

SAM

SECTOR SKILLS STRATEGY
IN ADDITIVE MANUFACTURING

Operational Guideline on Context and Training Tools

N° de projet. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



Détails du document

Numéro du livrable:	D2.7
Date limite:	Juin 2023
Organisation dirigeante:	EC Nantes
Organisations participantes:	LMS, Lortek, Ansys , EWF, LAK, Polimi
Langue(s):	Anglais
Niveau de dissémination/diffusion:	Publique

Contenu

1. Résumé	4
2 Présentation	5
3 L'état actuel du contexte d'utilisation et des outils de formation en fabrication additive	6
3.1.1 Présentation	6
3.1.4 Apprentissage en ligne/apprentissage à distance	15
3.1.7 Formation en entreprise/ formation en cours d'emploi et stage en entreprise	20
3.2.4 Apprentissage par projet	27
3.2.6 Conférences par des experts en FA	29
3.2.7 Logiciel de simulation	30
4 SAM Directive opérationnelle sur le contexte et les outils de formation.....	35
4.1 Exemples de contextes et d'outils d'apprentissage des partenaires SAM	35
4.1.1 LORTEK.....	35
4.1.1.1 Présentation	35
4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR)	40
4.1.3.1 Réalité augmentée.....	40
4.1.4 IDONIAL	41
4.1.4.1 Jeux sérieux.....	41
4.1.5 Logiciel éducatif - Granta EduPack	41
4.2.3 Enquêtes	56
4.2.4 Conclusions de la méta-analyse.....	57
5 Ensemble approuvé de recommandations pour le contexte et les outils de formation FA	61
6. Conclusions	63
7. References	65
8. Glossaire	66

1. Résumé

Le projet SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing) vise à fournir avec tous les partenaires et parties prenantes une vision partagée et des solutions de compétences collaboratives capables de favoriser et de soutenir la croissance, l'innovation et la compétitivité dans le secteur de la fabrication additive (FA).

Le Work Package (WP) 3 est composé de trois livrables (Figure 1) fixant la méthodologie de conception et d'examen des profils professionnels, des qualifications et des unités d'acquis d'apprentissage. Ce livrable rend compte de la troisième partie du travail effectué dans le Work Package 3, suivant la méthodologie proposée pour la création et la révision des profils professionnels (D3.1) et les kits et modèles pour appliquer cette méthodologie (D3.2).

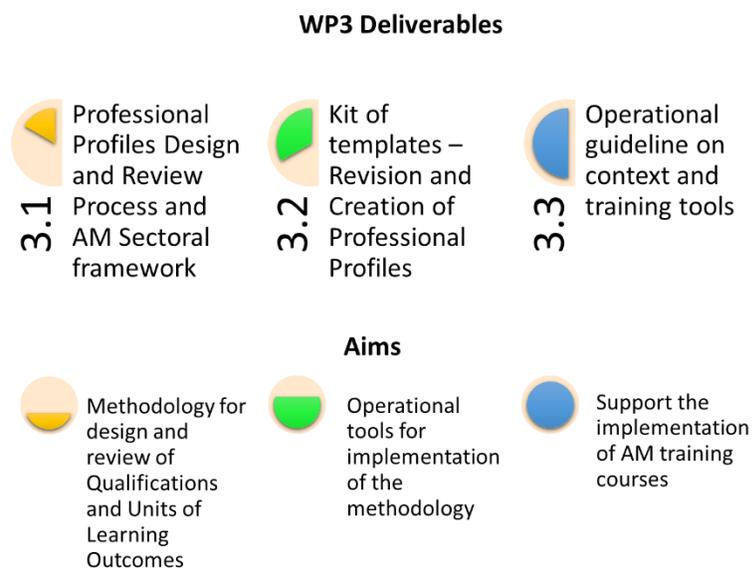


Figure 1: Aperçu des livrables du WP3

La principale contribution de ce document est de cartographier et d'évaluer les contextes de formation et les outils de formation qui correspondent aux acquis d'apprentissage des certifications. Le contexte d'apprentissage est défini comme la situation dans laquelle l'apprentissage ou la compréhension a lieu. Les outils de formation sont tous ces programmes, plates-formes ou modèles qui aident les formateurs à dispenser leur formation à leurs apprenants. En 2008, le CEC a défini les résultats d'apprentissage comme des déclarations de ce qu'un apprenant sait, comprend et est capable de faire à l'issue d'un processus d'apprentissage, qui peut être défini en termes de connaissances, d'aptitudes et de compétences. Cela peut être particulièrement important pour l'évaluation des connaissances. Dans le cas du projet SAM, les résultats d'apprentissage seront spécifiés en tant que compétences et connaissances. Souvent, la « taxonomie de Bloom » est utilisée pour décrire les connaissances et les compétences. Ce modèle est un modèle hiérarchique qui catégorise les objectifs d'apprentissage en différents niveaux de complexité, allant des connaissances et de la compréhension de base à l'évaluation et à la création avancées.

Ce document contient une liste et une description des contextes d'apprentissage et des outils de formation utilisés dans la formation FA. Pour chaque contexte/outil de formation, il y a une description de ses "avantages",

"contraintes" et "recommandation pour être utilisé dans la formation FA", qui donnent un bon aperçu de la façon dont chaque contexte/outil peut contribuer à la formation/ enseignement.

En outre, le livrable bénéficie des données collectées au moyen de l'enquête auprès des centres de formation pour montrer l'état des compétences demandées, à savoir les compétences numériques et vertes, qui sont enseignées dans les cours FA existants. Enfin, dans la dernière section, quelques exemples d'outils de formation et d'apprentissage des partenaires SAM appuient les résultats de l'analyse des documents, qui sont abordés dans les sections précédentes.

La dernière révision de ce livrable (numéro 3) comprend des résultats supplémentaires de la méta-analyse réalisée avec les données fournies par les études pilotes et l'enquête menée par les partenaires au cours des trois premières années du projet SAM. Il comprend également les conclusions de la méta-analyse et fournit une image holistique des contextes et des outils de formation issus de l'analyse pilote et de l'enquête et une interprétation des outils de formation les plus utilisés par besoin de compétence particulier. La dernière section de ce livrable mis à jour comprend un ensemble de recommandations sur les contextes et les outils de formation à la fabrication additive qui ont été discutés avec des experts et des acteurs industriels lors d'un atelier organisé le 21 avril 2022. Les recommandations identifiées ont été validées lors d'une autre session spéciale lors de la 8e session du projet SAM. réunion technique tenue en mai 2022.

2 Présentation

Le marché mondial de la FA valait 9,3 milliards de dollars en 2018, en croissance rapide de 18 % depuis l'année précédente, selon SmarTech Publishing, l'une des principales sociétés d'analyse d'impression 3D (1) (par exemple, le propriétaire de 3DPrint.com, 3DR Holdings, a acquis une participation dans SmarTech Markets Publishing ; la principale société d'analyse de l'industrie dans le secteur de la fabrication additive. SmarTech Publishing est la seule entreprise à fournir une analyse de marché granulaire pour l'industrie de l'impression 3D/fabrication additive). De plus, dans une étude récente, Deloitte indique que l'industrie croît à un rythme encore plus rapide et que le marché mondial de la FA devrait dépasser les 21 milliards de dollars de revenus d'ici 2020 (2)^[1]. Dans le même temps, la Society of Manufacturing Engineers (SME) a constaté que neuf fabricants sur dix ont signalé des difficultés à recruter les bons employés (3)^[2]. Par conséquent, l'éducation et la formation professionnelle en FA sont nécessaires de toute urgence pour permettre la croissance de l'industrie de la FA.

