

Document Principal

Acronyme du projet	Industrie 4.0 (saison 2)
Titre du projet en français	Performance industrielle dans un contexte d'industrie 4.0 (saison 2)
Titre du projet en anglais	Industrial Performance in the context of Industry 4.0 (Release n°2)
Porteur du projet	Nom, Prénom : Tollenaere, Michel Coordonnées : Grenoble INP - Génie industriel, 46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex1 michel.tollenaere@grenoble-inp.fr , 06 88 40 21 15

Table des matières

Résumé du projet	3
Description du projet	4
Contexte et analyse des besoins.....	4
Modules pédagogiques proposés	5
Bilan des modules 2018	7
Foresight and Strategy	7
Smart Analytics for Big Data	7
Management de la Cyber-Sécurité des systèmes industriels	9
Réalité virtuelle et augmentée.....	10
Supply chain management - Alignement système d'information / système physique	12
Digital economy: product, industry and markets	14
Nouveaux modules 2019 - 2020	16
Industrialisation d'un atelier 4.0	16
Gestion dynamique des connaissances et des compétences en contexte industriel 4.X (0 & h).....	19
Case Studies in Inventory, Warehouses, Logistic and transportation optimisation	21
Economic Trends driven by sustainability in industrial engineering	23
Techniques de modélisation et d'analyse de sûreté des systèmes cyber-physiques.....	26
Accompagnement pédagogique de la plateforme « Operations management »	27
Références générales	28
Mise en œuvre du projet.....	29
Consortium.....	29
CV du porteur de projet	30
Planification du projet.....	31
Suivi et pilotage.....	31
Budget saison 2 - Année 1	32
Synthèse du budget	32
Pérennisation et essaimage	33
Annexe 1 : Personnel impliqué (saison 2 seulement)	34

Résumé du projet

Les pratiques industrielles connaissent de rapides évolutions connues chez les praticiens sous l'acronyme d'**industrie 4.0**. Le développement des moyens de communication et de transport conduit à des marchés globalisés et mondiaux aussi bien au niveau du sourcing que des clients. Les offres produits et services sont personnalisées aux besoins des clients. La production se doit d'être eco-responsable au niveau des ressources mobilisées comme au niveau des organisations sociétales et économiques. Des technologies innovantes au niveau numérique (algorithmes, IHM, réalité virtuelle,..) comme au niveau des procédés (fabrication additive, UGV, formage, capteurs, ...) et des technologies de mesure (photogrammétrie, laser, logiciels de traitement..) sont mobilisées. Enfin, ce nouvel environnement (usage de la réalité augmentée, cobotique, modèles de décision, entrepreneurship) voit émerger de nouveaux talents. La question de la gestion des connaissances et des compétences dans l'industrie 4.0 est bien évidemment un vecteur clef de performance.

Le site de Grenoble Génie industriel est reconnu à la pointe en Europe en ce domaine. Ce projet, porté par Grenoble INP Génie industriel, vise à maintenir ce leadership et à accompagner les développements. Il consiste en le développement de modules de formation en français ou en anglais à destination des écoles d'ingénieurs (Génie Industriel, E3, ENSIMAG, Polytech) et des masters francophones (Génie industriel, génie mécanique,) et internationaux (Master SIE). Ce projet est en totale cohérence avec la politique de l'AIP Primeca Dauphiné Savoie (aspect équipement et services) et le projet Plan Etat-Région A2I (Ateliers Intelligents de l'Industrie) du site Viallet (composante logistique immobilière).

Après une première tranche de 6 modules déposés (et acceptés) au call 2017 de l>IDEX, le présent projet vise à développer 6 nouveaux modules, attestant du dynamisme de la communauté grenobloise en ce domaine. Avec une très forte implication des composantes Grenoble INP génie industriel et UGA Polytech, appuyées par la plateforme technologique AIP Primeca (maintenant S.Mart), ce projet permettra d'enrichir encore l'offre de formation du site pour l'Industrie du Futur.

Description du projet

Contexte et analyse des besoins

Un ensemble de technologies nouvelles, issues en grande partie du numérique (big data, réalité virtuelle ou augmentée, intelligence artificielle et algorithmes, cloud et réseau internet, etc.), mais aussi des sciences physiques (fabrication additive, cobotique, nouveaux matériaux, etc.) et des sciences de la vie (biotechnologies, neurosciences, etc.) vont permettre au monde industriel dans les années de vivre une nouvelle révolution industrielle. Souvent appelée « industrie du futur » ou « industrie 4.0 », cette révolution à venir concerne tous les domaines de l'ingénierie et du management industriels : conception des produits, chaîne de valeur, processus de production, industrialisation, modes de vente. Les modèles de développement des entreprises vont s'en trouver bouleversés. **En conception de produits**, il conviendra de répondre à une demande plus individualisée, de fournir des produits interconnectés entre eux (et au système productif), de fournir des services et des expériences à forte valeur-client plutôt que des biens. **La chaîne de valeur** sera elle aussi bouleversée par l'émergence d'usines et d'entrepôts intelligents interconnectés, permettant de suivre très à l'amont le processus de production de chaque produit individualisé. La ré-intermédiation des interfaces entre les maillons de la chaîne de valeur permettra l'insertion de « global players » issus du numérique qui imposeront des nouveaux standards, captureront une part importante de la valeur et contrôleront le big data. Le **travail industriel**, c'est-à-dire l'activité de production elle-même, va se trouver profondément renouvelé. Les interfaces homme-machine seront au cœur des enjeux, comme l'opérateur augmenté et la multiplication des artefacts. Les processus d'industrialisation se feront plus complexes et nécessiteront de nouvelles formes de gestion des connaissances et des savoir-faire. Le changement dans les processus sera permanent, appelant de nouveaux types de liens entre l'exploration et l'exploitation.

Le génie industriel – *industrial engineering and management* – est au cœur de cette nouvelle révolution industrielle, comme il a été au cœur des révolutions industrielles antérieures : la seconde (taylorisme et *scientific management*) et la troisième (toyotisme et *lean manufacturing*). Même si les compétences de base du génie industriel resteront les mêmes, voire se trouveront renforcées, de nouvelles compétences vont devoir être définies avec les partenaires industriels, puis enseignées à nos élèves selon des modalités pédagogiques en grande partie renouvelées.

C'est à définir quelques-unes des nouvelles compétences et de leurs modalités d'enseignement qu'est consacré ce projet pédagogique IDEX. Il fédère donc des projets qui peuvent en apparence apparaître hétérogènes, mais qui peu à peu prendront la forme d'un ensemble intégré d'enseignement du génie industriel du futur.

Le site de Grenoble est reconnu à la pointe en Europe en génie industriel. Ce projet, porté par Grenoble INP Génie industriel, vise à maintenir ce leadership et à accompagner les développements. Pratiquement il se présente sous la forme de modules de formation, en français ou en anglais, à destination des écoles d'ingénieurs (Génie Industriel, E3, ENSIMAG,

Polytech), des masters francophones (Génie industriel, génie mécanique,) et internationaux (Master SIE). Ce projet est en totale cohérence avec la politique de l'AIP Primeca Dauphiné Savoie (aspect équipement et services) et avec le projet Plan Etat-Région A2I (Ateliers Intelligents de l'Industrie) du site Viallet (rénovation des bâtiments, des plateformes technologiques, des outils pédagogiques, des liens à la recherche et de l'accueil des partenaires industriels).

Ce projet IDEX consiste à mettre en place les éléments constitutifs des formations d'ingénieurs et maîtres génie industriel à l'horizon 2025. Notre vision de l'industrie du futur se décline selon 5 axes:

1. des marchés possiblement globalisés et mondiaux aussi bien au niveau du sourcing que des clients.
2. des offres produits et services customisées aux besoins des clients
3. une production "sustainable" au niveau des ressources mobilisées comme au niveau des organisations sociétales et économiques.
4. des technologies innovantes au niveau numérique (algorithmes, IHM, réalité virtuelle,...) comme au niveau des procédés (fabrication additive, UGV, formage, capteurs,....)
5. la place et la contribution des femmes et des hommes dans ce nouvel environnement (Usage de la réalité augmentée, Cobotique, modèles de décision, entrepreneurship).

La thématique de l'Industrie 4.0 intéresse bien évidemment la formation initiale des Masters et ingénieurs, mais également la formation au long de la vie et la formation professionnelle au sein des entreprises.

Modules pédagogiques proposés

Ce projet propose de développer et de déployer à l'horizon 2020 une dizaine de modules de formation de format unifié (50h) accessibles aux différentes formations du site. Six modules ont été proposés dans un précédent projet IDEX 2017. La première année (2018) sera consacrée à la conception et au développement de ces 6 modules afin d'accueillir à la rentrée de septembre 2018 des étudiants pour prototyper la formation : les étudiants de Master 2 SIE seront particulièrement ciblés. Ces premières sessions feront l'objet de retours d'expérience instrumentés afin de déployer une version améliorée en septembre 2019, permettant ainsi l'évaluation finale des modules en 2020. Les différentes phases d'avancement de ce projet feront l'objet de présentation et de débat sous forme de journées de séminaires auxquelles seront étroitement associés le club et le cercle des industriels de Grenoble INP Génie industriel.

Les six premiers modules ont fourni une ossature et permettent de développer d'autres modules, objet du présent appel d'offres. Un bilan des modules 2018 est présenté ci-dessous.

