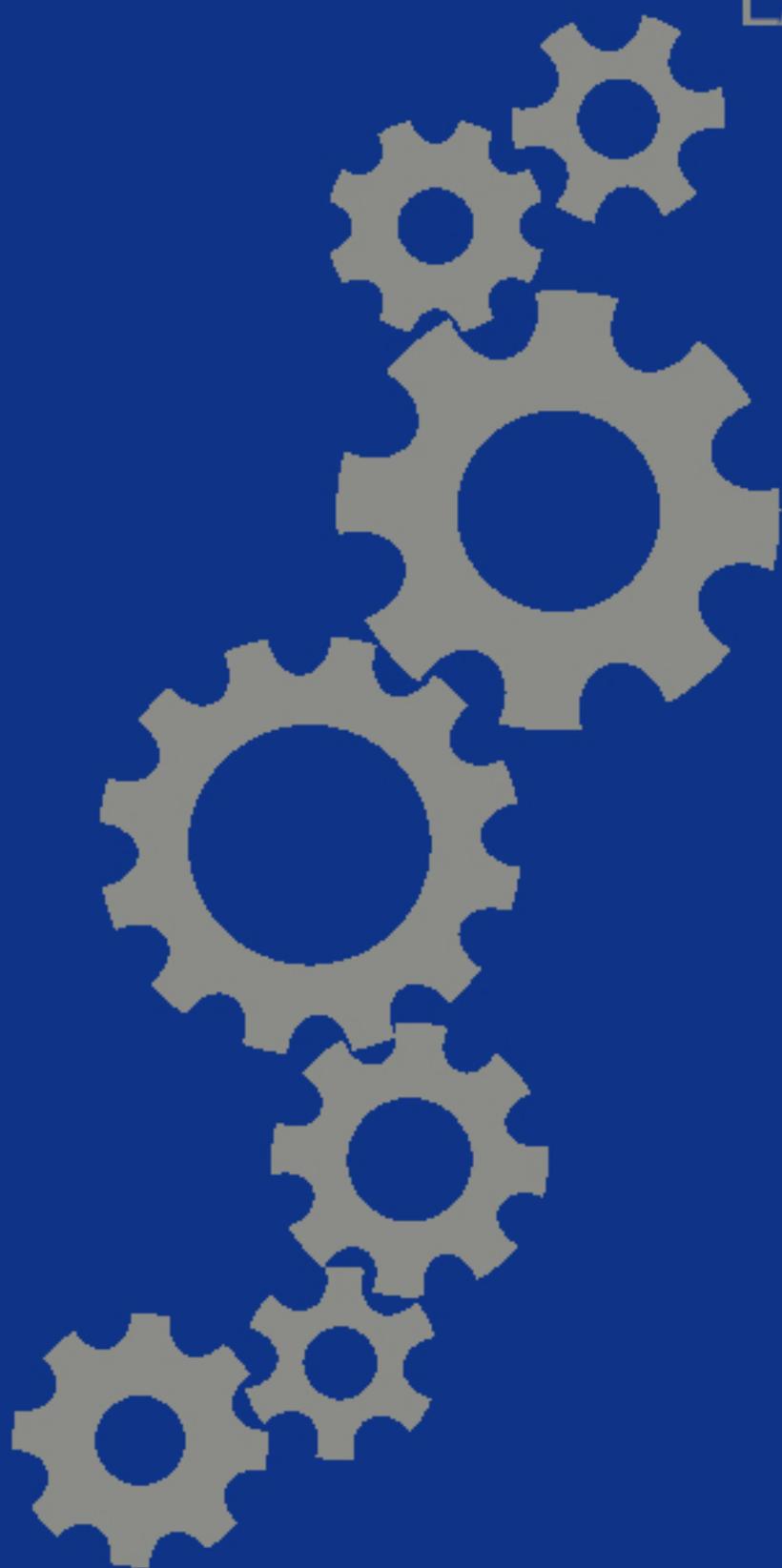


4. ADAPTER LA PEDAGOGIE



4. ADAPTER LA PEDAGOGIE

Ce chapitre interroge la manière d'aborder pédagogiquement les concepts de l'industrie du futur. Cela constitue l'enjeu essentiel des écoles d'ingénieur pour répondre au besoin en compétences nouvelles des entreprises. Pour cela, 3 témoignages d'une mise en œuvre concrète tant en termes de vision et d'approche globale qu'en terme d'application : celle de CESI, celle de l'Ecole nationale supérieure d'Arts et Métiers et celle de Manchester Metropolitan University.

4.1. De nouveaux métiers, de nouvelles compétences

Les deux chapitres précédents ont montré la profonde transformation de l'industrie et des métiers associés, et donc l'évolution particulièrement forte des besoins en compétences.

D'une manière générale, une attention spéciale doit être portée aujourd'hui sur le développement des compétences transversales dites soft skills. Sans être exhaustif, on pourra citer la résolution de problème, la communication mais aussi le développement du sens du travail collectif, la prise de décision, le leadership, l'esprit entrepreneurial et l'ouverture d'esprit.

Concernant les compétences liées à l'industrie du futur au niveau des cycles d'ingénieur, nous avons identifié les items suivants :

- **appréhender la complexité des systèmes** par l'analyse systémique et la modélisation multi-physique en utilisant les logiciels ad hoc ;
- **maîtriser les nouveaux moyens de production et de conception**, en particulier la fabrication additive, sur l'ensemble de la chaîne numérique ;
- **mettre au point des systèmes complexes innovants, performants et sûrs** en les simulant et en les optimisant dans le monde virtuel, notamment grâce à l'utilisation de jumeaux numériques ;
- **optimiser la performance industrielle** (qualité, logistique, production, maintenance, exploitation) grâce à l'analyse de données, l'automatisation et la robotique collaborative ;
- **optimiser les coûts** par l'utilisation d'outils d'analyse prédictive ;
- **créer, innover, entreprendre et utiliser les différents moyens de prototypage** ;
- **utiliser les outils de travail collaboratif** et d'optimisation tels que le BIM ou le PLM ou des outils de travail distants ;
- **gérer les projets de manière agile** au plus près des besoins des clients en utilisant les méthodes du Lean Management et du Lean Manufacturing.