Suite aux principaux efforts menés dans les tâches précédentes de ce module de travail, qui incluent la définition d'une méthodologie pour concevoir et réviser des profils professionnels en fabrication additive (FA), ce livrable vise à fournir un aperçu des contextes et des outils de formation qui permettront aux parties prenantes de mettre en œuvre les profils professionnels dans un scénario de cas réel. L'accent est mis sur les contextes d'apprentissage/d'enseignement spécifiques qui correspondent bien aux programmes d'éducation/de formation en FA, ainsi que sur les outils de formation qui aident les stagiaires/apprenants à atteindre des résultats d'apprentissage spécifiques.

Ce livrable, avec D3.1 et D3.2, fournit un kit d'outils comprenant la méthodologie de création et de révision du profil professionnel, un kit de modèles pour appliquer cette méthodologie et une carte du contexte/des outils de formation permettant aux WP5 et WP6 de faire un pas en avant lors de la mise en œuvre des cours pilotes.

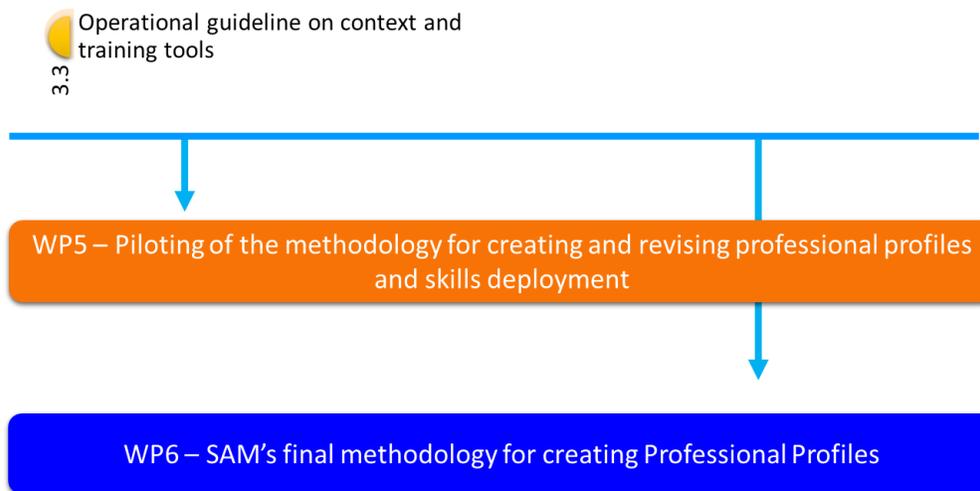


Figure 2: Flux d'interaction entre D3.3 et les résultats restants du projet

Pour explorer pleinement la disponibilité de contextes d'apprentissage et d'enseignement spécifiques à la FA, le document vise à étudier l'état actuel des contextes d'apprentissage et des outils de formation en FA disponibles. Par conséquent, l'examen est divisé en deux sections principales axées respectivement sur les contextes d'apprentissage (section 3) et les outils d'apprentissage (section 4). À la fin de chaque section, un aperçu des aspects positifs et négatifs de chaque contexte ou outil est présenté. Un aperçu des différentes initiatives européennes pertinentes concernant l'éducation en FA est donné dans la section 5. Enfin, l'expérience directe des partenaires SAM, qui peuvent être considérés comme des organisations leaders opérant dans le domaine européen de la FA, est décrite dans la section 6.

3 L'état actuel du contexte d'utilisation et des outils de formation en fabrication additive

Afin de clarifier le sens du contenu des sections suivantes (3.1 et 3.2), un glossaire des termes concernant le contexte d'apprentissage et les outils d'apprentissage a été inclus dans l'annexe 1 (page 59).

3.1 État actuel des contextes d'apprentissage dans la fabrication additive

3.1.1 Présentation

La fabrication additive est l'un des domaines les plus prometteurs et en croissance rapide de la fabrication et de l'ingénierie. Les qualifications évoluent au-delà des compétences techniques et incluent d'autres types de compétences, classées et discutées plus en détail dans le WP2. De plus, l'analyse des programmes d'éducation/formation existants en FA révèle que la plupart d'entre eux ne se sont pas focalisés sur un seul contexte d'apprentissage mais consistent plutôt en une combinaison de contextes d'apprentissage. Il s'étend maintenant à divers domaines. Par conséquent, la FA est considérée comme un domaine multidisciplinaire qui devrait être traité de manière appropriée dans les programmes d'éducation et de formation, sans oublier les racines sous-jacentes du génie mécanique et des matériaux.

Malgré la forte croissance industrielle, l'enseignement de la FA est actuellement fortement sous-représenté dans le milieu universitaire, étant considéré comme une matière mineure dans les programmes d'ingénierie. La plupart des universités abordent la FA avec des cours d'introduction et des ateliers appliqués pour démontrer les capacités de la FA en matière de liberté de fabrication et de conception.

Un exemple de cours bien développé en FA, est l'approche pédagogique au Massachusetts Institute of Technology (MIT) pour les élèves ingénieurs qui diffère de celle pour les stagiaires en industrie : la formation FA est un contexte pédagogique triangulaire (l'arbre des outils d'apprentissage de base) composé de séances en classe, d'une série de pratiques en laboratoire et de projets de cas réels. Le cours commence par les cours magistraux pour construire une base de compréhension de la FA et de ses processus associés. Après l'introduction, les conférences et les séances de laboratoire permettent aux étudiants de faire l'expérience à la fois de l'apprentissage et de l'application, ce qui permet aux étudiants de faire l'expérience simultanément de l'apprentissage et de la pratique. Par exemple, la modélisation par dépôt de fil fondu (FDM) est enseignée dans la classe et des équipes d'étudiants se voient attribuer des pratiques liées au processus, y compris le prétraitement (travailler avec certains logiciels pour la conception de pièces), l'impression (employer et observer la fonctionnalité de la machine d'impression), le post-traitement et l'inspection. La prochaine étape est une affectation de projet individuel. Chaque étudiant sera chargé de concevoir et / ou d'assembler une pièce dans le but de lui donner une expérience pratique de la gestion des défis liés aux contraintes et aux attributs du processus de FA choisi. Cette méthode centrée sur les problèmes permet aux étudiants de devenir proactifs et d'apprendre à étudier les problèmes, quelles compétences sont nécessaires pour les résoudre, et d'apprendre à étudier les problèmes en mettant en évidence les compétences nécessaires. Après cela, en fonction de leur compréhension ainsi que des ressources disponibles, les étudiants seront en mesure de sélectionner le processus FA le plus approprié pour terminer le devoir. Les étudiants sont confrontés à de vrais problèmes, ce qui renforcera leurs connaissances et leurs compétences. Il supprime les lacunes de certaines méthodes conventionnelles axées sur la fourniture d'informations spécifiques aux étudiants et leur demandant de faire un devoir basé sur ces informations.

Un autre exemple peut être trouvé au Département de Génie mécanique du Politecnico di Milano où des cours de niveau Master of Science (MSc) et une formation professionnelle sont proposés. Deux exemples de cours MSc sur la FA incluent un cours de fabrication additive dispensé dans différentes filières (génie mécanique, ingénierie de l'automatisation, ingénierie de gestion, conception) (4) et le cours de fabrication additive pour l'espace et l'aérospatiale pour les étudiants en génie mécanique et de gestion, qui est également ouvert aux doctorants (5). Ces cours sont basés sur un mélange de cours magistraux, de discussions d'études de cas, de témoignages de l'industrie, d'exercices en classe, d'activités de laboratoire ainsi que de formation sur l'ordinateur, par conception, de programmes spécifiques dédiés à la FA, etc. Des activités de laboratoire sont menées pour permettre aux étudiants de développer des connaissances pratiques sur des problèmes spécifiques de FA et leur représentation virtuelle.

