

Les systèmes cyber-physiques de production

Olivier Cardin – IRCCyN, Nantes

Damien Trentesaux – LAMIH, Valenciennes

Définitions

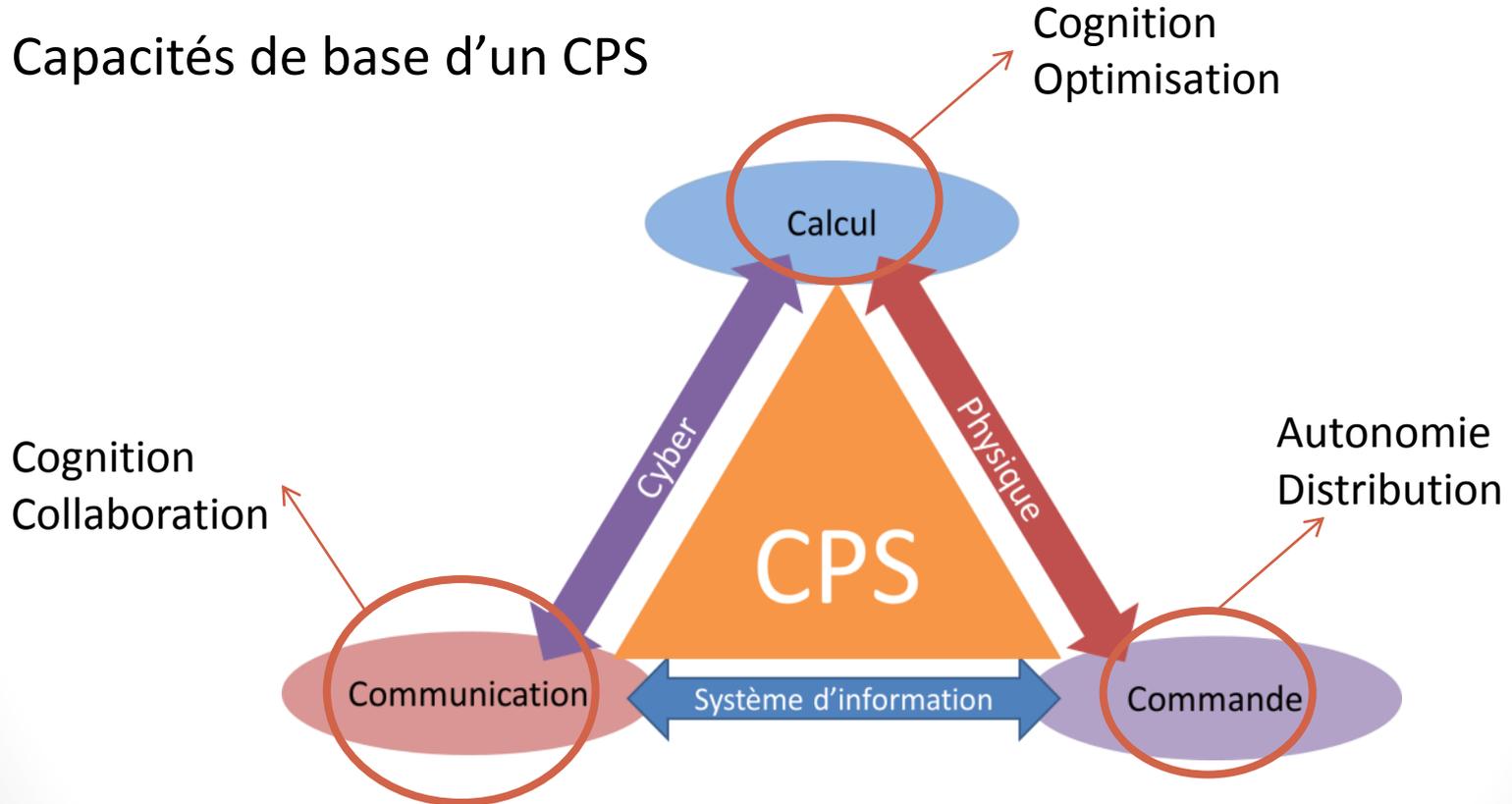
- La première définition que l'on peut trouver de systèmes cyber-physiques (CPS) date de 2006, lors de travaux avec la National Science Foundation (NSF) américaine
- *Les CPS intègrent des process physiques et computationnels. Des ordinateurs et réseaux embarqués surveillent et contrôlent les process physiques, généralement avec des boucles de rétroaction où les process physiques affectent les calculs et vice versa. En d'autres mots, les CPS utilisent des computations et de la communication profondément intégrée et interagissant avec les process physiques afin de produire de nouvelles capacités du système. Un CPS peut être considéré aussi bien à une petite échelle (e.g. pace maker) qu'à de grandes échelles (un réseau national de distribution d'énergie)*
- Lee, E.A., 2006. Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate?, in: Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems. Austin, Texas