4.2. L'exemple de CESI : mise en œuvre en 4 volets

CESI, au regard de son ancrage sectoriel historique sur l'industrie, le BTP, l'informatique et le numérique et enfin le management a eu le souhait de se positionner sur les concepts d'« usine du futur » et sur la « ville intelligente et durable ».

Afin de mettre en œuvre ce positionnement, une stratégie a été élaborée autour de 4 volets :

- 1- **la recherche ;**
- 2- **le déploiement de fablabs et de plateformes technologiques ;**
- 3- **la mise en œuvre de pédagogies innovantes ;**
- 4- **l'évolution des syllabus des formations.**

Pour accompagner ce changement, CESI a répondu à un appel à projet « Partenariats pour la formation professionnelle et l'emploi » du Programme d'investissements d'avenir (PIA), piloté par la Caisse des Dépôts et Consignations pour le compte du Commissariat général à l'investissement.

En 2016, le projet « Développer l'Expertise Future pour l'Industrie et la Construction » ou DEFI&Co a été retenu et est exécuté en partenariat avec de multiples acteurs.

Les partenaires signataires sont, outre le CESI :

- les CFA : CESFA-BTP, CEFIPA ;
- les observatoires : APEC, Institut de la réindustrialisation ;
- les entreprises : AIRBUS, CISCO, COLAS, LA POSTE, AFPOLS, Union Sociale pour l'Habitat.

Le partenariat reste ouvert afin d'inscrire le projet dans les préoccupations des territoires. Au jour de l'acceptation du projet, les partenaires signataires des lettres de soutien étaient les suivants :

- les entreprises : Dassault Systèmes, EDF, ENGIE, FIVES, OGER International ;
- les groupements d'entreprise et pôles de compétitivité : Normandie AeroEspace, Energie Haute-Normandie, Fédération française du Bâtiment Languedoc-Roussillon, Cap Digital, MOVEO, Pôle TES ;
- les partenaires institutionnels : CMQ Strasbourg, Luxemburg Institute for Science and Technology, Rectorat de Rouen, Région Haute Normandie, Région Aquitaine, Communauté urbaine d'Arras, Université des métiers et de l'artisanat Nord-Pas de Calais, Rouen Métropole.
- les CFA : CESFA AGEFA – PME Pays de la Loire, CESFAHN, IRFEDD.

La veille prospective, réalisée par les équipes de LINEACT, laboratoire de recherche de CESI, et les observatoires partenaires, a permis d'identifier 5 domaines dans le champ d'activité de CESI dont les métiers sont à la fois fortement impactés par le numérique, délaissés par les femmes, tout en présentant un fort déficit de compétences (le BIM, la performance énergétique, le PLM, la performance industrielle et le Data Scientist).

4.2.1. La recherche

Le premier axe stratégique de transformation est réalisé grâce au développement d'expertises internes dans le cadre de programmes de recherche ambitieux.

La recherche à CESI est portée par LINEACT son laboratoire de recherche. Déployé sur l'ensemble des campus, LINEACT s'organise autour de 2 thématiques de recherche et 2 domaines applicatifs. Le schéma suivant présente cette organisation.



- 1- « **Apprendre et Innover** » regroupe les sciences cognitives, les sciences sociales et les sciences de gestion, ainsi que les sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Cette thématique peut s'adresser à des domaines d'application plus larges que ceux de la ville ou l'industrie du futur. Les principaux objectifs scientifiques visés sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage et de créativité.
- 2- « **Ingénierie et outils numériques** » regroupe des compétences dans les domaines des sciences du numérique et des sciences de l'ingénieur. Ses principaux objectifs scientifiques portent sur la modélisation et l'optimisation de systèmes, ainsi que sur le traitement et l'analyse de données et les processus de décision appliqués aux 2 domaines d'application.

Les 2 domaines applicatifs que sont la « ville du futur » et l'« industrie du futur » permettent dès lors de croiser les compétences métiers indispensables à la mise en œuvre de nos projets autour de nos thèmes scientifiques.

Plusieurs thèses ont d'ores et déjà été soutenues et plusieurs sont en cours.

Sur le champ de l'innovation, plusieurs thématiques notables ont été traitées :

- l'évolution des pratiques managériales en entreprise ;
- le dialogue Homme/Machine multimodal dans les véhicules autonomes ;
- l'impact de l'A2P2 sur le développement de l'identité professionnelle de l'ingénieur CESI ;
- la conception universelle ;
- la culture innovation dans les entreprises françaises ;
- le flow collectif dans les activités créatives.

Sur les aspects industriels et technologiques, LINEACT a soutenu des travaux suivants :

- *Le développement de méthodes et outils de réalité augmentée pour l'apprentissage d'activités ou l'assistance à distance d'opérations de maintenance complexes en milieu industriel* [thèse de Vincent Havard soutenue le 9 février 2018] ;
- *L'optimisation multi-objectives d'une infrastructure réseau dédiée aux bâtiments intelligents* [thèse de Mohamed Amin Bénatia, soutenue le 13 décembre 2016] ;
- *La contribution à l'amélioration de la maturité de collaboration des PME avec leur donneur d'ordre à travers la gestion du cycle de vie du produit (PLM)* [thèse de Sara Sadat-Mahdikhah soutenue le 30 novembre 2016] ;
- *La modélisation multi-contraintes d'un système de production flexible* [thèse de José Eloundou en partenariat avec l'INSA de Rouen, soutenue le 11 juillet 2016].