Les chercheurs et les facultés du Politecnico di Milano sont également impliqués dans différents programmes de formation en FA dispensés aux professionnels. Quelques exemples incluent: 1) Master Additive Manufacturing, Milan, organisé par MIP Graduate School of Business - Management Academy, Politecnico di Milano, 2) Metal Additive Manufacturing - Scenario Research and Industrial Experience, organisé par le Centre international des sciences mécaniques, Università di Udine, 3) Master Bosch Industry 4.0, organisé par Cefriel, Politecnico di Milano pour Bosch Italia, 4) Master Progetto Formativo Additive Manufacturing Advanced, organisé par Confindustria Firenze Formazione pour Baker Hughes, a GE Company, 5) Master Additive Manufacturing, organisé par Rina Consulting. Ces cours sont basés sur un mélange de cours magistraux, de visites de laboratoires et d'activités de laboratoire en fonction de la formation et du niveau d'expertise des stagiaires. Des exemples de contextes d'apprentissage et d'outils de formation liés à ces cours sont abordés dans les sections suivantes.

Dans le cadre du projet SAM, en tant que scénarios de "cas réels", des cours pilotes de qualification certifiés proposés par l'EFW (un partenaire principal du projet SAM) sont redéveloppés ou développés. La qualification qui sera développée sera sélectionnée parmi les différentes enquêtes qui seront envoyées deux fois par an à l'industrie, aux centres de formation et à la main-d'œuvre. Parmi celles-ci, les qualifications qui semblent être les plus demandées seront sélectionnées pour être pilotées par les différents partenaires dans des conditions réelles. Par conséquent, les partenaires sont invités à suivre la structure, les unités de compétence et les connaissances détaillées aussi étroitement que possible.

Pour tester l'applicabilité et la livraison de ces scénarios pilotes de "cas réels", un certain nombre de sessions ont été organisées au cours du projet en se concentrant sur différentes UC à chaque fois.

Le pilotage de la 1ère étape a eu lieu fin 2020/début 2021, les UC se sont concentrées sur :

Competence Unit	Hours /Mode	Partner
00 AM overview	5 /Presential	Lortek
01 DED–Arc Process	42 /Presential	AITIIP
08 DED-LB Process	15 / Online	FA
15 PBF-LB Process	27/ Online	IMR
25 Post Processing Methods for AM Parts	Online	LMS
26 Introduction to Materials	Online	UBRUN Ansys
27 AM with Steel Feedstock	Online	EPMA
30 Additive Manufacturing with Nickel Feedstock	7/ Online	EPMA
31 AM for Titanium	11/Presential	Lortek
34 Process Selection	20 /online	EC Nantes
35 AM process integration	21/Presential	AITIIP
36 Coordination of AM	7/ Online	MTC
43 Production of PBF-LB parts	18/Online	POLIMI
44 Conformity of PBF-LB parts	20/Online	POLIMI
45 Conformity of facilities featuring PBF-LB	14/ Online	ISQ
61 Simulation Analysis	20 /Online	IDONIAL
62 AM Simulation Execution	44/online	Ansys

Le pilotage de la 2e étape a eu lieu à l'été 2021, les UC sur lesquelles les apprenants se sont concentrés étaient :

Competence Unit	Hours /Mode	Partner
63 Certification, Qualification and Standardization in Additive Manufacturing (CQS)	7/Online	IMR & MTC
63 Certification, Qualification and Standardization in Additive Manufacturing (CQS)	7 /Online	LORTEK
64 Business for AM	17 / Online	EC Nantes
65 - Overview on polymer materials and properties	Online	ISQ
65 - Overview on polymer materials and properties	Online	UBRUN & Ansys
66 - Designing Polymers AM Parts	Online	MTC &AITIP
67 - Post Processing for Polymers	7 /Presential	LAK
68 - Design for Material Extrusion	Online	FA
68 - Design for Material Extrusion	Online	LMS
69 - Design for PBF Polymer	Online	LMS & AITTIP

Les pilotes ont culminé avec le pilote de qualification du coordinateur FA Métal (octobre 2022-mai 2023)

Competence Unit	Hours /Mode	Partner
00 - Additive manufacturing Process Overview	3.5 / Online	ISQ
01: DED-Arc Process	35 / Online	MTC & LORTEK
08- DED-LB Process	28/ Online	MTC
15- PBF-LB Process	28/ Online	IMR
25- Post Processing	10.5/ Online	LMS
34- Process Selection	24.5/ Online	EC NANTES
35- Metal AM Integration	17.5/ Online	IDONIAL
36- Coordination Activities	7/ Online	MTC
72- Metal Binder Jetting process	21/ Online	POLIMI & MTC

3.1.2 Opportunités en période de COVID

La pandémie de maladie à coronavirus (Covid-19) a eu un impact sur le domaine de l'éducation, principalement avec la suspension généralisée des opérations en face à face dans les établissements d'enseignement de plus de 190 pays pour limiter la propagation du virus et réduire ses effets. L'industrie ou les entités éducatives ne pouvaient pas interrompre le développement des capacités, de sorte que des solutions devaient être trouvées très rapidement. Dans les difficultés causées par la pandémie, des opportunités se sont présentées.

Avant Covid-19, les programmes d'apprentissage numériques et virtuels étaient à la hausse, et nous constatons maintenant une augmentation significative de ces programmes d'apprentissage que de nombreux jeunes stagiaires apprécient. On pourrait dire que l'amélioration des capacités d'apprentissage qui a émergé de la pandémie pourrait s'avérer avoir un effet favorable à long terme. Les activités de meilleures pratiques, allant de l'urgence et de la tactique à la stratégie, peuvent aider les programmes d'apprentissage en milieu de travail à maintenir leur élan et leurs avantages tout en jetant une nouvelle base pour un apprentissage virtuel et mixte efficace parallèlement à l'enseignement traditionnel en face à face. Établir une équipe d'apprentissage, protéger les stagiaires dans les programmes en personne, soutenir l'apprentissage numérique, expérimenter des tactiques numériques alternatives, et pratiquer et se préparer à divers résultats sont tous des exemples de ces actions.

Le Covid-19 a créé des défis d'innovation (et donc des opportunités) pour les étudiants et les formateurs qui ont dû adapter les pratiques de formation sans proximité humaine. Les formateurs expérimentent désormais davantage l'apprentissage virtuel et adoptent de nouvelles technologies telles que les environnements de réalité augmentée et virtuelle pour résoudre ce problème. À titre d'exemple, on pourrait mentionner que la formation en fabrication est meilleure lorsqu'elle est pratique, il sera donc vital pour les prestataires de formation de découvrir des moyens innovants de maintenir le même niveau d'enseignement, même face à la crise. En conséquence, la fabrication est devenue de plus en plus sophistiquée et numérique à mesure que les organisations adoptent les technologies (voir *Virtual Reality Market Share & Trends Report, 2021-2028* (grandviewresearch.com) et *The Impact and Potential of Virtual Reality Training in High-Consequence Industries* (trainingmag.com)), ils doivent rester à jour. En témoigne l'essor de l'industrie 4.0 et de l'Internet industriel des objets, ou IoT.

Certaines tendances ont été relevées. En effet, outre les universitaires, les programmes éducatifs et l'évaluation, le maintien de la motivation des stagiaires est devenu un besoin critique pendant la période de pandémie. De plus, le perfectionnement et la reconversion doivent commencer immédiatement pour que les entreprises soient dans la meilleure position possible pour aller de l'avant. Les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS) facilitent la connexion avec les stagiaires à distance et à tout moment en hébergeant du contenu d'apprentissage en ligne. Cependant, ils ne donnent pas toujours une zone d'évaluation, par exemple Moodle est une plate-forme d'apprentissage en ligne où les examens QCM peuvent être passés et notés. Ils peuvent proposer des quiz et une notation automatique, mais ils ne sont pas à la hauteur des compétences. Comme mentionné ci-dessus, même si les outils de diffusion en ligne et mixtes pour l'apprentissage ne sont pas nouveaux, la pandémie de Covid-19 les a mis au premier plan. La reconversion et le perfectionnement sont également devenus essentiels pour les personnes qui viennent de perdre leur emploi. Les cours flexibles, facilement consommables et pertinents pour l'industrie sont très demandés.