Définitions

- Au fur et à mesure des années, les définitions se sont affinées, et désormais convergent
- *Les CPS sont des systèmes 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*
- Monostori, L., 2014. Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. Procedia CIRP, Variety Management in Manufacturing Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems 17, 9–13. doi:10.1016/j.procir.2014.03.115

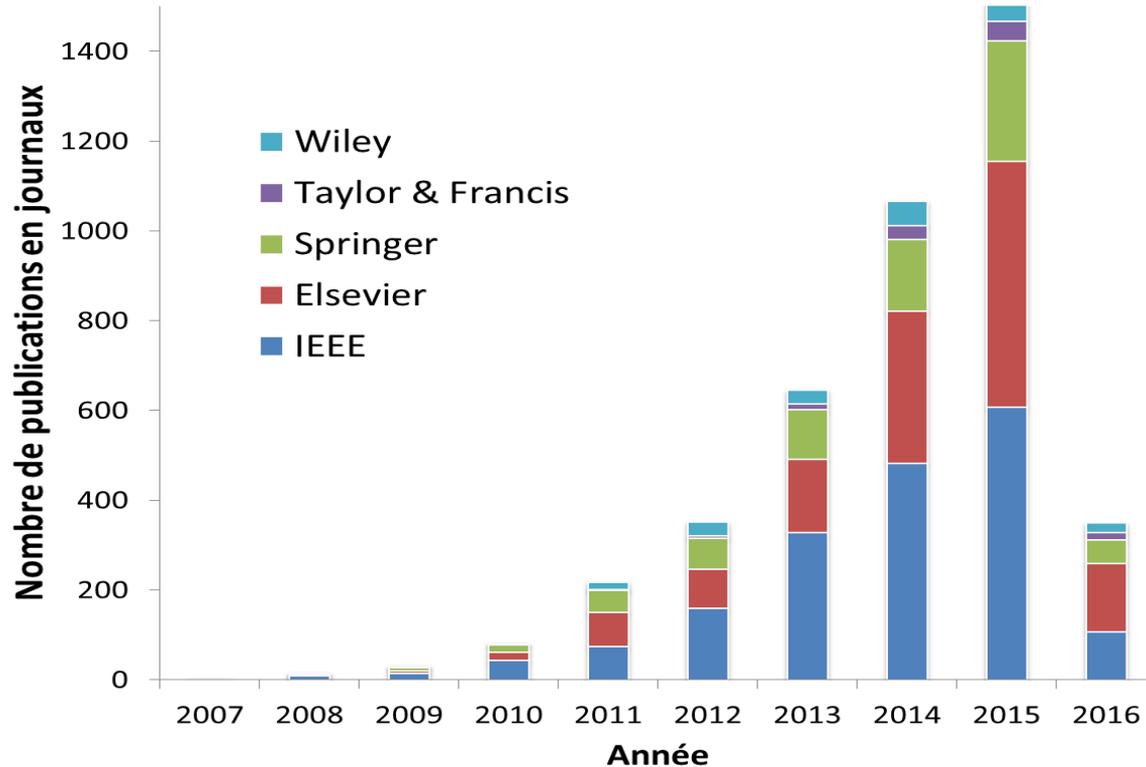
Définitions

- Capacités de base d'un CPS



Définitions

- Depuis 2006, une notion en vogue...