D'autres travaux doctoraux sont actuellement en cours tels que :

- *La reconnaissance de points d'intérêts pour un robot d'inspection dans un environnement contraint et dégradé ;*
- *La formalisation d'un modèle prescriptif de déploiement d'une stratégie de création de valeur optimale. Application au domaine des PME ;*
- *Le Bâtiment Intelligent : Vers une Approche Globale et Systémique Visant l'Autonomie Energétique ;*
- *Le traitement en temps réel distribués dans les systèmes cyber physique industriels ;*
- *L'analyse des données hétérogènes de parcours visiteurs dans des sites touristiques proposant des expériences numériques (RA/RV) ;*
- *La supervision d'un atelier de production flexible constitué de robots collaboratifs mobiles ;*
- *L'analyse prédictive et big data pour l'industrie du futur ;*
- *Les algorithmes et données pour le pilotage énergétique intelligent de bâtiments ;*
- *L'allocation dynamique des tâches et collaboration entre manipulateur mobile et opérateur humain dans un atelier flexible de production.*

Enfin, CESI accentue cette démarche grâce à plusieurs projets de recherche à dimension internationale tels que DEFI&Co, le programme Feder LaVI&Co dont l'objectif est de réaliser des jumeaux numériques de plateformes expérimentales présentées dans le paragraphe suivant, le programme COROT sur l'étude des robots collaboratifs ou encore le projet ANR CREAM sur la conception innovante pour la fabrication additive.

Cet important investissement sur ces programmes de recherche et ces formations doctorales permettent ainsi à CESI de développer son expertise au plus près des besoins des entreprises et de comprendre les attendus pédagogiques en termes de métiers et de compétences.

4.2.2. Les plateformes technologiques

La seconde transformation stratégique repose sur la mise en œuvre de plateformes de recherche et d'enseignement ainsi que de laboratoires dédiés à certaines thématiques.

DEMONSTRATEUR SMART BUILDING

En mars 2017, CESI campus de Nanterre a inauguré sa première plateforme dédiée aux concepts de bâtiment intelligent tels que les systèmes communicants, le pilotage via l'informatique de l'intelligence artificielle, la performance énergétique.

Il est le résultat d'une coopération entre CESI, le CEFIPA et plusieurs industriels du secteur : CISCO, Vinci Energies et sa filiale AXIANS, Philips Lighting et enfin CAPSA pour la partie structure. Le bâtiment d'une surface d'environ 200m² et réalisé en containers maritimes présente plusieurs innovations structurelles validées par les bureaux d'études et de contrôles. En effet, sa conception innovante a dû répondre à différentes contraintes liées à l'environnement du site sur une ancienne friche industrielle et en proximité de la Seine.

Sur le plan technologique, le démonstrateur permet l'étude de différents concepts et technologies mises à disposition par les partenaires industriels. Evolutif, le démonstrateur intègre différents systèmes reposant sur l'hyperconvergence et le POE (Power Over Ethernet).

D'une part, la présence de très nombreux capteurs (température, hygrométrie, détection d'ouverture, infrarouge, de présence, de consommation électrique...) et d'une station météo permettent de collecter un grand nombre de données sur le fonctionnement du bâtiment. D'autre part, grâce à la maîtrise de multiples protocoles de communication, un serveur central peut piloter les différents moyens du bâtiment pour en modifier les ambiances thermiques et lumineuses. Enfin, le comportement des usagers peut y être étudié grâce à des caméras POE, la localisation à 10cm ainsi que les différentes détections de présence.

Les premiers objectifs du démonstrateur sont liés à la recherche qui se déploie sur plusieurs axes :

- sur le domaine de la construction et de l'énergétique :
 - modèles thermiques de la structure,
 - performance énergétique du bâtiment,
 - usage du BIM en phase exploitation du bâtiment,
 - définition des règles de conception de la maquette numérique ;

- sur le domaine du numérique et du digital :
 - gestion de données massives en production continue issues de capteurs (Big Data),
 - programmation des applications de contrôles des équipements,
 - algorithmes de pilotage pour l'intelligence du bâtiment,
 - algorithmes d'apprentissage du bâtiment sur la base des modèles du machine learning mais surtout du Deep Reinforcement Learning ;

- Sur le domaine de l'usage :
 - impact des scénarios de pilotage sur les comportements,
 - confort perçu et performance des usagers,
 - ergonomie,
 - prospective sur les usages futurs,
 - analyse longitudinale de l'acceptation des technologies.

Evidemment, le démonstrateur a une vocation pédagogique grâce aux expérimentations directes qu'il permet. Ainsi, le démonstrateur devient le support pédagogique pour de multiples domaines.

Nous pouvons en particulier citer :

- l'étude de la thermique du bâtiment et la performance énergétique ;
- la manipulation de la maquette numérique ;
- l'étude et la programmation des objets connectés (IoT) et des différents modes de communication de ces derniers ;
- l'étude et la configuration des serveurs, switchs du bâtiment connecté ;
- la gestion massives de données (Big Data, bases de données géantes...) ;
- l'analyse de données et la mise en œuvre d'algorithmes d'intelligence artificielle ;
- la mise en œuvre de modèles de maintenance prédictive.

PLATEFORME USINE DU FUTUR

La première plateforme dédiée à la performance industrielle a été inaugurée le 19 novembre 2014 sur le site de Rouen. La mise en œuvre de cette plateforme a été soutenue par l'Europe, l'État, la Région Haute-Normandie et la Métropole Rouen Normandie.

Cette plateforme Usine du Futur a été dimensionnée pour appuyer le développement de l'activité sur les outils numériques fondés sur la réalité augmentée et la réalité virtuelle, outils d'optimisation de flux, robotique mobile, maintenance, PLM, analyse de données.

Elle est ouverte aux partenaires de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, des établissements du secondaire et l'ensemble des industriels régionaux toutes filières confondues.

PLATEFORME FABRICATION ADDITIVE METALLIQUE

En complément de la précédente, l'établissement CESI de Nanterre accueillera en juin 2019 une plateforme industrielle dédiée à la fabrication additive métallique.

Tout comme le démonstrateur SMART Building, la plateforme, dite Unité Industrielle Autonome de Fabrication Additive Métallique, sera réalisée en containers maritimes et intégrera l'ensemble de la chaîne de production. Entièrement modulaire, l'unité constituera une preuve de concept de la flexibilité industrielle apportée par ces modes de production. Elle démontrera la possibilité de pouvoir déplacer le moyen au plus près du besoin industriel.