- ❑ Foresight and Strategy (axe 1) Bernard Ruffieux, Sabrina Teyssier Grenoble INP Génie Industriel et GAEL / INRA

- ❑ Smart Analytics for Big Data (axe 5) Iragael Joly, Pierre Lemaire, Grenoble INP GI, Christine Collet, Christophe Bobineau Grenoble INP ENSIMAG
- ❑ Management de la Cybersécurité pour l'Industrie (axe 3) Grenoble INP GI / E3 / Polytech, Jean Marie Flaus, Eric Zamaï, Franck Sicard
- ❑ Réalité virtuelle et augmentée (axe 4) Frédéric Noel, Romain Pinquié
- ❑ Supply chain management. Alignement système d'information / système physique (axe 5) Gulgun Alpan, Lilia Gzara, Michel Tollenaere, Grenoble INP Génie Industriel
- ❑ Digital economy: product, industry and markets (axe 2) Iragael Joly, Lilia Gzara, Oliwia Kurtyka, Marie Anne Le Dain, Grenoble INP Génie Industriel

Le présent projet IDEX 2019 propose 5 modules additionnels + un accompagnement de plateforme impactant 6 à 7 UE :

- ❑ Industrialisation d'un atelier 4.0
- ❑ Knowledge based skills improvement in the context 4.H
- ❑ Case studies in inventory, warehouse, logistic and transportation optimisation
- ❑ Economic Trends driven by sustainability in industrial engineering
- ❑ Techniques de modélisation et d'analyse de sûreté des systèmes cyber-physiques
- ❑ Accompagnement pédagogique de la plateforme « Operations Management ».

Au delà des modules cités, deux actions sont proposées afin pérenniser l'ancrage industriel et international de nos formations :

- L'organisation d'un séminaire interdisciplinaire et industriel sur le site de Grenoble sur la formation autour de l'industrie 4.0. En effet, la thématique touche l'ensemble des formations d'ingénierie du site depuis le niveau L jusqu'au niveau D. l'école de GI possède l'expertise et le réseau (club des industriels) pour organiser ce type d'actions.
- Sur le plan international, nous souhaitons exploiter ces modules dans le cadre de nos doubles diplômes internationaux et notamment avec nos partenaires du réseau CLUSTER. En effet, l'école propose des doubles diplômes (DD) avec des partenaires prestigieux en Allemagne Karlsruhe Institute of Technology, KIT, Italie avec Politecnico de Turin, Espagne Universidad Politécnica de Madrid et Suède Linkoping University. Ce projet renforcera l'attractivité de ces doubles diplômes en permettant des parcours internationaux inscrits dans la thématique Industrie 4.0 dès la première année.

Bilan des modules 2018

Nous présentons ici un bilan des actions entreprises en 2018 en réponse à l'appel IDEX 2017.

Foresight and Strategy

Contributeurs :

Bernard Ruffieux, PR Grenoble INP Génie industriel, Sabrina Teyssier, Chargée de recherches INRA

Le cours « Foresight and Strategy » a été prototypé dès 2018 avec un groupe d'étudiants. Voici le témoignage du responsable du cours :

Le cours s'est magnifiquement passé : j'y ai pris beaucoup de plaisir ! J'étais avec Sabrina Tessier de l'INRA.

Cette année, je travaille avec Laurent Rannaz et je prends pour acquis que nous avons deux fois les heures de cet enseignement (source IDEX pour le second) pour redesigner ce cours.

La maquette s'est avérée robuste et pertinente. Trois parties :

- 1. les produits de l'industrie du futur (personnalisation, interconnexion, servicisation, intelligence);*
- 2. les chaînes de valeur de l'industrie du futur (plateformes multifaces, usine élargie, GAFA);*
- 3. la production et le travail humain dans l'industrie du futur (robotique, production 3D, nouvelles formes de travail, exosquelettes, réalité augmentée, etc.).*

Les étudiants ont beaucoup travaillé, en groupes. Chaque groupe : (i) a approfondi un secteur industriel et deux entreprises de ce secteur dans une perspective 4.0 ; (ii) a suivi un produit dans sa métamorphose depuis la seconde révolution industrielle jusqu'au 4.0 ; (iii) a présenté un acteur clé (GAFA et autres) du 4.0 ; (iv) a présenté l'impact attendu d'une technologie du futur ; (v) a présenté un point d'histoire d'une révolution industrielle antérieure.

L'enseignement des profs portait sur l'analyse stratégique et l'avantage concurrentiel, la prospective et ses horizons temporels, l'analyse de l'environnement de l'entreprise, la mise en cohérence des produits, de la chaîne de valeur et de la production pour soutenir un avantage concurrentiel dans le contexte de l'industrie du futur.

Smart Analytics for Big Data

Contributeurs

Iragaël Joly, MCF HDR, Grenoble INP Génie industriel, Pierre Lemaire, MCF, Grenoble INP Génie industriel, Christine Collet, PR, Grenoble INP ENSIMAG, Christophe Bobineau, MCF, Grenoble INP ENSIMAG, David Larquet, Camptocamp SA

Rappel des objectifs

Les pratiques industrielles du futur auront un recours accru au traitement des informations et des données. Les nouveaux outils de communication, les outils d'observation et de mesure (capteurs embarqués, caméras, smart-phones,...), le développement de la digitalisation soutiennent la croissance accrue de la masse de données à capter, stocker, organiser, sécuriser,

consulter et analyser. Ces nouvelles données se caractérisent par leur volume, leur variété et leur vélocité.

Ce module propose de présenter les méthodes et outils 1) de gestion des grandes masses de données dynamiques ; 2) de traitement de deux des aspects complexes des big data industrielles : les données spatiales et les données temporelles.

Réalisations

Ces 6 premiers mois ont permis de mettre en place le design d'un cours couvrant l'ensemble des éléments de la supply-chain des données : de la collecte des données, leur stockage et leur organisation, leur gestion, leur exploitation et analyse et enfin leur communication. De plus, le flux de données continu nécessite la mise en place de méthodes d'exploitation, d'analyse et de communication des données, à la fois transparentes, répétables et reproductibles. La production de connaissance à partir des données sera structurée 'à rebours' en partant de l'expression du besoin d'outils d'aide à la décision.

Ainsi quatre sections seront construites autour des enjeux suivants, chacune partant de l'identification des besoins standards pour présenter un panorama des fonctions et outils les plus adaptés.

- 1) De la gestion des Big-Data : Les méthodes de collecte et de stockage de données aborderont les infrastructures et plateformes adaptées à la grande masse de données, aux questions d'agilité, de traçabilité des outils et de mise à jour des données.
- 2) De l'exploitation des données complexes à grandes dimensions (notamment caractérisées par un grand nombre de variables de natures différentes, potentiellement structurées entre elles, et/ou latentes) : Les méthodes principales d'exploitation issues du machine learning seront présentées pour répondre par exemple au besoin de segmentation, de classification et de validation.
- 3) De l'exploitation des données complexes à dimension temporelle (notamment les durées avant apparition d'évènements, tels que les défaillances de process, les actes d'achat de consommateurs, les livraisons d'un transporteur,...) : Les méthodes d'analyse de survie se concentreront sur l'analyse des dynamiques temporelles et leur modélisation (modèles à hasards proportionnels, modèles à hasards concurrents) et sur l'analyse des déterminants de l'apparition d'évènements d'intérêt.
- 4) De la représentation, la visualisation et la communication des résultats issus de l'exploitation de grandes masses de données : une attention particulière sera donnée à l'analyse du besoin et la définition d'outils d'aide à la décision. Les grandes masses de données à dimension temporelle ou à dimension spatiale nécessitent des outils de représentations adaptées et accessibles au décideur commanditaire. Ainsi, les systèmes d'informations géographiques seront présentés couplés aux méthodes d'analyse de données. La reproductibilité de l'analyse sera construite par des outils intégrant l'ensemble des étapes de la supply-chain des données ou suffisamment flexibles pour coordonner les outils nécessaires le long de cette chaîne.

Trois études de cas sont à construire pour le démarrage en 2019 :

- 1) Gestion de grandes masses de données : une étude de cas sera construite à partir de la plateforme de collecte et stockage de données construite dans le projet d'optimisation de smart-grids d'Enedis
- 2) Exploitation de données complexes : La production de semi-conducteurs chez ST microelectronics génère un grand nombre d'informations issues des tests des matériels et machines de production. L'exploration de ces données permet l'identification de goulot d'étranglement sur la chaîne de production et une meilleure prédiction des temps de cycles machine.
- 3) Exploitation de données complexes dont des dimensions temporelles et spatiales : l'étude des déplacements quotidiens en zones urbaines intègre à la fois la description précise des individus, leurs ménages et leurs pratiques de mobilité dans l'espace et le temps. L'étude des comportements de mobilité sera mise en perspective avec les durées de déplacements, et les caractéristiques spatiales des déplacements.

Management de la Cyber-Sécurité des systèmes industriels

Contributeurs : Jean Marie FLAUS, professeur UGA

Cette première période a permis de mettre en place un module de cours introductif (8) et une étude de cas (8h). Ceux-ci ont été expérimentés à Polytech en année 4.

Un module d'étude de cas en entreprise a été planifiée pour l'année prochaine en année 5. Les projets seront mis en place en partenariat avec des entreprises locales recevant un groupe d'étudiants. Les séances à l'emploi du temps ont lieu en novembre et janvier (4 x 4h).

Le syllabus du cours proposé est le suivant :

Module de cours 8h

1. Notions de base : cybersécurité cyber attaques, risque
2. Management des risques des systèmes d'information industriels
3. Méthodes d'analyse de risques
4. Analyse de vulnérabilité
5. Mesures de prévention pour la sécurisation d'un système

Étude de cas : Mini brasserie avec site web de commercialisation 8h

1. Analyse de l'installation
2. Mise en œuvre de la méthode d'analyse de risque
3. Evaluation et hiérarchisation des risques
4. Elaboration de mesures de prévention
5. Premières étapes du système de management

Le retour des étudiants est enthousiaste. Une demande de mise en pratique a été formulée. C'est la raison pour laquelle le module « Etude en entreprise » en année 5 a été prévu.

Réalité virtuelle et augmentée

Rédacteur : Frederic NOEL, professeur Grenoble INP

Nous faisons état ici des actions pour organiser un module orienté réalité virtuelle/réalité augmentée pour l'industrie 4.0. Le module s'appuie sur les ressources de la plateforme VISION-R du laboratoire G-SCOP, développée dans le cadre de l'infrastructure européenne de Recherche VISIONAIR.