Caractéristiques d'un CPS

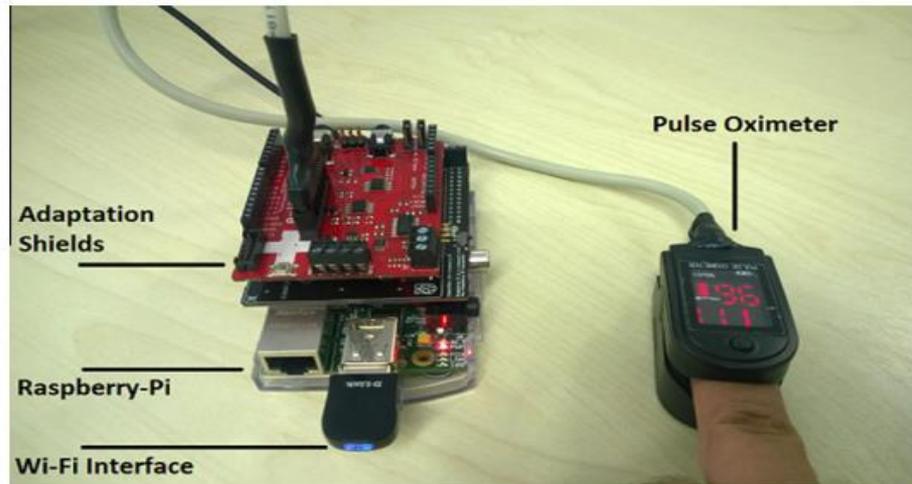
- Haut niveau **d'intégration** physique/cyber ;
 - Capacités de **traitement** dans chaque composant physique, dû au fait que les ressources en traitement et communication sont généralement limitées ;
 - Hautement **connectés**, via réseaux avec ou sans fil, Bluetooth, GSM, GPS etc. ;
 - Adapté à des échelles temporelles et spatiales multiples ;
 - Capable de **reconfiguration/réorganisation** dynamique ;
 - Hautement **automatisés**, en boucles fermées ;
 - **Fiables**, voire certifiés dans certains cas.
-
- 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 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.
- 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. doi:10.1016/j.mfglet.2014.12.001

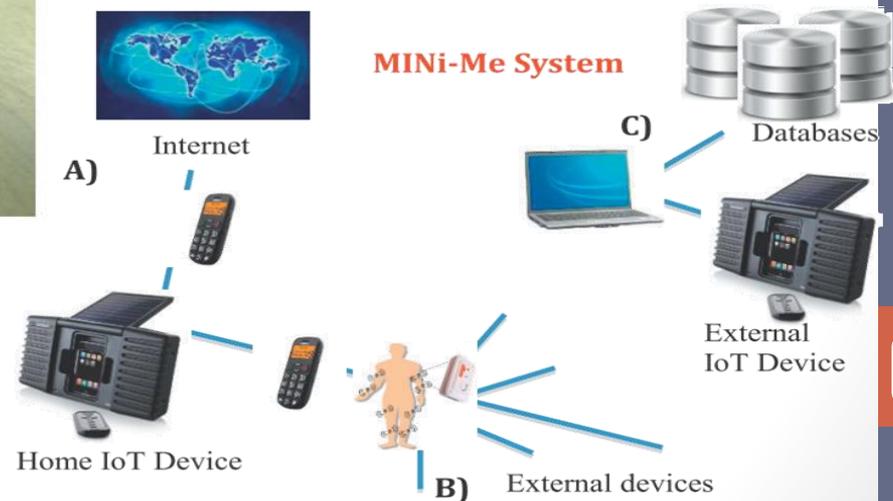
Exemples d'application

- Santé



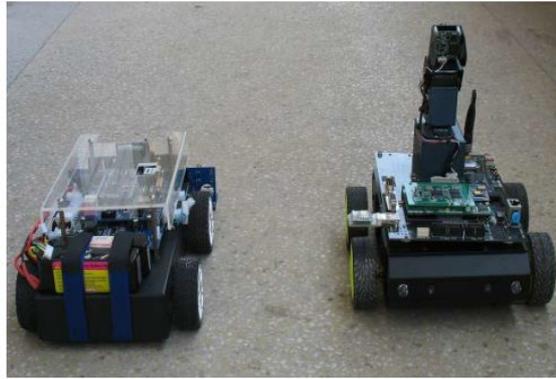
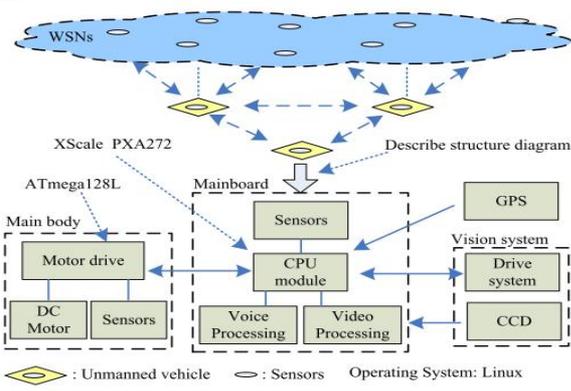
Santos, D.F., Almeida, H.O., Perkusich, A., 2015. A personal connected health system for the Internet of Things based on the Constrained Application Protocol. Computers & Electrical Engineering.

