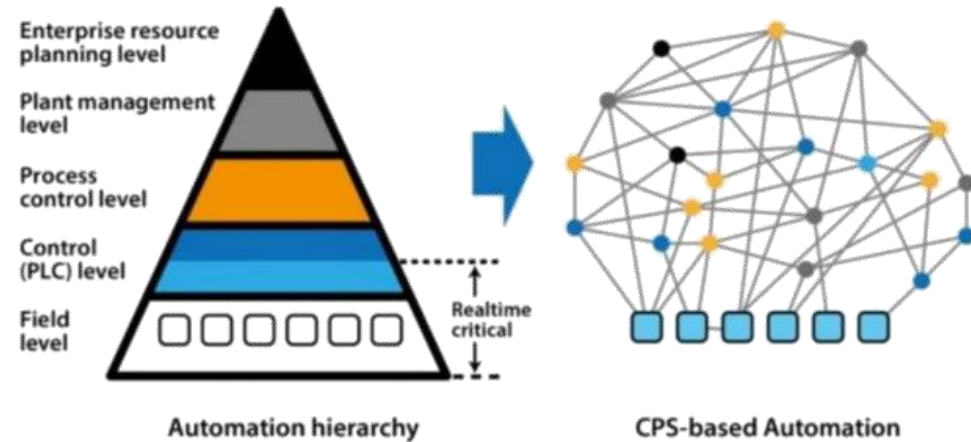


Quelques grandes thématiques de recherche autour des CPPS



Thématiques de recherche CPPS

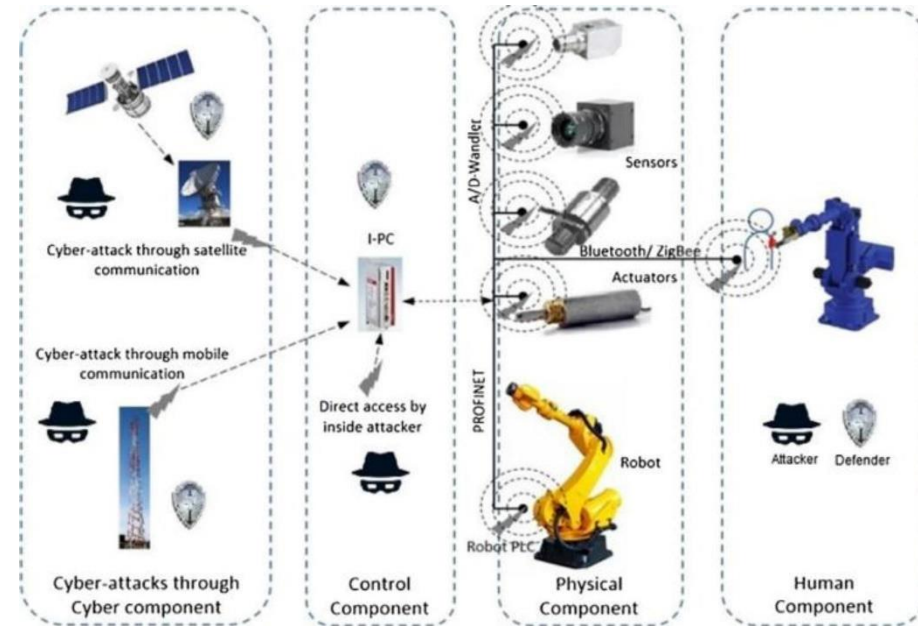
- Agilité de l'organisation
 - Reconfiguration physique et logique dynamique
- Performance de la prise de décision
 - Comportement émergent / SMA
 - Négociation / Consensus / Ordonnancement / Théorie des jeux ...?
- Preuves de comportement
 - Formelles ou par simulation



Source: E. Hozdić, Smart Factory for Industry 4.0: A Review, Int. J. Modern Manuf. Technol., 7 (1) (2015)