Enfin, les micro-informations d'identification sont devenues un choix populaire. Ces petits cours connus sous le nom de micro-apprentissage peuvent être construits en décomposant une unité de compétence et peuvent être entièrement approuvés par une organisation professionnelle. Cette approche de l'apprentissage plaît aux étudiants car elle leur permet de se concentrer sur la compétence spécifique qu'ils désirent et d'acquérir celle-ci. Cela aide les

apprenants à améliorer leurs compétences et à rester à jour dans une industrie en évolution rapide. Le micro-apprentissage devrait rester très demandé en raison de ces facteurs.

En conclusion, les futurs étudiants recherchent une flexibilité accrue pour accéder à la formation. Cela peut être soutenu par les employeurs sous la forme d'une formation formalisée en milieu de travail avec une certification reconnue ou d'options de formation indépendantes qui ne sont pas difficiles du point de vue du temps ou du point de vue financier (par exemple, les étudiants à temps partiel représentaient 81 % des 4,2 millions d'étudiants australiens de l'EFP l'année dernière). Les attentes des apprenants ont changé et les préférences des apprenants incluent l'apprentissage en ligne, en face à face ou mixte (l'apprentissage mixte est une approche combinée de la prestation de l'enseignement utilisant des sessions d'accès à distance ou bien à distance avec des heures de contact conventionnelles en personne). La liberté accordée par la livraison en ligne permet à l'évaluation d'être accessible, portable, flexible et facilement adaptable. En général, les stagiaires/étudiants peuvent être situés partout où la technologie est disponible, y compris la salle de classe, la bibliothèque, le lieu de travail ou même le domicile. Enfin, il est important de mentionner qu'il existe des opportunités de financement dans le but d'améliorer la numérisation des organisations et des entreprises en mettant à jour les technologies existantes et en offrant des incitations à l'enseignement supérieur - celles-ci sont disponibles au niveau national et international.

3.1.3 Apprentissage en classe/ Apprentissage présentiel

L'apprentissage en classe est un apprentissage présentiel. L'environnement d'apprentissage est créé dans les murs physiques d'une salle de classe où les élèves et l'enseignant sont physiquement. De plus, ces classes sont classées comme suit :

- Cours magistral : un type de cours présentiel où l'enseignant parle d'un sujet pendant une longue période de temps. Peu d'interaction entre le professeur et les élèves. Méthode à sens unique (<https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>).
- Séminaires : un type de classe présentielle où les étudiants se relaient pour donner leur avis sur un sujet à la classe. Les étudiants discutent de ce qu'ils ont appris du cours magistral (<https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>).
- Atelier : un type de classe présentielle similaire aux séminaires où les étudiants parlent et l'enseignant modère la discussion sur un sujet spécifique. L'atelier implique des exercices plus interactifs pour encourager la communication entre les participants et peut prendre une journée entière ou plusieurs jours (<https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>).

Dans une enquête réalisée dans le cadre du projet SAM (livrable D5.2), 58 % des participants à l'enquête ont déclaré que l'enseignement en FA se déroule dans un centre éducatif. Aujourd'hui, de nombreuses universités proposent des masters à temps partiel et à temps plein en FA sur deux semestres. Ceux-ci comprennent souvent des projets de groupe, des projets individuels et une thèse finale. Des études de master en FA qui durent généralement deux semestres pouvant être suivis à temps plein ou à temps partiel. Les études sont principalement divisées en modules enseignés, projets de groupe, projets individuels et / ou thèse finale.

Les sujets des modules enseignés sont livrés dans un enseignement de style salle de classe sous la forme de conférences et de tutoriels. Le nombre d'heures de contact dépend en grande partie du sujet du module et varie

d'une université à l'autre. Des directives sur les heures peuvent être trouvées dans les documents fournis par EWF ou CLLAIM (voir section 4). L'évaluation des résultats d'apprentissage se fera sous la forme d'examens écrits, d'études de cas, d'essais, de présentations et de tests. La plupart des universités proposant des diplômes ou des masters disposent de machines de FA dans leurs laboratoires d'enseignement.

Projets en groupe, les étudiants travaillent ensemble pour résoudre des problèmes industriels proposés par le directeur de cours. Le projet applique des connaissances techniques et offre une formation au travail d'équipe et la possibilité de développer des aspects non techniques du programme enseigné. Les projets sont souvent soutenus par des organismes externes et posent des scénarios réels.

Les projets individuels seront également sélectionnés avec le directeur de cours. L'élève peut faire preuve de recherche et de réflexion indépendantes.

Les aspects multidisciplinaires impliqués dans la FA conduisent à un mélange de formation sur les aspects théoriques et d'activités pratiques. La formation en classe pour les étudiants en maîtrise vise à présenter les processus de FA et leurs applications, à discuter de leurs implications techniques et commerciales pour les concepteurs, les ingénieurs, les « fabricants » et les autres utilisateurs potentiels de cette technologie de fabrication avancée.

À titre d'exemple, les sujets abordés dans la formation en classe du cours MSc Additive Manufacturing organisé au Politecnico di Milano sont :

- Introduction. Principes couche par couche. Avantages et limitation de la FA. Développement historique de la technologie FA. Chaîne de processus FA généralisée. Matériaux et applications industrielles : prototypage rapide, outillage rapide, fabrication numérique directe. Sélection des processus, disponibilité et tendances du marché, opportunités commerciales.
- Technologie FA : Polymères. Description et modélisation des principaux procédés de FA pour les polymères. Machines, problèmes logiciels, post-traitement, conception pour la FA polymère.
- Technologie FA : Métaux. Description et modélisation des principaux procédés de FA pour les métaux. Machines, problèmes logiciels, post-traitement, conception pour la FA métal.
- Vérification du produit FA. Le besoin de métrologie de précision. Métrologie dimensionnelle et géométrique pour la FA : limites des systèmes de mesure tactiles et optiques ; systèmes de mesure basés sur le volume : tomodensitométrie 3D à rayons X. Mesure de topographie de surface (tactile, optique ou autre et méthodes d'analyse).
- Surveillance du processus FA. La nécessité d'un traitement de précision. Surveillance en ligne pour la FA : mesure des variables de processus, approches de surveillance, capteur et fusion de données.

Un autre exemple d'enseignement en classe peut être vu dans le cours de fabrication additive pour l'espace et l'aérospatiale organisé au Politecnico di Milano. La formation en classe vise à fournir une compréhension approfondie de toutes les technologies FA actuelles utilisées dans les secteurs industriels haut de gamme. Chaque procédé de fabrication des métaux (conventionnels et non conventionnels), des polymères, des matériaux composites, des céramiques et du verre, des cellules vivantes/organes humains, est décrit en détail. Chaque procédé est analysé en termes d'applications principales et du procédé qui offre les performances idéales ainsi que tous les avantages et inconvénients associés.