Håkansson, A., Hartung, R., 2014. An Infrastructure for Individualised and Intelligent Decision-making and Negotiation in Cyber-physical Systems. Procedia Computer Science, Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems 18th Annual Conference, KES-2014 Gdynia, Poland, September 2014 Proceedings 35, 822–831



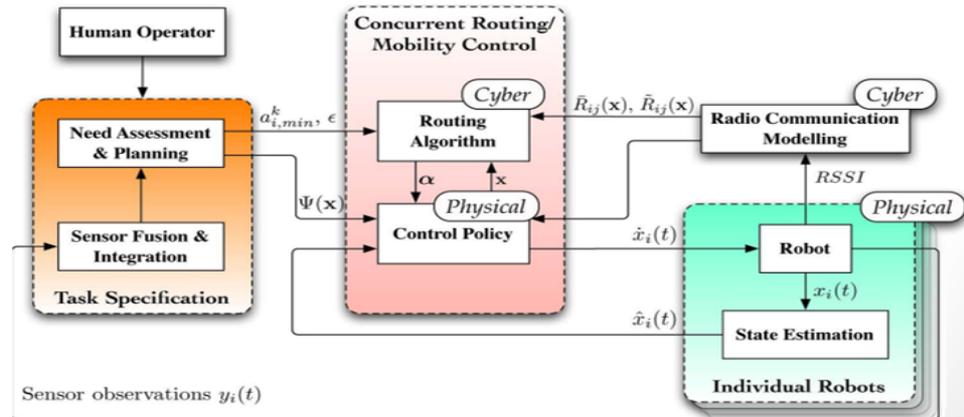
Exemples d'application

- Véhicules autonomes



Wan, J., Suo, H., Yan, H., Liu, J., 2011. A General Test Platform for Cyber-Physical Systems: Unmanned Vehicle with Wireless Sensor Network Navigation. *Procedia Engineering, International Conference on Advances in Engineering 2011 24*, 123–127

Fink, J., Ribeiro, A., Kumar, V., 2012. Robust control for mobility and wireless communication in cyber–physical systems with application to robot teams. *Proceedings of the IEEE 100*, 164–178.



Exemples d'application

- Maintenance industrielle



Bergweiler, S., 2015. Intelligent Manufacturing based on Self-Monitoring Cyber-Physical Systems, in: UBICOMM 2015. Presented at the Ninth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, Nice, France, pp. 121–126.

Thématiques de recherche CPS

- Conception
 - Ingénierie Système
- Robustesse et sécurité
 - QoS, Bruit, Cyber-attaques
- Moyens de communication
 - Haut débit, Déterministes, Sans fil, Sans énergie, Normalisés
- Business model
 - ROI
 - Servitisation
 - Confidentialité