L'enjeu est d'intégrer dans les processus de formation autour de la plateforme VISION-R des technologies de réalité virtuelle et de réalité augmentée. Ces technologies arrivent à un niveau de maturité qui laisse envisager leur déploiement dans des processus professionnels. Pour autant les outils professionnels manquent pour que ce déploiement soit en partie généralisé. Seuls quelques grands donneurs d'ordre peuvent installer des processus métier récurrents pour de l'inspection d'assemblage, des études de style sur maquette virtuelle, des études ergonomiques, de la formation au poste de travail, de l'aide à la prise de décision collaborative, le suivi de production, etc.. L'impact économique devient sensible et mesurable. L'impact humain est aussi un point majeur : acceptation des technologies, cybersickness, problèmes éthiques, etc. Enfin il y a évidemment un enjeu de maîtrise des technologies. Ces outils apparaissent comme un des instruments du développement de l'industrie 4.0.

Il paraît évident que la génération d'étudiants qui vient sera la génération qui déploiera ces technologies dont la maturité est en cours d'affirmation. L'objectif du module est de fournir des outils pour connaître et imaginer les déploiements futurs.

Les activités de recherche dans le domaine conduisent la plupart du temps au développement de démonstrateurs ou preuves de concepts rarement fonctionnels. Comme les usages industriels demeurent peu développés, il convient donc pour former des étudiants de développer et de mettre à disposition des processus répétables à minima dans des sessions de TP. Ces processus instrumentés par des outils de RV ou de RA doivent présenter les technologies, illustrer des usages crédibles, et en démontrer les limites.

En 2018, le projet s'est concentré sur le développement de tels processus :

- développement d'un outil de formation à des postes de travail en usine. Le dispositif utilise des lunettes see-through (Hololens) pour aider des opérateurs à réviser des instructions de travail par superposition de ces instructions sur le système réel. Le même système est aussi déployé sur tablette tactile pour étudier les différences entre modalités.



poste de travail réel



poste de travail virtualisé



Reproduction du poste de travail sur la plateforme avec instructions d'assemblage superposées en réalité augmentée.

Il est à noter que le dispositif technique devrait faire l'objet d'un projet industriel finalisé par des étudiants de l'ENSE³ encadrés par l'équipe de la plateforme VISION-R pour instrumenter des présentations de produits sur des salons commerciaux (printemps 2018).

Développement d'un outil de collaboration pour la prise de décision en production autour du « jumeau numérique » d'une usine.



Plateforme de navigation dans un « jumeau numérique » d'une usine

Ces outils sont développés en partie via des projets de recherche et nous travaillons en parallèle à les stabiliser et les simplifier pour un module de formation.

Suite de ce projet : ces éléments acquis, nous planifions avec Romain Pinquié, maître de conférences recruté en 2018 à Grenoble-INP sur cette thématique, de finaliser un programme de module complet (6 ECTS) qui sera dispensé en 3^{ème} année à Grenoble-INP génie industriel dès la rentrée 2019. C'est dans cette période que des acquisitions de matériels (Hololens ou équivalent, et HMD) seront envisagés. Pour le moment, nous nous appuyons sur des ressources laboratoires. Les technologies évoluant très rapidement, nous souhaitons retarder autant que faire se peut des achats pour que les périphériques acquis puissent être conservés sur les premières années du module.

Supply chain management - Alignement système d'information / système physique

Rédacteur : Gulgun ALPAN, assistant professor Grenoble INP

Une chaîne logistique (*Supply Chain*) est un système d'organisations, de personnes, d'activités, d'informations et de ressources impliquées dans l'élaboration et la livraison d'un produit ou d'un service du fournisseur au client. Les activités de la chaîne logistique impliquent la transformation des ressources naturelles, des matières premières et des composants en un produit fini livré au client final. La gestion de la chaîne logistique (*Supply Chain Management -SCM*) a comme objectif de piloter les matériaux, l'information et les finances au fur et à mesure qu'ils se déplacent dans un processus allant du fournisseur au client final en passant par le fabricant, le centre de distribution et le détaillant. Les trois principaux flux de la chaîne d'approvisionnement sont le flux de produits, le flux d'informations et les flux financiers. SCM implique la coordination et l'intégration de ces flux à la fois au sein et entre les entreprises. Dans le cadre de ce projet, nous nous intéresserons au flux de produits et au flux d'information et leur alignement.

Rappel des objectifs

Dans ce module, nous avons pour but de développer de nouveaux supports pédagogiques sur le thème de « *supply chain management* » et de « *l'alignement de systèmes physiques et informationnels* ». Pour ce faire, nous avons proposé de créer des jeux sérieux, d'une part pour tester et expérimenter des organisations et de nombreuses politiques de gestion des chaînes logistiques (partie I du projet), et d'autre part pour intégrer le système d'information dans le système physique (partie II du projet).

Réalisations jusqu'à présent

Durant les 6 premiers mois du projet IDEX, nous avons travaillé sur la partie I. Les tâches réalisées et en cours sont décrites ci-dessous :

1. Le produit est choisi (cf. Figure 1.a) et la structure de la supply chain est décrite (cf. Figure 1.b)
2. Les différents scénarios qui peuvent être expérimentés avec le jeu sont identifiés (cf. Figure 2). Les modules marqués en bleu foncé sont développés. Il s'agit de générer des

données cohérentes pour la réalisation du jeu (demandes clients, ordre de fabrication, estimation de temps de fabrication, équilibrage de la ligne,...) et la préparation des supports physiques (nomenclature produit, découpage en composant – ici en Lego®, modes opératoires pour chaque poste de travail (en papier), ...

3. Un premier test du jeu a été réalisé (le 6 juillet). Les corrections à apporter sont répertoriées. (cf. Photo 1 et 2 pour quelques exemples)

Nous avons prévu de faire ces corrections d'ici fin Septembre 2018 et mettre en usage le jeu dans le cours de 3A « Tactical and operational supply chain management ».

Nous travaillerons sur la partie II du projet à partir d'automne 2018.



Figure 1.a : Le jeu simule le système de production d'un constructeur de camion.

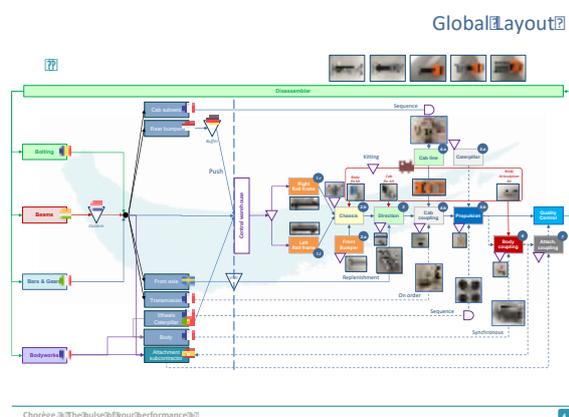


Figure 1.b : La structure de la supply chain

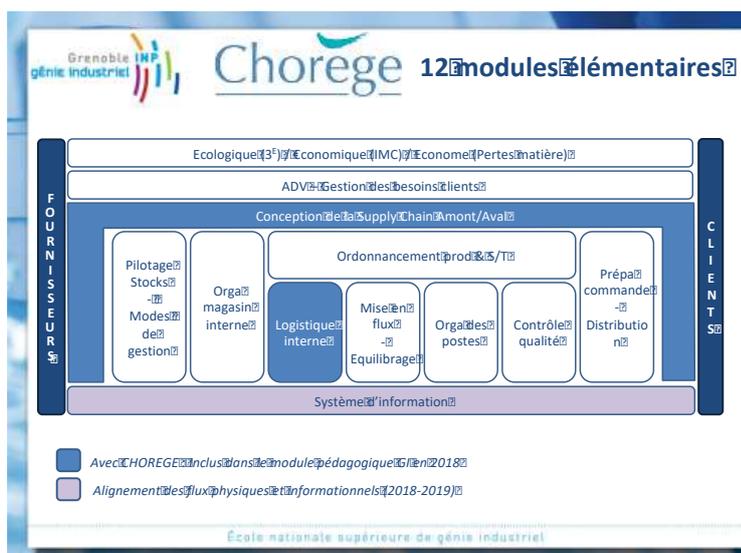
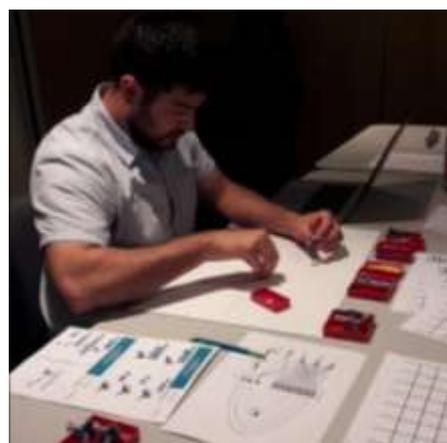


Figure 2 : Différentes notions que l'on peut enseigner avec le jeu pédagogique en construction



Poste de travail pour le fournisseur des cabines. Vérification de la nomenclature pour 6 différents types de cabines de camion



Exemple d'un poste de travail. On teste le temps de fabrication et la clarté des instructions (mode opératoire du poste)

Digital economy: product, industry and markets

Iragaël Joly, MCF HDR, Grenoble INP Génie industriel, **Marie Anne LeDain**, MCF HDR, Grenoble INP Génie industriel, **Oliwia Kurtika**, MCF, Grenoble INP Génie industriel, **Lilia Gzara**, MCF HDR, Grenoble INP Génie Industriel

Rappel des objectifs

La digitalisation transforme de nombreux marchés et soutient l'émergence de nouveaux marchés. De nouvelles pratiques industrielles voient le jour dans les entreprises, mais aussi tout au long des acteurs de la supply-chain. L'objectif de ce cours est de proposer une vision globale

des transformations dues à la digitalisation, tant au niveau de la gestion de production, de l'organisation de la supply-chain, ou des pratiques de conception collaborative, qu'au niveau de la mise sur le marché (tarification et design de marché pour le e-commerce, les plateformes multilatérales,...), de la relation client (servitisation, produit service, produits digitaux, IoT,...). En conséquence, le cours proposé sera pluridisciplinaire.