Le cours aborde ensuite tous les défis techniques actuellement ouverts. Par exemple, les aspects de conception et les règles de conception associées pour la FA, les défis de fabrication qui commencent par l'approvisionnement et le contrôle des matières premières (méthodes de criblage de poudre, spécifications d'approvisionnement et exigences de vérification). Pour le processus de fabrication lui-même, la stabilité du processus et sa surveillance/contrôle, la plupart des universités proposant des formations diplômantes ou masters disposent de machines FA dans leurs laboratoires d'enseignement. Le produit joue le rôle principal. De plus, les voies de qualification et de validation spatiales sont abordées. Enfin, la normalisation est présentée afin de faciliter l'adoption par le marché de l'impression 3D et de promouvoir son potentiel d'innovation pour la compétitivité industrielle. Enfin, le cours donne un aperçu des développements futurs liés à la FA, y compris l'impression 4D ainsi que les développements de l'industrie 4.0.

Les cours virtuels sont récemment devenus une nécessité en raison des limitations imposées par la propagation du coronavirus. Cela a déjà contraint les cours existants à être temporairement proposés à distance. On s'attend à ce que Covid-19 ait un impact massif sur la formation future. Bien que les méthodes de formation aient été partiellement adaptées aux plateformes de classe à distance, les contenus sont restés les mêmes. Cependant, il est intéressant de souligner que cette situation contextuelle a également ouvert les discussions et la compréhension du rôle des technologies FA face aux situations d'urgence et à une demande rapide de produits couramment fabriqués par d'autres méthodes de fabrication. L'inclusion de ces discussions dans les cours de formation sur la FA peut avoir le potentiel de sensibiliser les stagiaires au rôle stratégique joué par la FA au niveau national et international.

Les enseignements de fabrication additive sont sporadiquement mis en œuvre dans les salles de classe des élèves du secondaire et des ingénieurs de premier cycle. Au niveau du diplôme d'ingénieur, la formation FA prend la forme de certaines classes dans le cadre d'un programme d'études plus large. À titre d'exemple, Granta Design a développé des ressources pour l'enseignement de premier cycle et de troisième cycle qui se concentrent sur les cours traditionnels d'ingénierie des matériaux, mais incluent la FA comme un domaine en pleine croissance pour les nouvelles ressources. Les unités de cours PowerPoint prêtes à l'emploi et les cahiers d'exercices associés sont mis à disposition dans le HUB des ressources pédagogiques <https://grantadesign.com/education/teachingresources/>.

Des tableaux de propriétés des matériaux personnalisés peuvent être créés pour illustrer un point particulier, et copiés dans PowerPoint, ou enregistrés en tant que fichier de projet et ouverts dans le logiciel afin que vous puissiez annoter le tableau en temps réel pendant votre cours. Le logiciel GRANTA EduPack est également utilisé comme base pour de courts exercices pratiques pour les étudiants pendant les séances en classe, ou comme « devoirs ». Les ressources pédagogiques de l'EduPack proposent de tels exercices. Les élèves peuvent étudier des matériaux et créer des rapports ou des affiches pour prouver leur apprentissage. Le logiciel EduPack est disponible dans la plupart des universités d'Europe pour l'enseignement de l'ingénierie des matériaux par le biais de licences à l'échelle du campus. Le tableau 2 donne un aperçu du contenu des unités d'enseignement intégré dans l'EduPack.

Tableau 1. Résumé du contenu de l'unité d'enseignement soutenant l'apprentissage des principes des technologies de FA.

AM Principle	Content Unit
Generic Principles of the AM Technologies	Layering Nature
	Forming processes (e.g. melting, sintering)
	Post-Processing
Design for AM	Description of the AM Freeform nature vs conventional subtractive vs other forming manufacturing
	AM Buildability Restrictions
	AM Manufacturability and design alternations
	Topology Optimization and Generative Design enabled with AM
AM in Series Production	Economies of scale vs mass customization
	AM - added value for production
	Additive Manufacturing for the Product development phases and final production phases

Une recherche sur Internet des cours de formation FA (Master et Bachelor) pour différentes organisations à travers l'Europe, ainsi que des cours de formation industrielle a montré la couverture des sujets suivants, selon les domaines d'intervention :

- Procédés FA pour les métaux
- Procédés FA pour les polymères
- Principes d'ingénierie et scientifiques de la FA
- Matériaux pour la FA (plastique/métal)
- Élaborer des stratégies
- Qualité de fabrication (défauts, normes, procédures, contrôle statistique)
- Inspection des caractéristiques de qualité
- Métallurgie en FA (caractéristiques métallurgiques / Fabrication de forme quasi finie)
- Post-traitement en FA – Principes de traitement thermique
- Conception pour FA/CAO
- Analyse des éléments finis
- Simulation de processus/Modélisation en FA
- Logiciel en FA
- Systèmes de données en FA

- Mise en œuvre en usine (industrie 4.0)
- Conception de systèmes FA
- Automatisation et robotique
- Pensée critique et résolution de problèmes
- Techniques d'équipe et d'idéation interfonctionnelles pour semer la créativité

3.1.4 Apprentissage en ligne/apprentissage à distance

Une enquête menée dans le cadre du WP 4.3 du projet SAM a montré que l'éducation en ligne représentait 27,4 %. Cependant, comme mentionné précédemment dans la section 2.2, une croissance constante est attendue en raison de la propagation du CoVid 19 et de la numérisation de l'éducation et de la formation.

L'apprentissage en ligne est communément appelé apprentissage assisté par ordinateur, technologie interactive et apprentissage à distance. Néanmoins, selon la bibliographie, il existe une légère différence entre l'apprentissage en ligne et l'apprentissage à distance. L'apprentissage en ligne est considéré comme un enseignement non en direct. Les élèves ne sont pas censés être disponibles à une heure ou à un jour précis pour l'enseignement en classe de l'enseignant (<https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>). Les étudiants ont accès à un environnement d'apprentissage virtuel (Virtual Learning Environment - VLE) tel que Moodle ou Dokeos. Le VLE agit comme un support de communication et un outil d'apprentissage interactif. Certaines entités offrent un soutien de tutorat aux étudiants qui entreprennent le programme. Ces tuteurs sont joignables par email ou Skype en cas de besoin (<https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>; <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>; Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, *Internet and Higher Education* (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001). D'autre part, l'enseignement à distance implique que les élèves utilisent du matériel pédagogique (à la fois imprimé et électronique) et reçoivent des instructions de l'enseignant à des moments différents. Cela pourrait être en temps réel en utilisant Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom ou/et des alternatives similaires ou une flexibilité chronométrée. Ainsi, on s'attend à ce que les étudiants soient parfois disponibles pour l'enseignement de manière synchrone. Les travaux réalisés par les élèves ont été vérifiés numériquement par l'enseignant (<https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>; Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, *Internet and Higher Education* (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001 ; <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>). Ils incluent également souvent des ateliers en face à face, des écoles d'été ou des «résidentiels» dans le cadre du programme d'études (<https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>).

Un type d'apprentissage en ligne se fait via un atelier virtuel. Selon Engineering Education Australia (<https://eea.org.au/insights-articles/what-virtual-workshop>), la définition d'un atelier virtuel est une méthode structurée de prestation de style de classe en ligne en direct pour la formation et le développement professionnel. Les ateliers virtuels sont interactifs et utilisent des outils tels que des salles de discussion pour les discussions, des

activités basées sur des études de cas pratiques et une communication bidirectionnelle. Les ateliers virtuels comprennent également une gamme de documents de référence pour aider les participants à appliquer les apprentissages dans la pratique après la formation et peuvent également être combinés avec des éléments de pré-lecture ou d'étude à leur rythme pour maximiser le contenu couvert dans le cours.