Initiatives, Calls et AàP

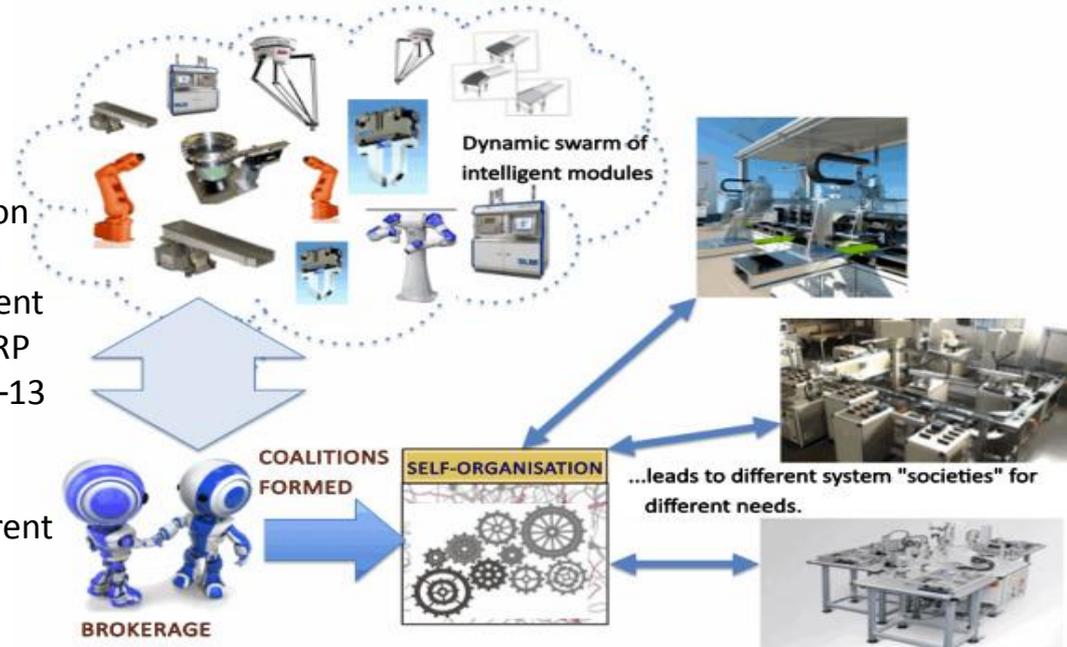
- **Intelligent Manufacturing Systems** : IMS (Union Européenne, Mexique, Afrique du Sud, USA) ;
- **Horizon 2020** : Instrument de financement d'Europe 2020 concernant les projets ayant pour objectif de sécuriser la compétitivité de l'Union Européenne ;
- **Factories of the Future** : Partenariat Public-Privé fondé à partir du 7^e programme de recherche de l'Union Européenne (FP7) comprenant environ 150 projets ;
- **Electronic Components and Systems for European Leadership** : ECSEL – Partenariat Public-Privé à destination des industries des systèmes électroniques. ;
- **EIT Digital** : EIT Digital est une organisation européenne pour l'innovation au travers d'un partenariat entre 130 entreprises, PME, start-ups, universités and instituts de recherche européens ;
- **Programme CPS** : programme soutenu par le NSF américain ;
- **Industrial Internet** : consortium IIC fondé en 2014 ;
- **Advanced Manufacturing Partnership 2.0** : 2011, USA ;
- **Industry 4.0** : groupe de travail initié en Allemagne par le KOMMUNIKATION Promoters' Group de l'Industry-Science Research Alliance (FU) fin 2011. ;
- Collaborative Research Centre 653 "**Gentelligent Components in Their Lifecycle**" : Depuis 2005, groupé en 17 sous-projets en 5 domaines de recherche, Leibniz Universität Hannover et Laser Centre Hannover (LZH Hannover).
- Et bien d'autres....

Les CPPS: Cyber-Physical Production Systems

- *Un CPPS consiste en entités et sous-systèmes autonomes et coopérants, connectés au travers d'une relation contextualisée, au sein et au travers de tous les niveaux de la production, du process aux réseaux logistiques*

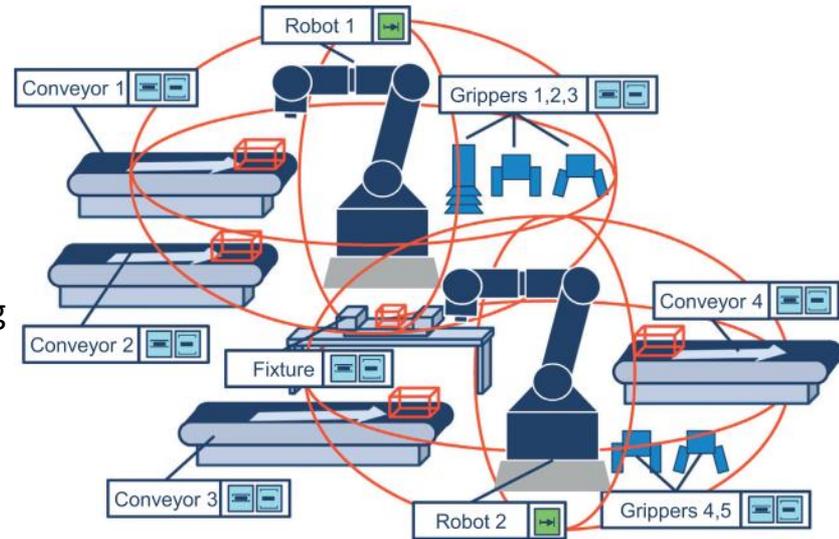
Monostori, L., 2014. Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP, Variety Management in Manufacturing Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems 17*, 9–13