Ainsi plusieurs technologies et matériaux seront accessibles pour la recherche et la formation.

L'unité permettra de déployer de vastes programmes de formation qui aborderont le sujet sous différents angles visant l'acquisition de compétences telles que :

- l'identification des 7 familles de fabrication additive ;
- l'intégration industrielle de ce nouveau moyen de production ;
- la maîtrise des risques HSE associés à l'usage des poudres métalliques ;
- la conception innovante pour la fabrication additive ;
- la réalisation de pièces ;
- la réalisation des post-traitements et contrôles de fabrication.

Au-delà de la FAM, cette plateforme permettra une mise pratique directe des aspects QHSE, risques industriels, flux et process de production, simulation... Et donc constitue un terrain d'expérimentation très vaste et de grand intérêt pour les étudiants et apprentis. Le démonstrateur sera donc l'objet de la réalisation d'études de cas pratiques intégrées aux nouveaux éléments de programme dont les lignes directrices sont présentées au paragraphe suivant.

PLATEFORMES VIRTUELLES, JUMEAUX NUMERIQUES

CESI est un campus d'enseignement supérieur présent sur 25 sites. La gouvernance étant unique et nationale, les diplômes sont eux-mêmes déployés de manière uniforme pour garantir l'unicité de ceux-ci.

Toutefois les plateformes technologiques ne sont déployées que sur les sites CESI de Rouen et de Nanterre. CESI a donc décidé de doubler ces plateformes par la réalisation de leur double virtuel ou jumeau numérique.

Ainsi un double objectif est visé :

- Premièrement, il s'agit de permettre à l'ensemble des étudiants de CESI de pouvoir accéder à ces plateformes technologiques quel que soit leur site de formation,
- Deuxièmement, CESI exploite l'opportunité de mettre à disposition de ses étudiants des jumeaux numériques. Ainsi ils seront à la fois familiarisés avec ces concepts innovants et incontournables de l'industrie et auront la possibilité de pouvoir les manipuler dans le cadre de modélisations et de simulations avancées.

Ces jumeaux numériques sont aussi l'occasion de pouvoir utiliser et manipuler les logiciels de création numérique associés.

FABLABS & LEARNING LABS, POUR LE PROTOTYPAGE, LA CREATIVITE ET L'INNOVATION

CESI met en œuvre depuis près de 4 ans une pédagogie active innovante permettant l'acquisition de compétences transversales et adaptée aux publics de l'ère numérique. Cette pédagogie est détaillée au paragraphe suivant.

Dans ce cadre, CESI a développé plusieurs FabLab permettant de concrétiser les projets pédagogiques réalisés. Véritables laboratoires de prototypage rapides, ils permettent de mettre des moyens numériques de haute performance à disposition des étudiants. On y trouve donc des imprimantes 3D de différentes technologies et pour différents matériaux (Polymères, composites, métaux), des découpes lasers, des cartes de prototypage électronique telles que Arduino et Raspberry, des scanners professionnels à haute résolution, ou encore des casques de réalité virtuelle et des lunettes de réalité augmentée et enfin des robots et des drones.

Ces fablabs permettant de prototyper tout type d'objets, participent au processus d'innovation et de créativité. Ils permettent l'expérimentation et sensibilisent les étudiants aux outils numériques.

4.2.3. Pédagogies innovantes

Les transformations amenées par les évolutions technologiques impactent l'intégralité de la société. Le numérique a changé nos vies quotidiennes. La formation initiale et la formation tout au long de la vie professionnelle deviennent des enjeux majeurs pour accompagner tous les salariés, actuels et futurs, dans cette transformation. Dès lors, il semble évident que les méthodes d'enseignement et de formation doivent aussi évoluer.

Le rapport « Vers une société apprenante » remis au ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en mars 2017, invoque une remise en question de la façon d'enseigner en se basant sur de nombreuses études. Dans un monde en perpétuel mouvement, ce rapport prône le passage à une pédagogie active où l'apprenant est au centre de son projet d'apprentissage. De nombreuses technologies que nous emploierons demain nous sont encore inconnues. Le flux d'informations que nous devons gérer explose.

La pédagogie devient alors dynamique. Le rapport la définit comme suit :

« Apprendre à apprendre, à interroger et interpréter, plutôt qu'à consommer naïvement les informations disponibles, est sans doute l'enjeu majeur de l'éducation aujourd'hui. Dans cette perspective, la fonction du maître, du formateur ou de l'éducateur, passe du professeur ex cathedra qui transmet un contenu plus ou moins figé de connaissances à celle d'un guide ou d'un mentor qui oriente et accompagne, avec sollicitude, bienveillance et rigueur, le cheminement de l'apprenant et l'aide à progresser. ».

Des publics apprenants de plus en plus hétérogènes

La transition numérique influe sur les modes d'apprentissage ainsi que sur les compétences à acquérir. La fracture générationnelle semble s'amplifier mais il serait simpliste de scinder les apprenants en deux groupes aux réflexes antagonistes : les « Digital natives » et les « Non Digital natives ». En effet, les diversités sociologiques présentes dans nos sociétés entraînent des rapports à la communication, à l'autorité, à l'entreprise très diversifiés.

Ce morcellement du public oblige les institutions de formations (écoles, universités...) à faire évoluer leur pédagogie. La pédagogie nécessaire pour accompagner le développement de l'industrie du futur doit alors prendre en compte cette diversité du public où chacun va à son rythme, part d'un socle différent pour aboutir à l'acquisition des compétences visées.

Le cas de l'A2P2, pédagogie active à CESI Ecole d'ingénieurs

CESI Ecole d'Ingénieurs a déployé pour la première année en 2015, sur la formation d'ingénieur généraliste et la spécialité BTP, une nouvelle pédagogie baptisée A2P2, Apprentissage Actif par Problèmes et Projets. Ces formations ont la particularité de se faire par la voie de l'apprentissage, alternant période à l'école et en entreprise sur les 3 années de la scolarité. Cette pédagogie entend répondre à la fois aux enjeux suscités par l'évolution de l'entreprise et l'évolution des différents publics apprenants.