Réalisation

Le premier semestre de projet a permis de développer certains éléments d'enseignements (sur les plateformes multilatérales, sur les produits digitaux) qui seront intégrés dans les enseignements d'économie de masters et de 3^{ème} année du cursus ingénieur (industrial economics for IE et advanced economics for IE).

Dans le cadre du CRCT de Marie-Anne Le Dain à Queensland University of Technology, un premier travail a été mené avec pour clarifier les rôles possibles des technologies digitales dans l'innovation. Ce travail a donné une publication acceptée à la conférence internationale ANZAM 2018 (Australian & New Zealand Academy of Management).

Les chantiers sont

- D'établir un partenariat à l'international avec une université partenaire de Grenoble INP Génie industriel (Eindhoven, Montréal) en vue de pérenniser un échange d'interventions d'enseignants-chercheurs internationaux sur les thématiques centrales du cours : management des Systèmes d'Information, opportunités et applications industrielles de l'impression 3D, digital factory, two-sided platform,...). Ces interventions auront pour objectif soit d'enrichir les thématiques déjà adressées par les enseignants-chercheurs de Grenoble INP, soit d'apporter des connaissances nouvelles et complémentaires.
- De définir des cas d'études en partenariat avec des acteurs industriels partenaires de l'école. Par exemple, pour les produits digitaux : les bornes de lectures (short-edition) pour la digitalisation de l'usine (Schneider) : le cas de constructeur automobile, (Renault) etc.

Nouveaux modules 2019 - 2020

Industrialisation d'un atelier 4.0

1. Equipe pédagogique

Céline Cholez, Sociologie, Associate Professor, Grenoble INP Génie industriel
Fabien Mangione, Gestion industrielle, Associate Professor, Grenoble INP Génie industriel

Marie Laure Perenon, Mécanique, Professeure agrégée, Grenoble INP Génie industriel

Eric Blanco, Mécanique, Associate Professor, Grenoble INP Génie industriel

Pierre Chevrier, Professeur associé, Grenoble INP Génie industriel

2. Problématique du cours :

L'industrie 4.0 est annoncée comme une véritable révolution des systèmes de production tant sur le plan technique qu'organisationnel. Au-delà de l'automatisation, les machines communicantes et de nouvelles technologies de fabrication pourraient venir profondément modifier le travail en repensant l'articulation entre automatismes et travail humain, en questionnant les modes d'apprentissages et les formes d'engagement individuel et collectif, la gestion des incertitudes et des risques. C'est en phase de conception de l'atelier lui-même que ces nouveaux enjeux doivent être traités, dans une perspective de conciliation d'objectifs de performance économique, de respect des attentes du client mais également de durabilité tant sur le plan environnemental que sociale. Ce cours vise donc à faire évoluer les méthodes d'industrialisation dans le contexte du 4.0.

Que faut-il prendre en compte dans un projet d'industrialisation en 4.0 dans des objectifs de performances industrielle, économique, environnementale et sociale ? Le cours explorera en particulier les problématiques liées à l'intégration d'innovations technologiques, ainsi que la répartition entre opérations humaines et automatisées ainsi que les types d'organisation de pilotage et d'apprentissage (suivi, résolution de problèmes, apprentissage organisationnel) requis.

3. Préalables :

- Le cours s'appuiera d'une part sur des phases de conception/simulation dans le cadre d'un jeu de rôle et d'autre part sur des visites/études sur site en partenariat avec des entreprises lancées dans le 4.0 (à définir) et avec lesquelles nous sommes en contact.
- Les objectifs fondamentaux du cours sont maintenus : il ne s'agit pas de développer de la technologie pour la technologie mais bien de trouver des solutions pertinentes conciliant des objectifs de performances industrielle, économique, environnementale et sociale.
- Un certain nombre d'investissements en développement et matériels pourront être appuyés par des projets Région : achat de tablettes + informaticien pour développer un type de MES paramétrable facilement.

- Les contenus de ce cours évolueront en fonction des innovations techniques et organisationnelles, le cours a une forte vocation expérimentale. Il d'agit d'expérimenter des innovations dans le domaine de l'industrialisation et d'en identifier les effets en termes techniques et organisationnels.
- Mise en garde : intégrer les technologies pas à pas pour éviter que des problèmes techniques en conception absorbent toute l'énergie et invisibilisent les problèmes racines.

4. Thématiques abordées en phase conception/simulation :

1. **Intégration de nouvelles technologies communicantes et apprenantes en atelier**

Une phase de cours amènera les étudiants à prendre connaissance des évolutions récentes et les pistes de recherches à court/moyen terme.

Dans le cadre du jeu de rôle, les étudiants devront identifier les types de technologies pertinentes et cerner leurs limites, conditions d'usage tout en répondant pour leur conception aux types de gaps suivants :

- gap 1 : risques de rigidité dans la production assistée

→ Guidage des opérations informatisé avec points bloquants : lors des écarts entre le mode opératoire et l'assemblage réel, que se passe-t-il si le mode opératoire informatisé est bloquant ? (par exemple impossible de passer à l'étape suivante, de contourner...).

- gap 2 : quelles nouvelles opportunités dans le design des postes de travail :

→ Comment concevoir une forte modularité des postes ?

→ Répartition des tâches en cobotique : robot qui amène les pièces au fur et à mesure des opérations (systèmes d'approvisionnements au poste automatisés) ? robot qui réalise une partie des opérations ? Co-action humain/robot.

→ exosquelettes : aides à la manutention et aux opérations pénibles.

- gap 3 : système productif apprenant

→ Gestion de production intelligente pour éviter les goulets d'étranglement ? paramétrage mais aussi enjeux de visibilité pour l'humain des informations échangées entre les machines.

→ Transfert vers le système technique de la synchronisation des rythmes de production, approvisionnement.

→ Postes intelligents : analyses des erreurs récurrentes et conseils aux opérateurs.

- gap 4 : transformations dans la maintenance : préventif, curatif

→ Des systèmes qui se corrigent eux-mêmes, planification de la maintenance, des machines qui se mettent en arrêt elles-mêmes : limites et organisation à mettre en place ?

2. Pilotage de l'activité de production en cours de réalisation

Les étudiants devront également concevoir les outils de pilotage intelligents de leur atelier. Les évolutions technologiques ouvrent également de nouvelles perspectives en termes de management des systèmes de production.

- **gap 1 : suivre, analyser, corriger**

→ Que permet vraiment le double (jumeau) numérique consiste à piloter une usine à distance à partir de la comparaison entre l'usine physique et son clone en 3D : calcul d'indicateurs en temps réels avec des puces ou des capteurs qui rapprochent le réel du théorique et simulations théoriques et analyse de l'écart.

→ Apprentissage intelligent : comment les actions correctives sont transformées en actions préventives par le système --> comment le système gère à la fois la résolution de problème immédiat et la qualité ? différence entre méta-apprentissage et apprentissage situé, pérennisation ?

- **gap 2 : le client dans l'usine**

→ Suivi de production dans un contexte à la commande : diversification en temps réel de références produites sur le poste en lien avec les infos clients

→ Vigilance collective : regard "client" comment la soutenir dans des systèmes automatisés ?

- **gap 3 : relations entre services dans un contexte d'information**

→ Comment s'assurer que les différents services accèdent techniquement et cognitivement à l'information ? la traitent ?

→ Quelles nouvelles interdépendances socio-techniques créées par l'évolution du pilotage des processus commande/achats/fabrication/logistique ? Une transparence totale est-elle souhaitable ? Quelles barrières organisationnelles et professionnelles peuvent apparaître ?

Cette liste de problématique n'est pas exhaustive. En parallèle du jeu de rôle conception/simulation les étudiants réaliseront en groupe une étude de terrain sur site industriel parmi nos partenaires. Ces études nourriront la réflexion pédagogique.

Gestion dynamique des connaissances et des compétences en contexte industriel 4.X (0 & h)

1. Equipe pédagogique

Stéphane HUBAC, Manufacturing Science Fellow at ST Microelectronics, lecturer at Polytech Grenoble and at Grenoble INP Genie industriel

Michel TOLLENAERE, Professeur Grenoble INP Génie industriel

Odile JOUSSELIN : Directrice de la société « lagence2developpement »- Meylan.

2. Problématique du cours :

Dans un environnement industriel et technologique de type 4.0, la gestion dynamique des **compétences** (Figure 1), c'est-à-dire la capacité à gérer dynamiquement aux niveaux individuel mais aussi collectif la connaissance, le savoir-faire et les ressources (techniques et humaines) se complexifie.

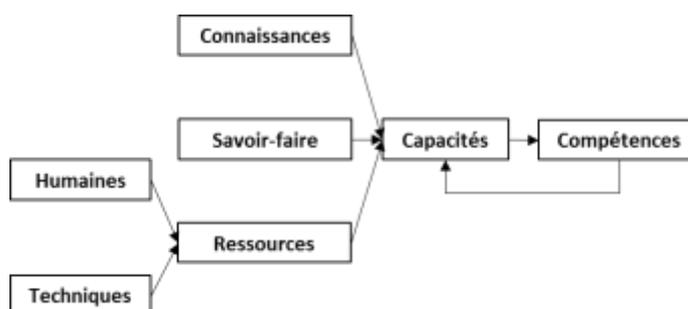


Figure 1 : Définition de la compétence (Tarondeau, 2002)

En effet, lorsque **la fonction** des produits technologiques évolue, la fonction des ressources techniques (outils, environnement de production, ...) qui permettent de réaliser ces produits est aussi impactée et, par conséquent, la fonction des ressources humaines qui gèrent, conçoivent ou exécutent les actions nécessaires à l'obtention de résultats opérationnels « durables ». Cette dispersion fonctionnelle génère une évolution constante du savoir-faire, de la connaissance des actions à réaliser par les produits et/ou les ressources techniques et/ou humaines, qui demande comme le précise l'évolution récente des normes qualité (IATF), une maîtrise des risques associés à des phénomènes d'éclatement plus ou moins locaux de compétences qui sont à l'origine d'effets de décohérence systémique mesurables par ; la non maîtrise de la variabilité des résultats industriels, la qualité des produits livrés, ou par un effritement des compétences humaines de l'entreprise.