Thématiques de recherche CPPS

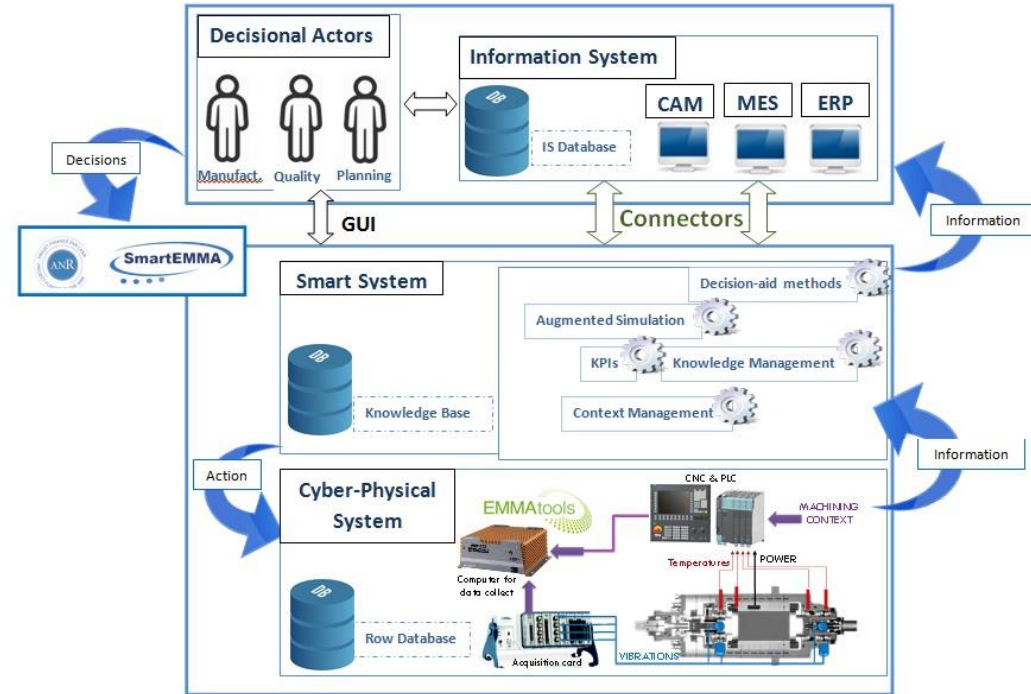
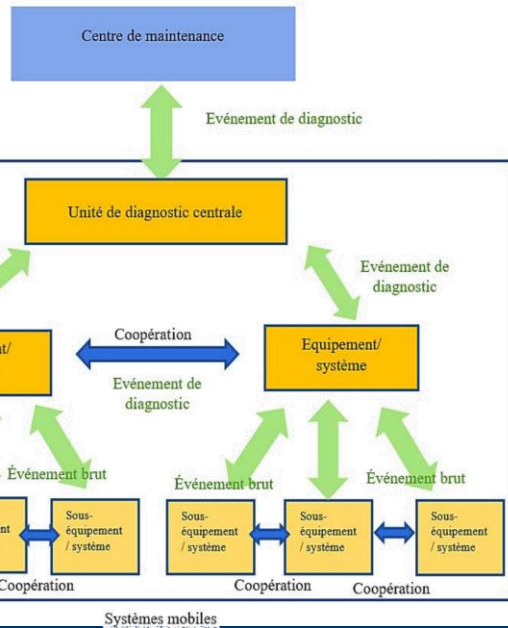
- Cloud Manufacturing
 - Manufacturing as a Service
- Cyber-sécurité
 - Nécessité de sécuriser les agents et les communications
 - Difficulté d'implémenter des détections comportementales



Source: A. Khalid, P. Kirisci, Z.H. Khan, Z. Ghrairi, K.-D. Thoben, J. Pannek, Security framework for industrial collaborative robotic cyber-physical systems, *Comput. Ind.*, 97 (2018), pp. 123-145

Thématiques de recherche CPPS

- Gestion du Big Data
 - Le CPPS transforme la donnée en connaissance avant de la diffuser
 - Première application: maintenance conditionnelle des équipements!