Une nécessaire évolution de la méthode pédagogique de l'école

CESI Ecole d'Ingénieurs a développé en 2003, l'exia.CESI, école d'ingénieurs spécialité informatique, dont la pédagogie était basée sur le PBL, Problem Based Learning. Développée en collaboration avec l'Université du Québec à Montréal, cette pédagogie PBL de l'exia.CESI s'appuie sur le fonctionnement de l'entreprise et est particulièrement adaptée au programme en alternance.

Cette pédagogie dynamique permet aux élèves d'anticiper les changements, manager des projets complexes en intégrant les paramètres scientifique, technique et humain. Elle est basée sur 4 principes fondamentaux :

1. **L'école fonctionne comme une entreprise** tant au niveau de l'organisation, de la formation que du professionnalisme attendu chez les élèves ingénieurs.
2. Les pédagogies actives utilisées s'appuient sur **l'apprentissage par problèmes et projets** proches des centres d'intérêts des élèves.
3. On n'apprend qu'**en pratiquant au-delà des connaissances**, l'école d'ingénieurs spécialité informatique développe les compétences et la capacité à agir des élèves ingénieurs.
4. La formation est centrée sur le **projet professionnel de chaque élève ingénieur**. Il doit lui permettre de mettre en perspective l'utilité de ses acquisitions.

Fort de cette première expérience, CESI Ecole d'Ingénieurs a déployé sur l'ensemble de ses formations d'ingénieurs en apprentissage, une pédagogie active : l'A2P2. Cette pédagogie place l'élève au centre de sa formation, lui permettant d'apprendre à apprendre.

La méthode

L'A2P2 est une approche pédagogique qui se rapproche du mode de fonctionnement de l'ingénieur en entreprise. Les étudiants vont travailler à la résolution d'une problématique réelle posée par un projet, et ce, en groupe coopératif de 6 personnes. Cette taille de groupe est intéressante à titre pédagogique car elle va permettre de favoriser la dynamique de groupe, les échanges de points de vue, le débat, la controverse, l'organisation nécessaire du travail d'équipe, tout en limitant le nombre d'interactions « entropiques » entre les membres.

Le projet pose une problématique réelle, proche des situations vécues en entreprise, et au contenu pluridisciplinaire. Pour la traiter, les élèves doivent réaliser des apprentissages disciplinaires, qui sont ensuite appliqués au projet, en vue de résoudre les différents problèmes qui apparaissent. Le projet est l'occasion privilégiée pour intégrer des connaissances, des méthodes et des outils en provenance de plusieurs disciplines du cursus et permet d'établir des liens entre des matières souvent apprises séparément.

Un projet A2P2 est une succession d'étapes limitées dans le temps, jalonnées par des livrables intermédiaires et débouchant sur la réalisation et la livraison d'un produit répondant à un besoin.

Ce projet se décompose en 3 phases principales.

1- une **phase de lancement**, lors de laquelle les élèves doivent se définir des rôles :

Animateur

Il gère les étapes, favorise le consensus sur le plan des discussions, suscite la participation, régule les interactions, fait expliquer une controverse et ramène au besoin ceux qui divergent vers la cible.

Scribe

Il garde une trace écrite (enregistrée sous forme numérique) de ce qui s'est déroulé et échangé. Il fait un compte rendu synthétique, il sauvegarde les documents et assure leur traçabilité (origine). Il gère un espace de stockage numérique à disposition du groupe.

Secrétaire

Il suit les discussions et inscrit au tableau ou sur l'écran les éléments nouveaux que lui indiquent ses collègues. Il inscrit les opinions du groupe et non son interprétation personnelle. Il efface le superflu, regroupe, met en évidence. Il veille à la rigueur de ce qu'il écrit (termes corrects, unités, différencie vecteur/scalaire, etc.), au besoin le groupe corrige.

Gestionnaire

Il rappelle le passage du temps, s'assure que l'on ne déborde pas dans les discussions et que le temps est utilisé correctement en vue de réaliser les étapes nécessaires. Il est aussi chargé de la logistique du groupe.

La première étape du travail de groupe est de prendre connaissance de l'énoncé du projet, de discuter le besoin et le reformuler. Le groupe reçoit également le synoptique du projet et doit identifier l'ensemble des livrables demandés à l'issue du projet.

2- Lors de la **phase de réalisation**, les élèves réalisent une succession d'itérations, PDCA « PLAN – DO – CHECK – ACT » qui mènent progressivement aux apprentissages visés et aux produits finaux. Cette phase peut durer de 1 à 5 semaines.

Au fil du projet, les boucles combinent 2 finalités :

- d'une part, des apprentissages disciplinaires ;
- d'autre part, des contributions au projet sous forme de livrables intermédiaires qui vont contribuer au produit final du projet.

Une boucle PDCA d'apprentissage vise à produire : des définitions, le choix d'une méthode, un schéma conceptuel, une démonstration scientifique, une analyse, un raisonnement, etc.

Après le dernier PDCA, c'est la phase de clôture, qui dure une journée.

Les étudiants doivent passer une soutenance lors de laquelle ils présenteront le travail réalisé sous une forme appropriée. Ils devront ensuite répondre aux questions des membres du jury et faire la preuve de leurs apprentissages.

- 3- la **phase finale d'un projet A2P2** porte sur les bilans et retours d'expérience individuels et collectifs. Le bilan permet à l'élève d'effectuer un autodiagnostic précis, de tirer des conclusions synthétiques et ciblées et de formuler des recommandations / décisions pour progresser.



Figure 36- Salle pédagogique A2P2 CESI Nanterre

Les briques pédagogiques

Si les productions sont collectives, les apprentissages sont individuels : les deux faisant l'objet d'évaluations. Les apprentissages disciplinaires sont donc réalisés de différentes façons.