Ce cours propose de présenter au travers de cas d'études opérationnels, les fondations épistémiques ainsi que les méthodes et nouveaux outils de gestion des connaissances et des compétences permettant d'accompagner ces changements en cohérence avec les critères et méthodes qualité auxquels doivent répondre les entreprises évoluant en contexte de type 4.0. Il présente pourquoi et comment utiliser des dernières avancées théoriques dans le domaine de la gestion innovante (Théorie CK) et les nouveaux outils de gestion dynamique des compétences associés (C-K FMEA) pour, à partir du terreau méthodologique et symptomatique existant,

gérer les transformations fonctionnelles locales et globales. Ce cours s'adresse à tous les acteurs opérationnels (Fonctions de Management, d'ingénierie, de recherche, de production ou de support) dont les processus de gestion, de conception et de réalisation associé au « comment » (Figure 2), se trouvent constamment modifiés. En effet, le « comment » si important pour prévenir les risques et pérenniser les améliorations incrémentales ou disruptives par la gestion dynamique de la compétence, est dépendante de l'évolution rapide des besoins et des attentes des parties intéressées (Clients internes ou externes à l'entreprise), c'est-à-dire des évolutions du « pourquoi » et des actions à réaliser, liées à la connaissance du « quoi » pour chaque type de fonction d'un système industriel.

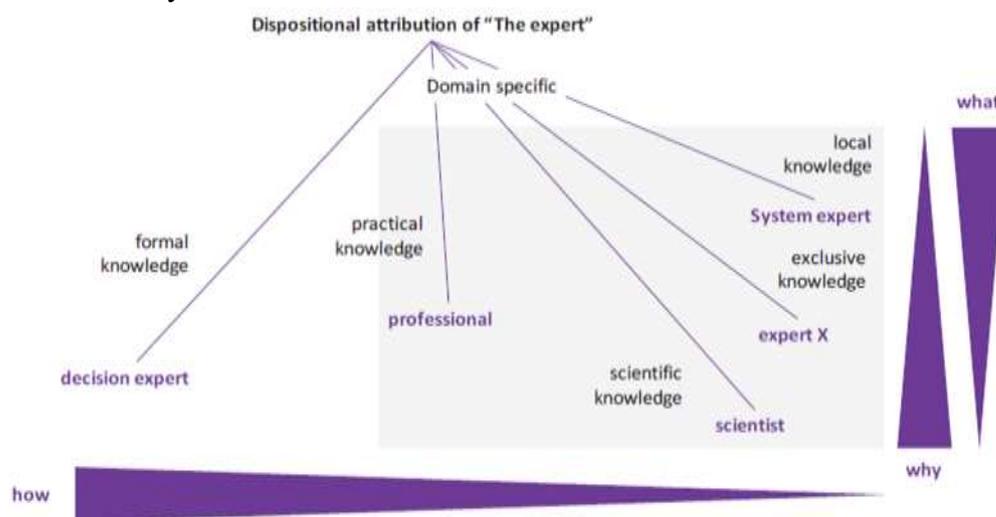


Figure 2 : Lien entre le Quoi (What), le Pourquoi (Why) et le Comment (How) lors de l'évolution d'une expertise (Compétence) (Mieg, 2001 et Cabanes 2017).

Cette formation s'appuie sur une dizaine d'années de travaux de recherche conduits conjointement par ST Microélectronique, G-SCOP et Mines Paris Tech, recherches qui ont permis de développer un outil (C-K FMEA) permettant la gestion conjointe des risques opérationnels et des compétences. Les cas d'application présentés dans ce cours couvrent les domaines de la conception de processus produit, de la maîtrise des équipements et des procédés et proviennent du secteur de la microélectronique qui est déjà soumis à un contexte très évolutif de technologies nouvelles de type 4.0 (85% d'après les critères The McKinsey 4.0 Digital Compass) et où la performance de l'entreprise s'appuie nécessairement sur les compétences de ses acteurs. Le site de Crolles 300, site industriel de pointe en Europe servira souvent de fil rouge expérimental.

3. Thématiques abordées dans le cours :

- a) Principes épistémiques liant connaissance, compétence et maîtrise des risques fonctionnels dans les systèmes industriels de type 4.0.
- b) Présentation de la théorie C-K et de ces apports en terme de gestion des liens entre organisation et déploiement des missions opérationnelles tout en préservant et/ou

réorganisant les connaissances et compétences en contexte industriel évolutif et/ou innovant de type 4.0.

- c) Présentation et utilisation de l’outil C-K FMEA, de ces apports et de son application, dans le cadre de la gestion dynamique des connaissances et compétences en contexte industriels évolutifs et/ou innovant de type 4.0.
- d) Application des concepts et outils présentés au travers de :
 - Présentations sous formes de cours inversés (30%).
 - Cas d’études pratiques dans les domaines de la conception de produits, de procédures, de processus et de la diffusion dynamiques de savoir-faire.

4. Quelques références académiques des auteurs

➤ **Ouvrages de référence:**

- Mines Paris Tech Design Theory – Methods and organization for innovation. P. Le Masson, B. Weil, A.Hatchuel. Ed Springer 2017.

➤ **ST Thèses CIFRE:**

- Cabanes, B. (2017). Modéliser l’émergence de l’expertise et sa gouvernance dans les entreprises innovantes : des communautés aux sociétés proto-épistémiques d’experts Doctoral dissertation, MINES ParisTech – PSL Research University. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01565628/document>
 - Thesis Prize winner FNEGE Barometer management concerns <http://www.fnege.org/nos-prix/prix-de-these>. May 23rd in Paris.
- Ben Said. A (2016). Gestion dynamique des connaissances de maintenance pour des environnements de production de haute technologie à fort mix produit. Laboratoire G-SCOP (Laboratoire des Sciences pour la Conception, l’Optimisation et la Production de Grenoble - UMR5272)- UGA Université de Grenoble Alpes.
- Shahzad M. K (2012) Exploitation dynamique des données de production pour améliorer les méthodes DFM dans l’industrie Microélectronique. Laboratoire G-SCOP (Laboratoire des Sciences pour la Conception, l’Optimisation et la Production de Grenoble - UMR5272)- UGA (Université de Grenoble Alpes).
- Mili. A (2009) Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque. Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d’une unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs. Laboratoire G-SCOP (Laboratoire des Sciences pour la Conception, l’Optimisation et la Production de Grenoble - UMR5272)- UGA (Université de Grenoble Alpes).

➤ **Publications**

- Cabanes B., Hubac S., Le Masson P., Weil B. (2016), From FMEA as a problem solving method to a design-oriented process: toward a design perspective of FMEA. *International_Design_Conference 2016. Outstanding contribution paper Recognition*
- Anis Ben Said, Muhammad Kashif Shahzad, Éric Zamaï, S. Hubac, Michel Tollenaere. Experts' Knowledge Renewal and Maintenance Actions Effectiveness in High-Mix Low-Volume Industries, Using Bayesian Approach, *Cognition, Technology and Work, Springer Verlag, 2015, pp.20*
- Aymen Mili, Samuel Bassetto, Ali Siadat, Michel Tollenaere. Risks management unveils productivity improvements *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Elsevier, 2009, 22 (1), pp.25-34*

Case Studies in Inventory, Warehouses, Logistic and transportation optimisation

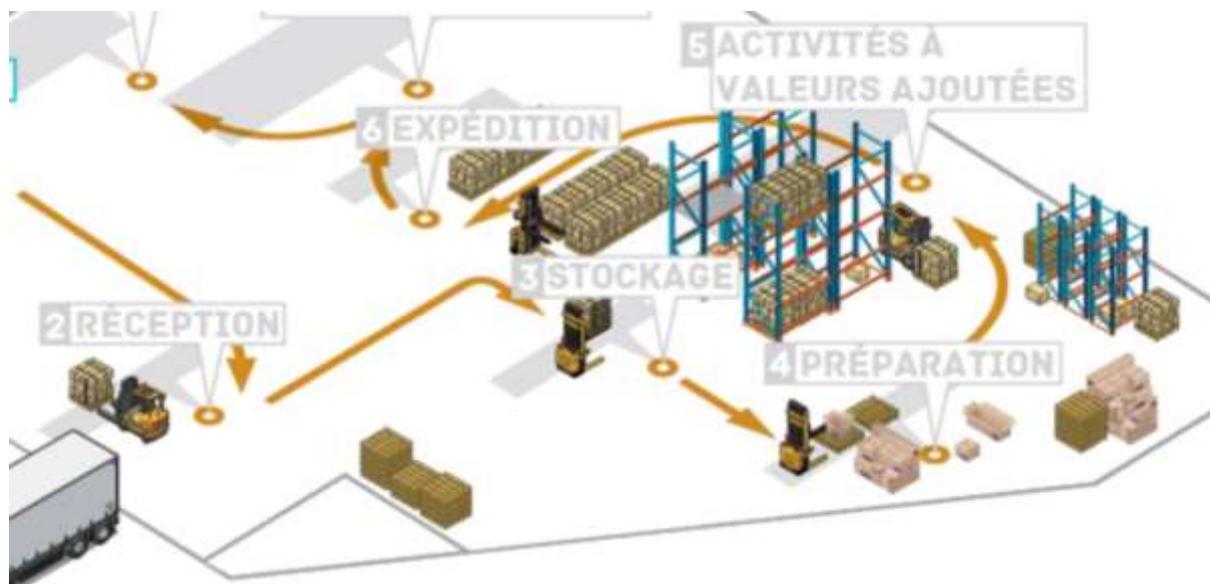
Van-Dat CUNG, PR, laboratoire G-SCOP, Grenoble INP Génie industriel
Gülgün ALPAN, MCF, laboratoire G-SCOP, Grenoble INP Génie industriel
Fabien MANGIONE, MCF, MCF, laboratoire G-SCOP, Grenoble INP Génie industriel

Avec la mondialisation, la Logistique et son pendant Transport sont devenus deux éléments clés dans la compétitivité des entreprises. D’une part, en B2B, les entreprises

localisant leurs usines de production dans les pays à bas coût de main d'œuvre, mais elles doivent néanmoins distribuer leurs produits finis aux clients situés souvent loin des usines. D'autre part, la stratégie de production juste à temps communément déployée aujourd'hui tend à réduire au maximum les coûts de stocks au détriment de ceux du transport. Par ailleurs, l'avènement du e/m-commerce en B2C avec des exigences toujours croissantes de livraison en termes de qualités de services (délai, coût, gestion des retours, etc.) ont poussé les entreprises à proposer des solutions logistiques performantes pour répondre à la demande des clients (entrepôts d'Amazon, drives des enseignes de la grande distribution).