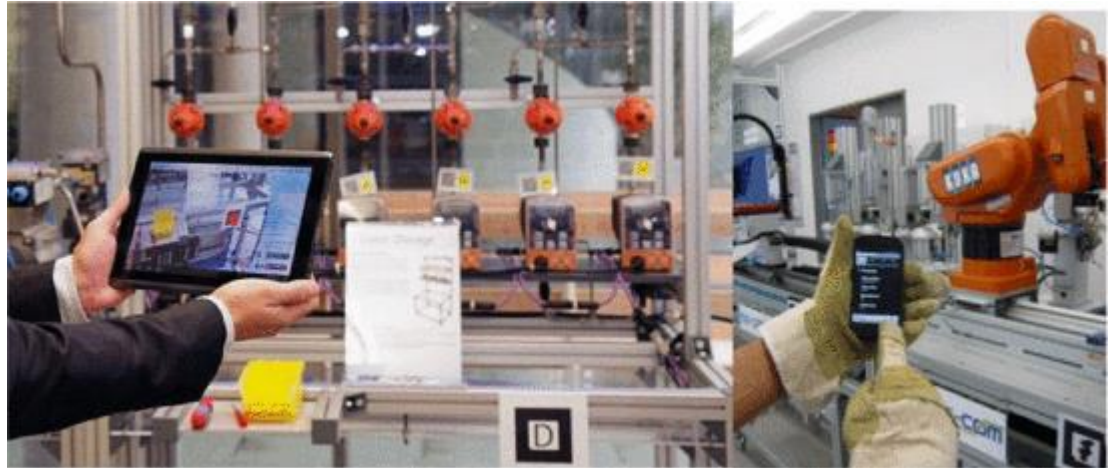


Source: Projet ANR SmartEmma - <http://smarteremma.ls2n.fr/>

Source: Ahmat Fasil Adoum. Proposition d'une architecture de surveillance holonique pour l'aide à la maintenance proactive d'une flotte de systèmes mobiles : application au domaine ferroviaire. Thèse de doctorat. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2019.

Thématiques de recherche CPPS

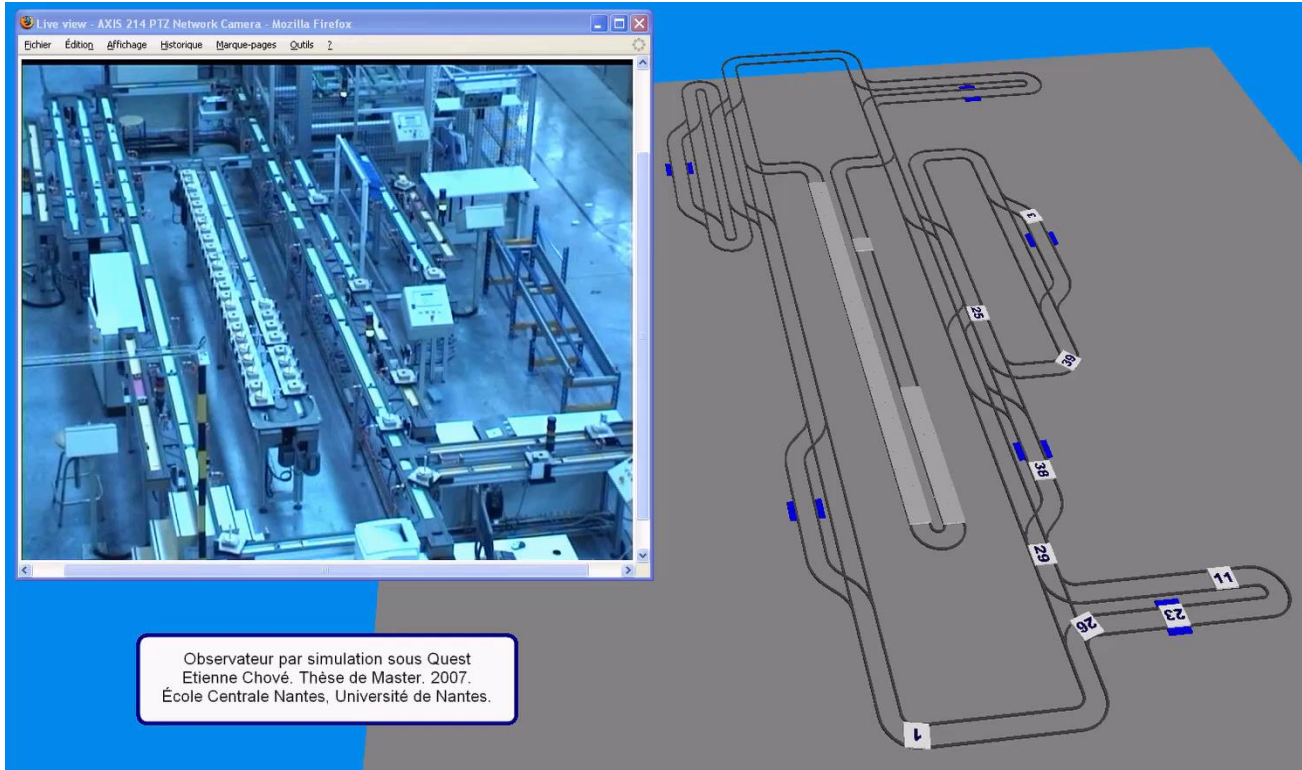
- Intégration au contexte de coopération avec l'humain
 - Au-delà de la cobotique...
 - Peut-on réellement faire coopérer un humain et un CPPS?
 - Intégration RA/RV
- Green Manufacturing
 - Connexion Smart Grid
 - Prise en compte de « green KPI »