Tout au long du projet, les étudiants reçoivent par le biais de leur plateforme pédagogique des ressources pédagogiques (vidéos, ouvrages de référence, bibliographie...) qu'ils devront s'approprier et sur lesquelles ils devront s'appuyer pour réaliser les livrables.

D'autres activités sont planifiées par l'équipe pédagogique. Les Séquences d'Apprentissage Modulaire (SAM) sont proposées à des moments précis dans la progression du projet, apportant des éléments permettant de répondre à un questionnement bloquant. C'est une activité limitée dans le temps (maximum 1h30) et animée par un expert du champ disciplinaire dont l'objectif n'est pas de délivrer un savoir théorique général, mais d'apporter du contenu contextualisé en répondant à des questions spécifiques préalablement soumises par les élèves.

Selon les objectifs d'apprentissage visés, les SAM peuvent également prendre la forme de travaux dirigés ou de travaux pratiques.

Une évaluation des savoirs disciplinaires est organisée de manière hebdomadaire, c'est le Contrôle Continu en Temps Limité (CCTL). Il s'agit d'une évaluation synchronisée nationalement sur l'ensemble des centres, permettant à l'équipe pédagogique un suivi régulier des acquisitions.

4.2.4. De la compétence au syllabus

Le dernier volet et non moins le plus important consiste à intégrer l'ensemble de ces concepts et dispositions à la formation elle-même afin de viser l'acquisition de ces nouvelles compétences. Cela est réalisé à différents niveaux depuis la vulgarisation et la sensibilisation jusqu'à la maîtrise complète.

Le paragraphe précédent a présenté l'approche pédagogique originale de CESI. Entièrement déployée sous la forme de projets multidisciplinaires et transversaux, elle permet d'aborder l'ensemble des concepts de l'Usine du Futur autour de cas concrets. Les situations proposées peuvent avoir été virtualisées pour une meilleure immersion sous la forme de jumeaux numériques ou d'expériences 3D. Les étudiants sont dès lors amenés à s'approprier les méthodologies du Lean, les méthodes d'optimisation de la production, la maintenance prédictive ou encore les logiques de robotisation et d'automatisation des usines.

Evidemment les aspects humains et sociaux ne sont pas oubliés afin qu'ils puissent prendre conscience de l'accompagnement au changement nécessaire lié à la transformation numérique. Le projet menant à la réalisation d'un prototype ou preuve de concept amène les étudiants à utiliser les plateformes technologiques d'une part et les outils numériques des FabLab d'autre part. Ainsi, ils intègrent progressivement les différentes briques technologiques telles que nous les avons présentées au chapitre 2.

A noter également que l'ensemble des cycles ingénieurs proposent un projet dédié à l'innovation et aux méthodes de créativité.

Au-delà des concepts généraux de l'Usine de Futur abordés dans le cycle général, des parcours experts peuvent être choisis sous forme d'option par les étudiants. 33 options de près de 6 semaines permettent d'acquérir des compétences approfondies sur la Fabrication Additive Métallique, la Maintenance 4.0, la réalité virtuelle et augmentée, l'analyse de donnée mais aussi l'innovation et l'entrepreneuriat.

Cette transformation des formations de CESI, en partie soutenue par le projet DEFI&Co, se poursuit et évoluera en fonction de l'arrivée de nouvelles technologies.

4.3. L'exemple de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers : un lieu de construction unique de la connaissance et des compétences de l'acteur de l'industrie du futur

L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (Arts et Métiers) a été créée en 1780 à l'aube de la première révolution industrielle pour former des jeunes capables « d'allier l'habileté de la main (le métier) à l'intelligence des sciences (les Arts) » selon les termes de son fondateur, le Duc de Laroche-foucault-Liancourt. Créée pour l'Industrie, Arts et Métiers a fait évoluer – tout au long de son histoire – son offre de formation au rythme des besoins des entreprises. D'abord consacré au génie mécanique, l'école s'est ensuite ouverte au génie énergétique, enjeu prioritaire de la seconde révolution industrielle puis au génie industriel au moment de la troisième révolution industrielle. Mais fidèle à ce principe fondateur de confrontation des sciences à la réalité pragmatique du métier, l'école a toujours veillé à former ses étudiants en les mettant en situation réelle tout au long de leur cursus de formation.

En résumé, le modèle de formation Arts et Métiers repose sur un juste équilibre entre acquisition de connaissances scientifiques théoriques et mises en œuvre expérimentales en situations réelles sur des plateformes technologiques de niveau industriel. Ce schéma porte l'ensemble de l'activité de l'établissement tant au plan de la formation que de la recherche permettant ainsi une boucle rétroactive amenant la mise en œuvre de connaissances en situation concrète et l'enrichissement des savoirs, savoir-faire et savoir-être existants. C'est sur ce modèle que repose la formation à et par la recherche à Arts et Métiers, les plateformes technologiques devenant des lieux de rencontre des étudiants Arts et Métiers avec les 14 laboratoires de recherche de l'établissement.

Aujourd'hui, c'est dans la même logique qu'Arts et Métiers approfondie son modèle de formation pour prendre en compte les enjeux liés à la quatrième révolution industrielle naissante. L'établissement a été l'un des 2 établissements d'enseignement supérieur et de recherche membre fondateur de l'Alliance pour l'Industrie du futur.

Au contact des problématiques nées de cette nouvelle révolution industrielle, l'établissement travaille à enrichir son modèle de formation en faisant du digital un outil permettant la communication en temps instantané entre le modèle du réel et le modèle numérique pour améliorer les performances de la chaîne de production.

En outre, sur la base de ces acquis, Arts et Métiers veut renforcer son adossement à l'économie réelle pour enrichir son modèle de formation. En ce sens, il entend aujourd'hui se positionner comme un acteur économique durable contribuant par la spécificité de ses métiers (formation / recherche / transfert) au développement des entreprises nécessaires à relever les défis imposés par la quatrième révolution industrielle.