Toutefois, si les différents éléments des chaînes logistiques bien définis et connus, comme la localisation des entrepôts, la conception d'un réseau de service de transport ainsi que les opérations intra-logistiques d'un entrepôt. En pratique, la mise en place d'une **chaîne logistique performante** nécessite une connaissance détaillée de l'entreprise quant à son **modèle d'affaire**, son **secteur d'activité**, ses **produits**, ses **fournisseurs**, ses **clients**, ses **commandes** (client et fournisseurs), son **organisation**, etc.

L'objectif de cette partie du projet est de **développer 3 à 5 études de cas autour** d'un élément essentiel des chaînes logistiques : la **plateforme logistique** (*logistics hub* en anglais). En effet, une plateforme logistique peut être vue comme une « usine » qui réalisent les **5 grandes familles d'opérations** suivantes : **réception de produits, gestion de l'entreposage, préparation des commandes, avec ou sans opérations à valeur ajoutée, expéditions des colis.**



Source : Pôle d'Intelligence Logistique (Pil'es) <http://www.pole-intelligence-logistique.fr/>

Ces études de cas devront permettre aux étudiants d'appréhender les organisations des plateformes logistiques majeures représentatives d'**au moins 3 grands secteurs d'activités comme la production industrielle, l'e/m-commerce et la grande distribution**. Les étudiants auront à modéliser les organisations existantes, définir les mesures de performance, évaluer les organisations, et proposer des pistes d'amélioration. Dans ces études, les étudiants auront à considérer non seulement le **contexte d'activité de la plateforme au sein de l'entreprise**, mais également les **moyens techniques** (étagères, transpalettes, etc.) et **technologiques existants ou**

futurs (systèmes d'information, drones, systèmes de préparation de commandes visuels ou audio assistés, etc.).

La construction de ces études de cas sera **réalisée au travers des recherches bibliographiques et de études de terrain** sous forme de stages ou de prestations de la Junior entreprise Imagine Conseil avec le soutien du Pôle d'Intelligence Logistique (Pil'es) qui compte plus de 80 entreprises adhérents en dans le domaine de la logistique. Ces études de terrain nous permettront d'**identifier et de caractériser les formes d'organisation des plateformes logistiques**.

Le déploiement de ces études de cas peut faire l'objet d'un cours spécifique de l'école de Génie Industriel en 2^{ème} ou 3^{ème} année ingénieur et/ou Master (GI, SIE) en utilisant les moyens de la future plateforme A2I (Ateliers Intelligents de l'Industrie). Une autre possibilité serait de déployer ces études de cas dans des cours existants de l'école comme :

- UE Recherche opérationnelle pour la logistique - 4GUL0205
- UE Gestion de la chaîne logistique - 4GUL0705
- UE Methods in Tactical and Operational Supply Chain Management - 5GUC2004
- UE Logistique de transport et recherche opérationnelle - WGULOGI9
- UE Production and Operations Management - WGUS1044

Economic Trends driven by sustainability in industrial engineering

Contributeurs :

Oliwia Kurtyka, MCF, laboratoire GAEL, Grenoble INP Génie industriel

Iragaël Joly, MCF, laboratoire GAEL, Grenoble INP Génie industriel

Van Dat Cung, Professeur, laboratoire G-Scop, Grenoble INP Génie industriel

Growing global demand and increased consumption together with climate change issues represent a huge challenge for sustainable manufacturing. Industry 4.0 creates opportunities for environmental problems caused by globalization. Sharing economy coupled with digital economy propose solutions to these problems that will shape the future. New technologies like autonomous cars, smart grids and online market places further change the consumption patterns and the way firm create value in chains. The objective of this course is to understand in what way the industry 4.0 contributes to the realization of sustainability.

This IDEX module aims at developing a new educational program on the theme of sustainability. As far as methodological innovation is concerned, new tools will be designed within the framework of this IDEX project. First, the project proposes to introduce applied research methods in teaching. We propose to integrate production and financial data analysis in teaching. In this way identification of strategies of companies will be complemented by a new source information and allow students to become an active player in the learning process. Second, the project aims at constructing case studies of selected sectors with help of industrial partners (steel , paper industry, and energy sector for investment issues).

The class will study:**Specific Objective: Knowledge and Skills:**

This course aims to give students a knowledge and understanding of environmental problems and ways to solve them, both in theory and in practice. The course also aims to develop knowledge and understanding of the different theoretical approaches to the problems of politics and public affairs relating to the sustainability. It also aims to develop a range of skills for the critical use of this understanding.

General Objective:

By participating in and fully engaging in this module, students should be able to engage in abstract thinking by relating potentially connected problems and putting them into an array of complex systems. The student must be able to propose several alternatives for problem solving and decision making. Students should be able to engage in critical thinking to improve problem solving and decision-making skills. They should be able to plan and manage their time effectively with respect to deadlines, while displaying individual initiative and business. Students must perform individual and team work assignments and act effectively in a group environment demonstrating leadership and team-building qualities. Students must be able to demonstrate a logical argument and be able to collect and analyze available data on environmental issues and to evaluate alternative measures on the basis of objective reasoning. Students should be able to communicate and present complex arguments in oral and written form with clarity and brevity.

Form:

Lectures and project participation with data analysis.

Course content**1) Introduction to the economy of the environment**

The state of the environment The IPCC report and the Stern report. The logic of the economy of the environment - the market failures. Taxes and permits in the absence of emission reduction activities. Key Concepts: Externalities, Coase Theorem, Pigou Taxation, Negotiable Permit System, Direct Regulation.

Coase R. (1960), The problem of social cost, *Journal of Law and Economics* 3, 1-44

Hahn R. (1984), Market power and transferable property rights, *Quart. Jour. Of Econ.* 99, 753-765

Buchanan J.M. (1969), External diseconomies, corrective taxes, and market structure, *Amer. Econ. Rev.* 59 174-177.

D. Lee (1975), Efficiency of Pollution Taxation and Market Structure, *J. Environ. Econ. Manag.* 2 69-72.

2) How to evaluate environmental value

Contingent valuation, travel cost analysis, hedonic pricing

3) The green energy industry and its deployment, smart grids

L'Europe réinvente l'énergie verte, *Industrie et Technologie*, février 2013, n° 951

Ana Yabar Sterling et al. (Eds) *Market instruments and sustainable economy*, Instituto de Estudios Fiscales, 2012

Case studies on subsidies for R & D, green pricing in several European countries - successful and unsuccessful cases

4) Environmental policy in the transport sector

Environmental damage caused by transportation, road environment pricing, taxation, autonomous cars, car sharing models, energy efficiency regulation, gasoline quality, vehicle standards, urban planning, scrappage, directive on biofuels, lessons learned.

4.1) sustainable urban mobility and passenger inter-urban mobility

4.2) Sustainable freight transportation system

Sternier, Policy instruments for environmental and natural resource management, RFF, 2003, chapters 19-22

Harrington, 1997, Fuel economy and motor vehicle emissions, J. of Environ. And Econ. Manag. 33, 240-252

Small and Kazimi, 1995, On the costs of air pollution from motor vehicles, J. Of Transport. Econ. And Policy 29, 7-32

De Borger et al., 1996, Optimal pricing for urban transport: a simulation exercise for Belgium, J. Of Transport. Econ. And Policy 30, 31-54

Congestion charging mechanism for roads: an evaluation of current practice, wp 1071, Washington DC World Bank

Viton, 1995, Private roads, Journal of Urban Econ. 37(3), 260-289

Sternier 1991, Gasoline demand in the OECD: Choice model and the data set in pooled estimations, OPEC review XV(2), 91-101

Case studies on a country / city where some instrument was implemented, ex London

5) Sharing economy and green platforms

The Real Size of the Sharing Economy, McKinsey Report, 2015

What exactly is the sharing economy?, World Economic Forum

(<https://www.weforum.org/agenda/2017/12/when-is-sharing-not-really-sharing/>)

6) Environmental policy in developed and developing countries

Reduction of Sulfur Emissions, Reduction of NOx Emissions from Combustion, Green Tax Reform, Prohibition, Liability and Superfund, Provision of Information and Voluntary Agreements, Global Policy Making and Climate Change, clean development mechanism, carbon capture and storage, environmental funds and fees

Sternier, Policy instruments for environmental and natural resource management, RFF, 2003, chapters 24-25

Objectives / Learning outcome

-Specific Objectives: Knowledge, Understanding and Skills

Following the success of this module, students will acquire:

- Ease in the economic principles of understanding to analyze the behavior of economic agents and their interactions in industries subject to sustainability challenges
- The ability to see and predict the effects of policies implemented in a domain on potentially independent domains
- Ability to think critically about environmental issues and propose alternative solutions
- Easy to discuss different conceptions of the policy and comments on their effectiveness

Techniques de modélisation et d'analyse de sûreté des systèmes cyber-physiques

Contributeurs :

- **Zineb Simeu-Abazi**, Polytech Grenoble – Université Grenoble Alpes
- Pierre David, Grenoble INP Génie industriel
- Eric Gascard, Polytech Grenoble – Université Grenoble Alpes
- Thomas Reverdy, Grenoble INP Génie industriel

1. Préambule :

L'industrie 4.0 ou l'industrie connectée implique la transformation des usines en un environnement intelligent « smart factory » dans lesquelles les informations de tous les équipements sont étroitement surveillées et synchronisées entre l'usine physique et le cyber espace de calcul. L'industrie connectée s'appuie en partie sur l'utilisation de Systèmes Cyber-physiques (CPS) qui sont des systèmes intelligents dotés de cyber-technologies, à la fois matérielles et logicielles, profondément intégrées aux composants physiques et interagissant avec eux. Ils sont capables d'échanger des informations, de déclencher des actions et de se contrôler d'une façon autonome. De plus, en utilisant des analyses d'informations avancées, les machines en réseau seront en mesure d'assurer l'ensemble des tâches de manière efficace, collaborative et résiliente. Il est donc nécessaire d'en garantir leur sûreté de fonctionnement, d'évaluer leur état de santé et de maîtriser leur évolution dans un environnement humain.

2. Organisation du module

Ce module concerne aussi bien les aspects technologiques et organisationnels. Il sera organisé en trois parties :

1ère partie : Analyse de la Sûreté de fonctionnement des CPS

Cette partie concerne la phase de modélisation (statique et dynamique) et d'analyse aussi bien qualitative que quantitative. Différents outils de modélisation seront introduits comme le diagramme de fiabilité, l'arbre de défaillance, les chaînes de Markov, ... Concernant l'analyse, ce module abordera aussi bien les approches multi modèles que les approches à base de données. Des techniques d'évaluation quantitative par simulations de Monte Carlo feront l'objet d'une séance pratique d'étude de cas.

2ème partie : Développement par SysML

L'étape de modélisation et d'analyse des CPS demeure une phase importante au vu de la complexité des CPS mais fastidieuse. Dans cette partie nous avons besoin autant du modèle fonctionnel que du modèle dysfonctionnel. SysML est un outil très intéressant à considérer dans la phase de modélisation et d'analyse. Il permet à travers la représentation multi-vue ou multi-modèle de tenir compte des interactions entre composants. Une introduction à SysML montrant les liens avec les AMDEC et la création de base de connaissance des comportements dysfonctionnels montrera la puissance de l'analyse des systèmes complexes. Une étude de cas

permettra de tester la pertinence d'ajout de capteur pour une meilleure couverture de défaillance.

3^{ème} partie : Approche SHS de l'usage des CPS

- Introduction à l'analyse organisationnelle de la sécurité de fonctionnement (approche HRO)
- Enjeux organisationnels d'un déploiement de nouveaux modèles et système de sûreté de fonctionnement impliquant des modifications de l'organisation du travail, des emplois et des compétences
- Les systèmes cyber-physiques "en usage" : comment ils peuvent être réappropriés par les professionnels en conception de système ou en pilotage
- représentations de la fiabilité et culture professionnelle : dans quelle mesure les professionnels sont-ils prêts à "faire confiance" à de nouveaux modèles et de nouveaux systèmes et à renoncer à certaines pratiques ou règles professionnelles ?

Accompagnement pédagogique de la plateforme « Operations management »

Contributeurs :

- **Gülgün Alpan**, MCF, HDR, Grenoble INP Génie industriel
- Pierre David, MCF, Grenoble INP Génie industriel
- Sandrine Caroly, Professeur, ergonomie, UGA Polytech
- Zakaria Yahouni, MCF, Grenoble INP Génie industriel, recruté en 2018
- Fabien Mangione, MCF HDR, Grenoble INP Génie industriel
- Lilia Gzara, MCF HDR, Grenoble INP Génie industriel

Le site Grenoblois, soutenu par le CNRS, a obtenu un financement dans le cadre du CPER 2016-2020. Afin de répondre aux défis de l'Industrie 4.0., le projet baptisé Ateliers Intelligents de l'Industrie (A2I) a pour objectif de construire et/ou restructurer cinq plateformes technologiques, dont une entièrement nouvelle dédiée aux problématiques de « operations and supply chain management ». L'Université Intégrée se doit ainsi de proposer à ses étudiants des modules et des expériences de formation qui leur permettront de se projeter dans ces défis de l'industriel du futur. Aussi le développement de la plateforme est un enjeu fort pour nous. Nous devons maintenant l'équiper pour être en mesure de simuler un atelier ou une supply chain « connectée » et bénéficiant de systèmes avancés pour l'automatisation de la production (poste de travail robotisés, poste connectés, robotique de transfert de pièces, système d'information de gestion de production, Stockeurs automatisés...).

Notre demande à l>IDEX concerne les équipements de transport, en particulier les robots mobiles. Dans l'industrie, l'activité de transport est une activité à non-valeur ajoutée, et donc, de plus en plus robotisée (ou automatisée). Nous souhaitons investir et développer 3 plateformes de robots mobiles dans le but de simuler in situ les ateliers et chaînes logistiques de demain.

Les expérimentations pourront être développées sous divers axes que sont l'analyse des interactions homme/machine dans les activités de transport industriel, l'analyse de la conduite de la production dans un contexte IoT intégrant les fonctions transports ou la gestion de chaîne logistique connectée.

La création d'une plateforme physique de simulation de production permettra l'observation et l'analyse des collaborations et cohabitation entre opérateurs et robots de transferts. Ces préoccupations sont au cœur des réflexions sur la place de l'homme dans l'industrie 4.0. et doivent être questionnées dans les modules d'ergonomie et de sociologie de l'école

Pour la simulation de la conduite d'atelier de production le fait de disposer de transporteur automatique permettra de tester les politiques de gestion rendues possibles par l'IoT, comme le flux tiré par les informations portées par le produit ou les reconfigurations rapides des circuits logistiques face aux aléas. Ces dimensions sont exploitées dans les cours de Génie Industriel : gestion industrielle (L3), de Gestion Tactique et opérationnelle des chaînes logistiques (M2), GIEM (L3) , Management des systèmes d'information (M1), Ergonomie de conception : usage et situations de travail (m1), UE Evaluation de performances des systèmes de production (M1), Systèmes d'information industriels (M2).

Le système réalisé permettra aussi d'investiguer les multiples problématiques liées à la gestion et la mise en place des systèmes d'information pilotant ces systèmes de production.

La plateforme impactera donc à terme 6 à 7 UE pour environ 300 étudiants.

Les moyens demandés sont 15 000€ de matériel pour mettre en place l'environnement physique et informatique nécessaires au déploiement de robots mobiles. 6 mois de stagiaire pour réaliser tout ou partie des implémentations. Enfin 3 000 € de missions sont demandées pour rencontrer les fournisseurs commerciaux de solution ainsi que pour benchmarker les installations similaires présentes dans les universités françaises ou européennes (cf projet à Bordeaux, Compiègne, Nancy ...). Enfin 90 hr de décharge pour des enseignants pilotes sont demandées pour réaliser les missions.

Références générales

4DGroup PTC Creo "La place de la réalité augmentée dans l'industrie manufacturière" <https://www.4cad.fr/plm/actualites>

A2I : ateliers intelligents de l'industrie <http://genie-industriel.grenoble-inp.fr/recherche/ateliers-intelligents-de-l-industrie-dossier--628303.kjsp>

CCI de France Industrie du futur <http://www.cci.fr/web/performance-et-innovation/industrie-du-futur>

Duygu Turker, Ceren Altuntas., 2014. Sustainable supply chain management in the fast fashion industry: An analysis of corporate reports, . *European Management Journal*,. Pages 837-849, ISSN 0263-2373, 2014, Vol. 32, 5.

Grenoble INP Génie industriel, Quelles compétences pour les ingénieurs européens dans les entreprises industrielles 4.0 ?, colloque CLUSTER 2017, <http://genie-industriel.grenoble-inp.fr/international/quelles-competences-pour-les-ingenieurs-europeens-dans-les-entreprises-industrielles-4-0--892250.kjsp>

- Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. 2013.** *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 : Final report of the Industrie 4.0 Working Group.* 60528 Frankfurt/Main : Industry-Science Research Alliance:, 2013.
- Koch V., Kuge S., Geissbauer R., Schrauf S. 2014.** *Industrie 4.0 : Opportunities and Challenges of the Industrial Internet.* s.l. : PwC Strategy& (Germany) GmbH, 2014.
- Macchion, Moretto A., Caniato F., Caridi M., Danese P., Vinelli A. 2015.** Production and supply network strategies within the fashion industry,. *International Journal of Production Economics.*, 2015, Vol. 163.
- Mei Yen Wong, Yilu Zhou, Heng Xu., 2016.** Big Data in Fashion Industry: Color Cycle Mining from Runway Data,. *DECISION SUPPORT AND ANALYTICS (SIGDSA)* . 2016.
- NASR, Litim. 2014.** *Developpement d'un systeme juste a temps en industrie textile.* s.l. : ENI Monastir (Tunisie), 2014. <https://fr.slideshare.net/LitimNasr/developpement-dun-systeme-juste-a-temps-en-industrie-textile-pfe-n-litim>.
- Shen, Bin. 2014.** Sustainable Fashion Supply Chain: Lessons from H&M. *Sustainability.* 6(9), 6236-6249; doi:10.3390/su6096236, 2014.
- Yagoubi A.i, Tremblay D-G. 2017.** L'innovation numérique et technologique dans le secteur vêtement-mode : les politiques publiques en soutien à la création d'un écosystème d'affaires intersectoriel. *Innovations.* 2017, 1/17.