L'apprentissage en ligne et l'apprentissage à distance peuvent être divisés en différents domaines : cours universitaires en ligne pour les étudiants de Master, cours en ligne en accès libre, plateformes en ligne telles que MOOC et cours de courte durée pour l'industrie. Les formations gratuites sont moins informatives et plus adaptées au grand public. Les cours de master facturant des frais de scolarité fournissent des connaissances approfondies. La plupart des universités qui proposent des cours de master en FA proposent également des programmes conçus pour être suivis en ligne. Cependant, les cours qui seront suivis en ligne peuvent encore nécessiter une formation sur place dans les laboratoires. Les cours sont divisés en différents modules et les mêmes sujets seront couverts comme cela a été montré pour l'enseignement en classe. Selon le type d'apprentissage en ligne, différentes approches d'apprentissage seront appliquées. L'apprentissage basé sur les faits est principalement lié aux introductions et aux cours gratuits, tandis que l'apprentissage par projet, par enquête ou par problème peut être davantage appliqué à l'enseignement des étudiants en master.

Comme mentionné précédemment, le MIT se distingue parmi les institutions qui proposent un apprentissage en ligne : des conférences vidéo sont données et les étudiants apprennent auprès d'experts de l'éducation et de l'industrie via des entretiens. Les pièces fabriquées sont évaluées en ligne et l'utilisation de logiciels de pointe est prévue à l'avenir. Afin de communiquer, une plate-forme edX basée sur un navigateur est utilisée, qui comprend du multimédia, des présentations, des données de pièces en 3 dimensions et des outils interactifs et quantitatifs. Les conceptions CAO peuvent être enregistrées dans un cloud et les modèles de coûts sont facilement accessibles. De plus, l'accessibilité en ligne permet une base de connaissances en ligne avec un contenu supplémentaire de sujets FA élargissant la gamme de sujets enseignés. La communication entre étudiants et pairs peut se faire via un panel de discussion en ligne. Outre la plate-forme de formation en ligne de l'Université MIT, plusieurs autres plates-formes de formation en ligne associées à des universités renommées telles que UDEMY, Alison, Coursera et EDX proposent une gamme de cours de formation non spécialisés / spécialisés. De plus, l'Union européenne propose des formations en ligne gratuites, des cours couvrant les sujets de base pour fournir une compréhension plus large de la FA (voir chapitre 5 – Activités européennes). Les personnes intéressées par la FA peuvent également accéder aux connaissances via des manuels en ligne, des webinaires (souvent fournis par des fournisseurs de FA) et des articles de blog.

3.1.4.1 Plateformes d'apprentissage en ligne en cours d'utilisation

3.1.4.1.1 3DExperience par Dassault Systèmes

La 3DExperience est une plate-forme commerciale globale orientée base de données et permettant une collaboration entre différents actionnaires auxquels un accès a été accordé. La plate-forme est axée sur divers rôles professionnels pour différents secteurs technologiques et, selon le rôle sélectionné et/ou acheté, des applications intégrées peuvent être utilisées pour guider l'utilisateur tout au long d'un processus.

Dans le cas de la FA, elle couvre toute la chaîne de processus et peut être appliquée tout au long du processus d'apprentissage. La plate-forme s'adresse principalement aux ingénieurs et aux concepteurs, mais également aux étudiants pour fournir une plate-forme d'apprentissage pratique qui pose un guide étape par étape à travers la chaîne de processus FA. La plateforme est accessible à des fins privées, entreprises ou cloud public. Ainsi, un fournisseur, comme une université, peut accorder l'accès à différents actionnaires (étudiants) pour travailler

individuellement ou en équipe sur des projets FA. Théoriquement, un groupe d'étudiants peut appliquer une étude de cas réelle en considérant différents rôles dans une entreprise. La plate-forme est basée sur un PLM (Enovia), la gestion des utilisateurs, des autorisations et du contrôle de version est donc assez simple. La configuration initiale est similaire à la création d'une équipe dans Teams.

Quatre applications différentes peuvent être choisies : CATIA pour créer une conception générative fonctionnelle, Delmia pour simuler le processus de planification de la construction lors de la fusion de lit de poudre, Simulia pour effectuer des simulations de fabrication FA et CATIA 2 pour créer des morphologies de formes virtuelles à réelles. En fonction des besoins des étudiants, ils choisissent une application ou suivent étape par étape la chaîne de processus. Parcourir toute la chaîne de processus aide l'étudiant à travailler avec la FA dans une approche globale. Dans CATIA, la conception et l'optimisation des pièces FA peuvent être étudiées, tandis que Delmia est un outil plus orienté processus qui se concentre sur la connaissance du processus de construction. Simulia et CATIA 2 se concentrent sur les variables de processus et leur influence sur la partie au sein du processus mais aussi sur l'influence des stratégies de post-traitement. Les applications individuelles simulent une chaîne de processus réelle et le logiciel d'expérience 3D permet aux étudiants de travailler dans un environnement réel qui est également utilisé dans l'industrie aujourd'hui. La plateforme est utilisée pour déployer la méthodologie Project Based Learning (PBL). Les utilisateurs peuvent utiliser différents outils et méthodologies au sein de la plate-forme pour développer de nouveaux produits FA et se familiariser avec différents logiciels.

3.1.4.1.2 Plateforme d'apprentissage Ansys

Ansys propose un centre d'apprentissage en ligne basé sur le Web avec des ressources de formation pour aborder les projets en cours et développer des opportunités pour améliorer les compétences en FA, en particulier pour l'ingénieur en conception et simulation en FA. Il s'agit d'un service par abonnement, avec accès à une multitude de ressources, notamment des cours en classe programmés dans le monde entier, des cours virtuels dans tous les fuseaux horaires, des cours vidéo à votre rythme, des parcours d'apprentissage pour guider la sélection de cours, des salles d'apprentissage dédiées pour les questions et la discussion, et des supports de formation détaillés. Plus précisément, les cours actuels pour développer les compétences FA via le logiciel Ansys sont :

- Introduction à Ansys Additive Prep. Les publics cibles sont les ingénieurs, les concepteurs et les opérateurs de machines travaillant avec des machines d'impression métal. Les méthodes d'enseignement consistent en des cours magistraux et des séances pratiques sur ordinateur pour valider les connaissances acquises. "Ansys Additive Prep" enseigne le flux de travail à l'intérieur du logiciel Additive Prep, de l'importation de pièces à l'exportation de fichiers de construction contenant toutes les informations nécessaires pour la machine d'impression et/ou pour la simulation d'impression. Dans ce cours, le stagiaire apprend à trouver l'orientation optimisée pour imprimer une pièce, à détecter automatiquement les zones qui ont besoin d'un support ; la manière de créer et de définir les paramètres des appuis est présentée dans le dossier de cours. Les stagiaires apprennent où saisir les paramètres de la machine d'impression pour la génération du fichier de construction. Enfin, le cours présente la prochaine étape de la simulation de fabrication additive : exporter le fichier de construction et l'utiliser dans Workbench Additive ou dans des produits d'impression additive. Ce cours enseigne où définir les paramètres des supports, comment définir les paramètres de la machine. Un certificat de formation est remis à tous les participants qui terminent le cours.
- Introduction à Ansys Additive Print : dans ce cours, les stagiaires découvrent : le processus DMLS, le processus d'étalonnage, résoudre des problèmes d'analyse thermique avancés, prédire la distorsion, différencier les options de mode de déformation, générer le support basé sur la géométrie, choisir la position de fabrication des pièces, choisir le motif de numérisation, visualiser et évaluer les résultats d'impression. Les publics cibles sont les ingénieurs, les concepteurs et les opérateurs de machines travaillant avec des machines d'impression métal. La méthode

d'enseignement comprend des cours magistraux et des séances pratiques sur ordinateur pour valider les connaissances acquises. Un certificat de formation est remis à tous les participants qui terminent le cours.