C'est dans cette logique qu'Arts et Métiers travaille aujourd'hui à l'émergence, avec ses campus et son environnement proche, d'écosystèmes de croissance propices au développement économique durable des territoires. Pour atteindre cet objectif, l'établissement œuvre à fédérer sur chacun de ses sites un ensemble d'activités et de moyens technologiques disponibles, à l'échelle du territoire, pour créer un effet d'attractivité sur l'ensemble de la filière technologique de formation et vis-à-vis des secteurs professionnels concernés.

4.3.1. Un paradigme de formation articulé autour du triptyque Homme/Réel/Digital

Le modèle de formation Arts et Métiers a pour objectifs de doter l'acteur de l'industrie du futur des connaissances et compétences nécessaires à relever les défis imposés par la quatrième révolution industrielle. Ces connaissances et compétences, regroupées en quatre blocs, sont inspirées de l'initiative CDIO (<http://www.cdio.org/>) afin de trouver un écho international.

Bloc 1 - Connaissances scientifiques et techniques, raisonnement et outils associés

Bloc 2 - Compétences personnelles et professionnelles

Bloc 3 - Compétences interpersonnelles : travail d'équipe et communication

Bloc 4 - Activités de l'acteur de l'industrie du futur dans leurs contextes

Fidèle à ses principes fondateurs, le modèle de formation Arts et Métiers revendique que connaissances et compétences ne peuvent être acquises qu'au contact du réel (plateformes technologiques, groupes humains, pratiques de l'entreprise...), espace nécessaire de construction optimale de la connaissance et de la compétence.

Dans ce modèle, la confrontation au réel se fait au travers d'une implication directe – tout au long de leur formation – des étudiants Arts et Métiers sur les plateformes technologiques de l'établissement. Ces plateformes sont développées en lien étroit entre les laboratoires de recherche de l'établissement et les entreprises pour répondre à des défis technologiques qui constituent des verrous à lever dans l'optique « Industrie du futur ». Cette approche permet de faire des plateformes des lieux de rencontre entre l'économie réelle (via l'association d'entreprises), la recherche technologique (par le biais des laboratoires de recherche) et la formation académique (en impliquant au travers d'activités pédagogiques variées les étudiants en formation). Cet outil, qui constitue une spécificité identitaire d'Arts et Métiers, permet une confrontation au réel à la fois de la recherche et de la formation. Il permet une prise de conscience par les étudiants des enjeux industriels qui sont autant de contraintes dans la mise en œuvre des savoirs qu'ils acquièrent dans leur formation.

Le digital est aujourd'hui un outil incontournable de l'acteur de l'industrie, nécessaire d'une part à l'innovation en le mettant en interaction avec le réel (réalité augmentée, Big data et intelligence artificielle...) et d'autre part à la capacité de dynamiser la performance de l'entreprise.

L'établissement travaille donc à présent à l'acquisition par les étudiants de nouvelles compétences liées à l'usage du numérique dans les métiers de l'industrie. Il s'agit ici en particulier de travailler à l'utilisation d'outils permettant une digitalisation du réel associée aux nouvelles technologies du digital permettant d'assurer une continuité numérique sur l'ensemble du cycle de vie des produits et des systèmes (créer, concevoir, mettre en œuvre, exploiter).

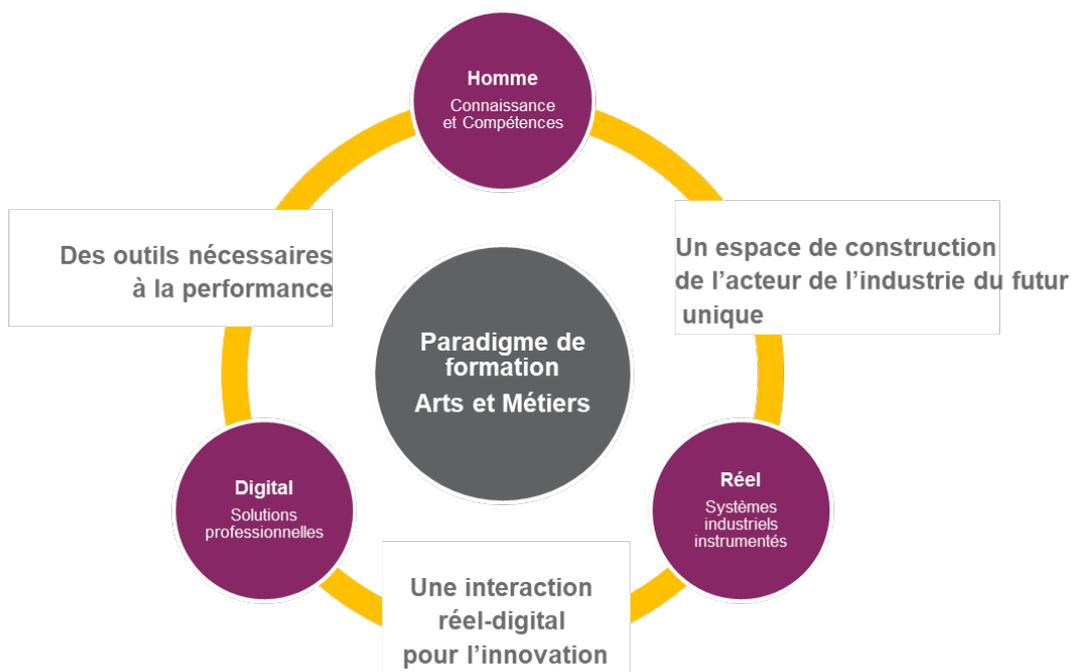


Figure 37- Paradigme de formation Arts et Métiers en réponse aux défis imposés par la quatrième révolution industrielle.

4.3.2. Un écosystème Arts et Métiers pour le développement du paradigme Homme/Réel/Digital

Pour parfaire sa connaissance réelle de l'industrie, Arts et Métiers a développé une stratégie d'implantations territoriales en se structurant comme un grand établissement de la technologie au service des entreprises et organisé en 8 campus et 3 instituts maillant le territoire français.