Source: Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (pp. 289-294)

Thématiques de recherche CPPS

- Définition d'un jumeau numérique



Thématiques de recherche CPPS

- Définition d'un jumeau numérique
 - Intégration de modèles multi-physiques, économiques, de flux, etc. pour la prédiction et la reconstruction des données et état du système
 - Distribution de l'intelligence et donc des jumeaux
 - Connectivité entre les éléments et donc les jumeaux du système
 - Notion d'agrégation



Conclusion



Bilan

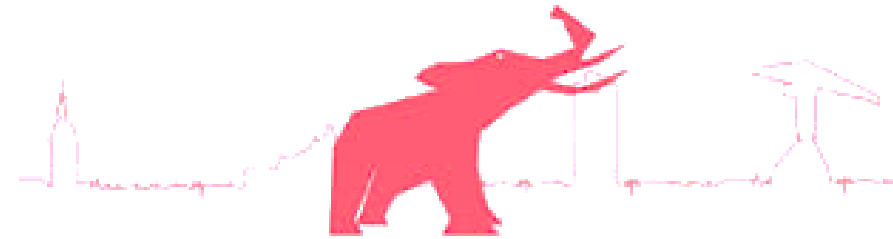
- Le concept CPS est en passe de s'imposer dans la communauté Automatique
- Le concept CPPS présente plusieurs avantages pour notre communauté:
 - Directement lié aux CPS
 - Structure la thématique et les sous-thématiques associées
 - Agrège plusieurs thèmes de recherche connexes et complémentaires
 - A un écho dans l'industrie et à l'international
- Que manque-t-il?
 - Des applications industrielles
 - Des learning factories
 - Des formations



Invitation Ecole d'hiver IMS²



- Cible: Doctorants en première année
- Durée: 3 jours
- Lieu: Nantes – Carquefou
- Langue: anglais
- Validé par les ED l'année dernière...
- Dates: du 2 au 4 décembre 2019
- Thèmes:
 - Bases d'Industrie 4.0 & Intelligent Manufacturing
 - Application sur Learning Factory
 - CPPS
 - Paradigme holonique
 - Architectures de contrôle dynamiques et systèmes reconfigurables
 - Systèmes multi-agents pour CPPS
- *Nombre de places limité, inscriptions en septembre*
- **Contact:** olivier.cardin@ls2n.fr



Les CPPS

Impact et opportunités pour l'Industrie du Futur

Olivier Cardin

Conférence semi-plénière, Vendredi 7 juin 2019



UNIVERSITÉ DE NANTES



Merci de votre attention!