3.1.4.1.3 Centre d'éducation Granta

Granta Design développe des ressources pédagogiques et étudiantes ainsi que des bases de données de matériaux et des logiciels éducatifs à l'aide d'outils sophistiqués pour soutenir l'enseignement de la sélection, de la conception et de la durabilité des matériaux. Environ 350 ressources pour enseignants et étudiants sont mises à disposition gratuitement via le site Web Granta Education Hub sur <https://grantadesign.com/education/teachingresources>.

Les types de ressources comprennent des présentations, des exercices, des études de cas, des documents, des didacticiels vidéo. L'unité de cours "Fabrication" couvre les fondamentaux de la science des matériaux et des processus associés qui devraient constituer la base de toute formation FA. Les unités d'enseignement sont composées de : Matériaux et Forme, Choix des matériaux, Procédé et coût de fabrication, etc. Les ressources pédagogiques sont traduites en 8 langues.

3.1.5 Activités pratiques

Un aspect important de la formation dans le domaine de la FA est lié aux activités pratiques et aux visites de laboratoire. Les premiers peuvent être organisés et mis en œuvre de différentes manières. A titre d'exemple, dans le cadre du Master Bosch Industrie 4.0, organisé par Cefriel et Politecnico di Milano pour Bosch Italia, les stagiaires ont la possibilité d'expérimenter toutes les étapes de la conception de la pièce au tranchage, préparation du G-code et impression finale. Cela sensibilise les stagiaires aux enjeux pratiques liés à l'impression 3D et à son potentiel industriel. Il leur permet également de mettre en pratique les principes et notions apprises durant le cours. Au Politecnico di Milano, une salle de classe équipée de plusieurs imprimantes 3D pour polymères pouvant être utilisées directement par les étudiants est disponible au Département de génie mécanique.

Les visites de laboratoire sont également importantes, car elles permettent aux stagiaires de voir et de toucher des pièces réelles, des systèmes industriels et des prototypes de recherche. Les étudiants peuvent en apprendre davantage sur les projets de recherche et développement en cours pour avoir une meilleure idée de l'état de l'art actuel, mais aussi pour traiter des problèmes ouverts et des solutions innovantes qui ne sont pas encore sur le marché.

Dans le monde éducatif et académique, la FA a une forte présence dans les domaines des laboratoires et des ateliers. Avec l'adoption de l'imprimante 3D de bureau, l'équipement FA est devenu abordable pour les petites entités à posséder et à exploiter. Cela génère deux avantages majeurs pour l'enseignement de la FA.

Premièrement, les laboratoires ayant des activités de recherche autres que la FA peuvent tirer parti de la capacité de fabrication de leurs imprimantes de bureau et imprimer des pièces pour leurs activités de recherche. Deuxièmement, des démonstrations en temps réel de la façon dont les pièces imprimées en 3D sont considérées comme le moyen le plus précieux et le plus efficace d'introduire la FA en tant que nouvelle technologie. Cette introduction alternative hors de la classe et en direct vise à inciter les étudiants à s'impliquer activement et à s'engager dans des efforts d'apprentissage pour les technologies AM. Les activités du laboratoire de FA visent généralement à éduquer en démontrant :

- Formage de pièces en FA
- Opérations de la machine FA (charge d'alimentation, par exemple chargement et déchargement de poudre)
- Processus de post-traitement FA

3.1.6 Qualification et Diplômes en FA

Une qualification FA est actuellement la validation officielle des compétences la plus populaire dans l'industrie européenne. Les institutions qui délivrent les qualifications FA sont soit des centres de formation FA (autorisés ou non - par exemple par EWF) qui fournissent également une formation pertinente pour que le participant obtienne la compréhension de la FA requise ou des centres d'évaluation qui valident les connaissances et compétences en FA du candidat.

Dans le monde académique, l'éducation en FA n'a pas de certification distincte parmi les principaux diplômes d'ingénieur. Cela se présente sous la forme d'une mineure ou d'une spécialisation au sein des grandes disciplines et des diplômes d'ingénieur. L'étudiant ingénieur peut soit sélectionner une série de cours de FA disponibles dans sa faculté, pour enrichir sa compréhension des processus de FA, soit poursuivre ses études de troisième cycle avec un Master of Science ou un doctorat en FA. Les autres certifications FA fournies dans les universités sont les maîtrises professionnelles en ingénierie ou les certificats de crédit d'études supérieures. Ce type de formation et de certification FA est bref (un an) et a généralement un caractère numérisé, comme les cours en ligne.

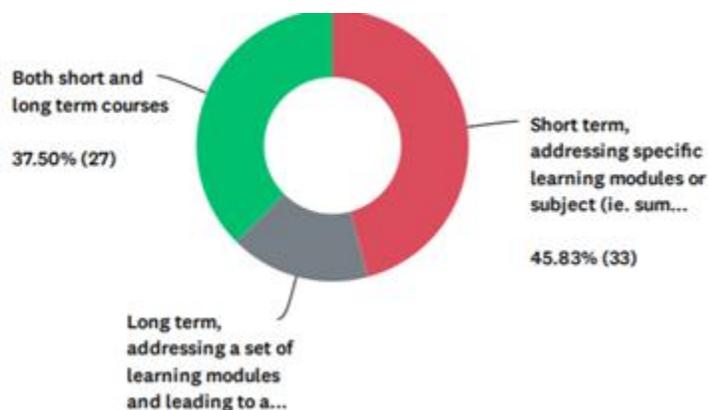


Figure 3: Durée des cours de FA

Le contenu de toutes les qualifications FA a tendance à être hautement spécialisé et ciblé sur des axes thématiques allant de la conception pour la FA métallique aux opérations de machines FA et à la manipulation de poudres FA.

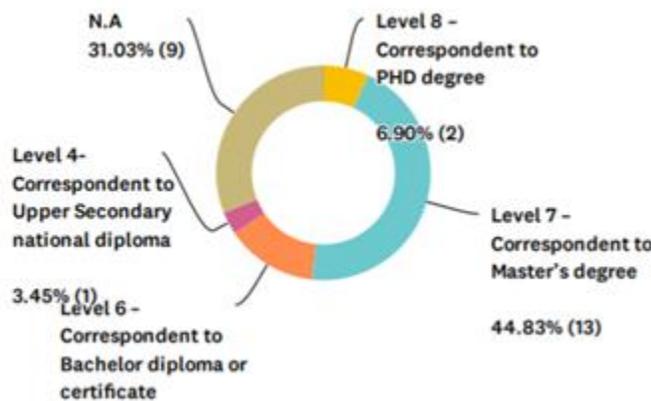


Figure 4: Targeted EQF Level

3.1.7 Formation en entreprise/ formation en cours d'emploi et stage en entreprise

La formation en entreprise ou la formation en cours d'emploi se réfère à une approche pratique ou à un cours de formation pour acquérir de nouvelles compétences et aptitudes nécessaires pour un travail fourni par l'entreprise à un travailleur ciblé (<https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>). D'autre part, le stage en entreprise est défini comme une expérience de travail à court terme offerte par les entreprises aux étudiants pour obtenir une exposition de niveau d'entrée à une industrie ou un domaine particulier où l'étudiant développe des compétences techniques et générales (<https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>).

De nombreuses entreprises du domaine de la FA proposent des cours de courte durée sur des sujets de FA. Comme les cours de courte durée visent généralement un public plus large, les sujets incluent souvent :

- Faisabilité des conceptions de pièces
- Mise en œuvre de la FA
- Processus FA
- Matériaux en FA
- Calcul des coûts des pièces FA
- Qualité de la pièce (propriétés et tolérances).