Les implantations des différents sites Arts et Métiers garantissent à l'établissement une proximité avec le tissu industriel français à la fois au plan géographique et thématique. En particulier, la présence dans de grandes métropoles régionales ou, à l'inverse, dans des communes plus excentrées lui permet tout à la fois de travailler avec des grands groupes industriels, leurs filiales et sous-traitant ou des PME et ETI. Ce dispositif concourt à une meilleure connaissance de l'industrie à laquelle l'établissement peut confronter ses étudiants.

Par ailleurs, l'écosystème de formation permet de décliner des formations allant du bac au doctorat qui se caractérisent systématiquement par leur orientation industrielle et s'opèrent suivant les modalités des formations initiales, par apprentissage et continue.



Figure 38- Apprenante Arts et Métiers [Crédit photo : Marion Gambin]

Cet écosystème est déployé sur l'ensemble des sites Arts et Métiers selon une coloration scientifique tenant compte des enjeux industriels des bassins dans lesquels se trouve l'établissement

Il repose sur :

- 14 plateformes technologiques, permettant une mise à disposition d'outils du digital associés à des ensembles technologiques à échelle 1 présents dans l'industrie d'aujourd'hui comme illustrant l'industrie du futur. Ces plateformes sont un lieu unique de déploiement d'une pédagogie inductive où les temps entre mise en situations concrètes et périodes de contextualisation peuvent être rapidement adaptés aux besoins de l'apprenant. Ces lieux d'apprentissage permettent à l'Homme de participer à l'excellence et encouragent la créativité et la montée en compétences.

- 14 laboratoires de recherche, permettant la formation par et à la recherche, gage d'innovation et d'activités de haut niveau scientifique sur l'ensemble du cycle de vie des produits ou des systèmes, et assurant les piliers scientifiques nécessaires que sont :
 - le génie énergétique ;
 - le génie industriel ;
 - le génie mécanique ;
 - l'ingénierie de la santé.
- Des partenariats forts avec des acteurs internationaux académiques, industriels et institutionnels, gage de l'apport de moyens (financiers, contextuels ou matériels) nécessaires à des équipements modernes, connectés, flexibles et réactifs et illustrant la capacité d'imaginer le produit ou le système en relation étroite avec le client, les fournisseurs et les opérateurs.
- Un ancrage en territoires matérialisé par des partenariats forts qui positionne Arts et Métiers comme un acteur économique et sociétal durable, en prise directe avec les défis sociétaux.

**The example of Manchester Metropolitan University :
the city of Manchester has a leading Role in the Fourth Industrial Revolution.**

Carl Diver, the Academic Lead on Industry 4.0 at the Manchester Metropolitan University and the first Reader in Industrial Digitalisation at a UK University, is optimistic about the opportunities in this city in the North West of England. The Industry 4.0 Conference and Exhibition takes place annually each spring in Manchester – a reflection of the city's proud contribution to the first Industrial Revolution.

Dr. Diver moved across to Manchester Metropolitan University from the University of Manchester earlier this year and is already planning and working with groups such as the Northern Powerhouse and Manchester's Combined Authority to discuss how the University can support industry and society in adopting Industry 4.0 concepts and technologies.

Historically the collaboration between the Manchester Metropolitan University and industry has always been good and the University do have aspirations to lead the way on this. One of their goals is to engage properly with industry and authorities. It has to be very much collaborative. It's also about listening to ensure the University is implementing what people are looking for.

There are 4 key areas in which the University is working :

- 1- **Teaching** – bringing digital industrialisation into the University's MSE courses under an Industry 4.0 umbrella and offering digital apprenticeships in conjunction with industry partners.
- 2- **Knowledge Exchange** – engaging with SMEs in the North West who are interested in the Industry 4.0 agenda, whether that's knowledge transfer partnerships, education or direct involvement with projects and research.
- 3- **Research** – supporting research in critical areas; matching research students with local businesses who have a research requirement; and securing funding from funding bodies, such as the Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC).

4- **Wider Engagement** – linking with the Smart City initiatives, such as CityVerve and Triangulum, the €25 million Horizon 2020 project funded by the EU in which Manchester is one of three participating cities alongside Eindhoven (Netherlands) and Stavanger (Norway); connecting with society at large to start a wider conversation and understand the human impact of technological change.

Investing in skills to help small and medium sized businesses make the transition is vital and especially for existing workers in industry. This is why building close relationships for collaboration with industry across the region will be vital if the University's Industry 4.0 programme is to have optimal impact.

“Collaboration isn't only needed between education and industry” says Dr Diver, “I'm very keen to capture everything that is happening in the University where we have digital industrialisation capabilities. Industry 4.0 isn't just engineering – it's digital arts, it's HR, it's healthcare, it's economics... from a teaching and research point of view we need to take a multi-disciplinary approach to understanding where the opportunities are for the UK as whole and what we need to be doing.”

One such multi-disciplinary initiative already being pursued by Manchester Metropolitan University is its new Print City education and innovation centre, which specialises in 3D printing.

The centre is headed up by Craig Banks, who works closely with Dr Diver. It's a great facility. From an Industry 4.0 point of view, 3D printing is a really important technology. And it's a shining light of what is possible with a multi-disciplinary approach. It brings together engineers, computer scientists and industry with artists, digital designers, people who think outside the box, to work on some interesting and innovative projects. It's a showcase of Industry 4.0 tech in action.

Showing local businesses around the centre is a great way of highlighting and demonstrating the different interests of Industry 4.0, he says.

“One of the issues of Industry 4.0 is that people aren't really sure what it is,” sympathises Dr. Diver. “Industry 4.0 has a wide remit and we want to show people it isn't just about robotics and automation. Our doors are open for SMEs to come in and have a look at the different projects we have going on. We can help them with who are the right people to speak with, to build relationships, maybe to work on a digital pilot. We want to build these relationships and, as a result, I hope the region as a whole will benefit.”