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



Thématiques de recherche CPPS

- Amélioration des procédés
 - Assemblage en priorité
 - Michniewicz, J., Reinhart, G., 2015. Cyber-Physical-Robotics – Modelling of modular robot cells for automated planning and execution of assembly tasks. Mechatronics.
- Gestion du Big Data
 - EmmaTools...
- Intégration au contexte de coopération avec l'humain
 - CPPS guidé par l'humain?
 - Humain guidé par le CPPS?



Thématiques de recherche CPPS

- Agilité des organisations
 - Localement
 - Planification, contrôle, surveillance
 - Supply Chain
 - Coordination des approvisionnements, réduction des km parcourus
 - Production collaborative multi-entreprise
 - FP7 IMC-AESOP: objectif aux alentours de 2025 pour une généralisation des outils de production collaborative
 - FP7 ARUM: Standardisation

Calls internationaux

- Les feuilles de route internationales plaident unanimement pour le développement de CPPS, mais sur des aspects quelquefois différents
 - Europe, USA, France, Italie, Allemagne

Axes Feuille de route	Technologie		Développement durable		Agilité		
	<i>Cyber- sécurité</i>	<i>Process avancés</i>	<i>Humain & Société</i>	<i>Durabilité</i>	<i>Interopérabilité / collaboration</i>	<i>Enterprise en réseau</i>	<i>Modèle d'information</i>
EU		X	X	X	X	X	
NIST	X			X	X		X
ANR	X	X			X	X	X
PNR		X	X	X			
ActionPlanT		X	X	X	X	X	

Projets internationaux

- Quelques exemples:

- Axe 1: Technologie

- Axe 2: Développement durable

- Axe 3: Agilité

Acronyme	Date	Axe			Éléments de contexte
		1	2	3	
IADP	2011	X			Amélioration de la phase de conception de systèmes automatisés
ISMA	2011	X			Matériaux durables connectés avec capteurs embarqués
MANUELA	2012	X			Systèmes de production hautement efficaces en ressources
SuPLIGHT	2011		X		Écoconception globalisée
DiFAC	2012		X		Environnement de production collaboratif
IProSPER	2015		X		Production économe en énergie et durable
INET	2011			X	Réseaux de production non hiérarchiques
NGMS	2011			X	Usine digitale
ADDFACTOR	2013			X	Conception centralisée basée sur les connaissances et production locale distribuée

- Mais aussi:

- FP7 IMC AESOP: SoA en industrie

- FP7 ARUM: Standardisation des interfaces

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 holoniques
 - Les architectures HMS sont bien adaptées pour concevoir l'environnement d'évolution des CPPS
 - Une intégration vers le cloud tend à émerger
- Systèmes multi-agents
 - Les MAS deviennent des outils efficaces de simulation en ligne du comportement émergent
- Produits intelligents
 - L'intégration verticale sur une phase du cycle de vie du produit induite par l'utilisation de CPPS entre en complément de l'activité horizontale des produits intelligents tout au long du cycle de vie.

Et finalement...

- Les CPPS ne sont-ils pas les systèmes que nous traitons depuis 10 ans dans IMS²?
- Nos thématiques et problématiques ne sont-elles pas pleinement CPPS?
- Les CPPS sont plus que cela: procédé, communication, cloud, algorithmique, réactivité, conception, interopérabilité, reconfigurabilité, ne sont que quelques-uns des mots-clés abordés par les CPPS
- N'y aurait-il pas un intérêt à adopter cette sémantique à l'international?

Merci de votre attention

Les systèmes cyber-physiques de production

Olivier Cardin – IRCCyN, Nantes

Damien Trentesaux – LAMIH, Valenciennes