Mise en œuvre du projet

Consortium

Ce projet est porté par Grenoble INP Génie industriel, l'une des 6 écoles d'ingénieurs de Grenoble INP. Cette école est reconnue internationalement pour ses formations d'ingénieurs et de Masters, généralistes de l'entreprise du XXI^e siècle. Ils sont capables de maîtriser l'ensemble du cycle industriel : de l'innovation et de la conception d'un produit à son recyclage, en passant par la production et la distribution. L'école, et les laboratoires et plateformes associés, est un acteur majeur de l'industrie 4.0 en Europe <http://genie-industriel.grenoble-inp.fr/international/quelles-competences-pour-les-ingenieurs-europeens-dans-les-entreprises-industrielles-4-0--892250.kjsp> . La plateforme AIP Primeca DS est étroitement associée à ce projet.

Les partenaires de ce projet sont :

- L'école Grenoble INP E3
- L'école Grenoble INP ENSIMAG
- Polytech Grenoble
- L'UFR Phitem
- AIP Primeca Dauphiné Savoie

Le consortium bénéficie pour ce projet du soutien et de l'expertise des sociétés suivantes :

- Chorege, conseil en performance industrielle, membre du club des industriels Grenoble INP GI, <http://www.chorege.com/> .
- ST Microelectronics, membre du club des industriels Grenoble INP GI

CV du porteur de projet

Pour cet important projet pédagogique « Industrie du Futur »,

L'école de Génie Industriel a confié à Michel TOLLENAERE, professeur expérimenté, le portage de cet important projet pédagogique « Industrie du Futur », auprès de la COMUE-IDEX et des partenaires du site. Ses atouts sont une connaissance fine de l'industrie 4.0 attestée par des activités de recherche et de valorisation industrielle (Airbus, Airbus Helicopters, Audros, LECTRA, PSA, Renault, Schneider, Siemens, ST Microelectronics...), une pratique réussie de la gestion de dispositifs interuniversitaires (AIP Primeca) et des projets institutionnels de progrès pédagogique (Campus Numérique AIP PRIMECA), un ancrage dans les institutions grenobloises (nombreux mandats d'élu), une pratique des projets pédagogiques innovants (projets LOSII) et une forte expérience des formations en anglais (Master SIE).

<http://www.g-scop.inpg.fr/~tollenam> :

- **2001 : Directeur de l'AIP PRIMECA Dauphiné Savoie** (du 1er Février 2001 au 31 Mars 2007, soit 2 mandats de 3 ans). L'AIP Dauphiné Savoie est l'un des huit AIP de France. Il est organisé en sept plateformes thématiques localisées à Grenoble et Annecy.
- **2002 : Chef de projet du projet** « Campus Numérique AIP PRIMECA », projet national reconnu en niveau 2 des campus numériques français (budget total sur 2002-2003 308k€).
- **2013 : créateur du programme de Master SusTainable IndustriaL Engineering (SIE)** : porteur du projet au ministère habilitation obtenue le 4 mars 2013. Ce programme est déployé depuis 2 ans sur des flux de 30 étudiants.
- **2016 : élu dans les conseils** d'école GI (président du conseil restreint), élu au CEVU de Grenoble INP, élu au Conseil Académique de la COMUE Grenoble Alpes.
- **2017 : responsable du parcours Label REI** du doctorat de l'Université de Grenoble Alpes. <https://doctorat.univ-grenoble-alpes.fr/fr/pendant-la-these/la-formation-durant-la-these/parcours-labels/label-rei-recherche-entreprise-et-innovation-577254.htm>

Planification du projet

Projet : Formation Industrie 4.0 Planning	Année 2019				Année 2020			
	Jan- mars	avr - jui	Juil - sept	Oct - dec	Jan- mars	avr - jui	Juil - sept	Oct - dec
Conception des modules	■							
Prototypage avec Master SIE				■	■			
Retour expérience					■			■
Déploiement inscription dans les maquettes pédagogiques						■	■	
Comité de pilotage								
Séminaire Club des industriels		■						■

Suivi et pilotage

Le management du projet est conduit sur le mode « agile » par les livrables et de manière itérative. Le porteur du projet a mis en place un système d'information et un système qualité pour piloter le projet et en offrir une visibilité interne.

Le projet est piloté à un double niveau :

- Niveau stratégique qui évalue la conception, le prototypage et le déploiement des modules. C'est à ce niveau que se décident la contribution de nouveaux modules au projet, ainsi que les relations partenariales avec les partenaires académiques internationaux et industriels. Le comité stratégique est piloté par la direction de l'école et est composé d'une émanation du club des industriels GI et de la direction de la plateforme technologique AIP Primeca. Ce comité a vocation à organiser des séminaires thématiques sur l'industrie 4.0.
- Le comité de pilotage se préoccupe du niveau opérationnel se réunit tous les 3 mois. Il est composé du porteur de projet, des responsables de modules, du directeur de l'Ecole Génie industriel et du directeur de la plateforme AIP Primeca. Ce comité suit l'avancement des différents WP et attribue les moyens communs : petit équipement, missions, stagiaires.

Budget saison 2 - Année 1 et 2 (2019 - 2020)

Synthèse du budget

DEMANDE DE SUBVENTION IDEX et BILAN		
Personnels		
	Heure TD sur la durée du projet	Montant
Nombre d'heures d'enseignement demandées à l'idex	250	10 750,00 €
Total Demande Personnel		10 750,00 €
Equipement		
Nature de la dépense	Montant en €	
Logiciel ERP avec configuration et installation		8 500,00 €
Tablettes graphiques sécurisées, anti-choc, étanches x 16	PU = 850 €	13 600,00 €
Mobilier tables, rack rangement, boites composants		6 200,00 €
Equipement RFID, code barre, lecteur, ecriture		12 000,00 €
Total Demande Equipement		40 300,00 €
Missions		
Nature de la dépense	Montant en €	
Frais de missions (enseignants, stagiaires, personnel)		17 450,00 €
Fonctionnement		
Nature de la dépense	Montant en €	
Achats petits matériels ,PC, consommables,...		9 000,00 €
Prestations externes (stagiaires)		12 500,00 €
Prestations junior Imagine		10 000,00 €
Total Demande Fonctionnement		31 500,00 €
TOTAL Fonctionnement Equipement Missions		89 250,00 €
Total SUBVENTION IDEX DEMANDEE		100 000,00 €
Total Apports Partenaires		348 506,00 €
BUDGET Total		437 756,00 €
% Subvention IDEX		23%

Justification des dépenses par poste

Le poste Missions totalise 17 450€ sur 2 ans. Il permet pour les ingénieurs et les enseignants chercheurs du projet, la participation à des séminaires (CLUSTER IEM) et travaux d'échange avec nos partenaires européens (Karlsruhe, Turin, Madrid).

Les prestations externes (12 500€) concernent l'accueil de stagiaires de niveau Master pour développer certains modules et contribuer à la configuration des équipements. Le projet nécessite 5 stagiaires pour 5 mois chacun.

Pérennisation et essaimage

Ce projet comporte un enjeu stratégique pour Grenoble INP Génie industriel. Le site de Grenoble a largement contribué par ses recherches (laboratoires CNRS G-SCOP, GAEL et PACTE) au rayonnement de cette thématique de l'Industrie du Futur en France et en Europe en participant à de nombreux programmes, souvent en partenariat avec ses relations industrielles. Ce projet doit permettre de faire évoluer les formations du site en synergie avec les résultats de recherche, en ciblant les finalités industrielle et internationale. Les modules développés seront intégrés aux maquettes pédagogiques proposées aux 480 étudiants de l'école.

Annexe 1 : Personnel impliqué (saison 2 seulement)

Nom	Prenom	Composante	Statut	Charge (en ETP)	Rôle dans le projet
Tollenaere	Michel	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	EC (en h)	36	Porteur de projet + contributeur
Cholez	Céline	Grenoble INP Génie industriel / PACTE	MCF	32	Responsable Module Industrialisation d'un atelier 4.0
Chévrier	Pierre	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	PAST	20	Contributeur
Mangione	Fabien	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	18	Contributeur
Perenon	Marie Laure	Grenoble INP Génie industriel	PRAG	18	Contributeur
Blanco	Eric	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	PAST	10	Contributeur
Hubac	Stéphane	ST Microelectronics Senior expert in Manufacturing 4.0	ST / Industriel	32	Responsable Module Gestion dynamique des connaissances et des compétences en contexte industriel 4.X (0 & h)
Tollenaere	Michel	Grenoble INP Génie industrie / G-SCOP I	PR	32	Contributeur
Cung	Van Dat	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	PR	32	Responsable Module Case Studies in Logistic and Transportation
Gülgün	Alpan	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF HDR	24	
Kurtyka	Oliwia	Grenoble INP Génie industriel ./ GAEL	MCF	32	Responsable de module Economic Trends driven by sustainability in industrial engineering
Cung	Van Dat	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	PR	12	
Joly	Iragael	Grenoble INP Génie industriel / GAEL	MCF	24	
Simeu	Zineb	Polytech UGA Grenoble / G-SCOP	MCF HDR	32	Responsable Module Techniques de modélisation et d'analyse de sûreté des systèmes cyber-physiques
David	Pierre	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	24	Contributeur
Reverdy	Thomas	Grenoble INP Génie industriel / PACTE	MCF HDR	24	Contributeur
Gaspard	Eric	Polytech UGA Grenoble / G-SCOP	MCF	24	Contributeur
Gülgün	Alpan	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF HDR	24	Responsable de la plateforme « Operations management »
David	Pierre	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	24	Contributeur
Yahouni	Zakaria	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	20	Contributeur
Mangione	Fabien	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	12	Contributeur
Gzara	Lilia	Grenoble INP Génie industriel / G-SCOP	MCF	12	Contributeur
Total des heures eq TD				518	