Les cours de courte durée sont souvent dispensés par des fournisseurs de services ou de technologie. De plus, les ingénieurs recevront une formation spéciale pour la validation des processus, la maintenance, le dépannage, les logiciels, l'estimation des coûts, la santé et la sécurité, ainsi que la planification et l'exécution de la numérisation et de l'impression 3D. Un exemple de cours de TUV Sud peut être vu ici : <https://www.tuvsud.com/de/store/academy/technical-trainings/additive-manufacturing>

Un programme de formation a été développé par la Fédération européenne du soudage <https://www.ewf.be/additive-manufacturing>, dans lequel différents contextes sont enseignés en fonction des différents profils de poste. Ces profils sont classés comme suit :

- Dépôt d'énergie directe - Opérateur DED (fil plus arc)

- Opérateur DED (laser)
- Opérateur de fusion laser sur lit de poudre
- Ingénieur DED (fil plus arc)
- Ingénieur DED (laser)
- Ingénieur LPBF
- Concepteur
- Inspecteur

Un autre fournisseur d'un programme de formation FA est PM Life <https://www.pmlifetraining.com/about/about-pm-life> qui a été développé par l'Association européenne de la métallurgie des poudres. Le programme vise à développer l'avenir de la métallurgie des poudres. Les gens peuvent choisir et sélectionner différents modules ou suivre un programme complet. Les cours durent une semaine et se déroulent dans différents endroits en Europe. Un stage en usine ou à l'université est proposé à la fin (trois semaines). Enfin, un certificat est décerné. Les sujets suivants sont couverts.

- Presser et fritter
- FA
- Poudre et matériaux durs

En ce qui concerne les cours destinés aux professionnels, des formations tant internes qu'externes sont réalisées. La plupart des exemples mentionnés ci-dessus (tels que Master en FA (Milan) ; Università di Udine ; Master en FA (Rina Consulting) et formation d'ingénieur en FA (MTC)) sont impliqués dans la formation externe des professionnels dans les universités ou les organismes de formation (tels que l'EFW). D'autre part, certaines organisations externes proposent des cours internes à l'industrie (comme Progetto Formativo AM Advanced (Confindustria Firenze Formazione pour Baker Hughes, une société GE). Dans le cadre du Master Bosch Industry 4.0, organisé par Cefriel, Politecnico di Milano pour Bosch Italia, certains modules de formation sur la FA ont eu lieu dans l'entreprise, tandis que d'autres modules ont eu lieu à l'université. En particulier, dispenser une partie du cours en externe facilite l'inclusion de visites de laboratoire, de sessions pratiques en interne et d'une expérience directe avec l'état -des recherches de pointe dans le domaine menées par l'Institut. La formation interne, en revanche, permet de personnaliser le contenu de la formation en fonction des besoins de l'entreprise elle-même. La formation interne peut être dispensée par des vendeurs de machines qui fournit une formation sur place spécifique à la machine ou à la technologie.

3.1.8 Apprentissage mixte

La définition de l'apprentissage mixte, qui est le mélange de techniques d'apprentissage, a été étudiée au fil des ans et il a été constaté que, dans un sens plus large, tous les contextes d'apprentissage mentionnés ci-dessus peuvent être (d'une manière ou d'une autre) considérés comme des techniques d'apprentissage mixte. L'apprentissage mixte est l'interaction entre l'enseignement en face à face et l'enseignement en ligne. Ainsi, l'enseignement en ligne (3.1.4) pourrait être mélangé avec des activités pratiques (3.1.5.). L'enseignant est libre de choisir la méthode, la combinaison et leur ratio qui pourraient être appropriés pour adapter les besoins du groupe d'apprenants. De plus, l'apprentissage mixte permet une adaptation rapide aux tendances en termes de styles d'apprentissage mais aussi une intégration rapide des nouveaux outils d'apprentissage en ligne. Ceci est considéré comme un réel avantage,

surtout à une époque où la numérisation progresse rapidement et où le professeur doit rester au fait des développements.

Plusieurs méthodes pédagogiques peuvent être employées en apprentissage mixte :

- En présentiel (traditionnel élève-professeur)
- Rotation (les élèves passent d'une station/activité à l'autre)
- Flex (les étudiants contrôlent leur parcours d'apprentissage - le professeur agit comme mentor)
- Gamification (y compris les éléments de jeu : par exemple : les élèves s'affrontent et sautent d'un niveau à l'autre)
- Laboratoire en ligne (apprentissage entièrement en ligne pour approfondir les connaissances)
- Auto-mélange (engagez les étudiants intéressés dans des livres blancs, des blogs, des didacticiels vidéo, etc.)
- Apprenants en ligne (apprentissage autonome pendant que le professeur, le formateur ou l'enseignant agit via par exemple le chat vidéo).

3.1.9 Aperçu des contextes d'apprentissage présentés

Comme cela a été montré dans les sous-sections 3.1.1 à 3.1.9, différents contextes d'apprentissage sont actuellement fournis pour la formation FA. Le type de contexte d'apprentissage dépend des détails spécifiques du cours. Le tableau 2 présente un résumé des recommandations avec contraintes et leurs évaluations potentielles sont présentées.

Tableau 2 : Le résumé des recommandations dans l'application des contextes d'apprentissage dans la formation FA.

Type of Learning contexts	Advantages	Constraints	Recommendations for being applied in AM training	Assessment
On-line learning/Distance learning	Easily accessible	All virtual – no hands-on Additional equipment could be necessary (e.g. Oculus Rift for VR)	For the future combined with in-company or teaching facility approach.	On-line tests; multiple choice; essay. Feedback exercises
Classroom learning/ Presential learning (Lecturing/Seminars/Workshop)	Established method	Fact-based learning, effectivity of lecturing is lost after 15-30 minutes.	Needs to be combined with hands-on teaching experience. Triggering activities must be included (polls,	Multiple choice; essay; problem based.

			brainstorming, summarizing act.)	
Laboratory (practical activities)	Hands-on learning; needs to be combined with classroom	Equipment in laboratory	Needs to be combined with a lecturing etc. Activity.	Fulfilment of lab study; problem based; group work; practical.
Internship in companies for students or In company training/on the job training for workers	Hands-on learning, training in a research or industrial environment	Often focused on single industry or process which limits an overall approach in AM.	Should be carried out with an on-line or classroom activity to give a full overview of the topics.	Practical;
Blended learning (combination of presential and online/distance learning)	Could reach everyone; allows quick adaptation for new tools and learning trends; low cost; adaptation to learners needs.	Learner characteristics need to be examined beforehand to cater for the needs. Learning outcomes should be defined beforehand.	Is a good opportunity to deal with theoretical content and practical approaches (tutorials /machines).	Online testing; Lab studies; group work; multiple choice; depending on how blended learning is integrated. (Flipped classroom)

3.2 Etat actuel des outils de formation en Fabrication Additive

3.2.1 Enseigner le paradigme de l'usine

Le paradigme de l'usine d'enseignement (TF) utilise l'éducation et la formation à partir des besoins individuels du milieu universitaire et de l'industrie. La communication directe des ingénieurs universitaires et des acteurs industriels est établie pour effectuer une tâche collaborative (6) Ces deux parties s'attaquent à un problème commun d'ingénierie tout en ayant des objectifs finaux distincts, comme présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Objectifs de l'usine d'enseignement

Objectives of Academia	Objectives of Industrial Partners
Technical Expertise	New solutions
Practise Knowledge	Decision support
Real-life imposed problems	Out-of-the-box approaches
Proof-of-concepts	Task Outsourcing

Les différents objectifs peuvent être atteints par une relation symbiotique entre l'université et l'industrie dans laquelle l'usine d'enseignement agit comme un canal de communication et un facteur catalyseur. Comme l'expliquent G. Chryssolouris et al (G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pages 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>), l'usine d'enseignement suit un canal de transfert de connaissances à double sens, où les sujets de fabrication sont à la base de nouveaux modèles de synergie entre l'université et l'industrie. De nouvelles idées et solutions sont échangées entre le milieu universitaire et l'industrie pour équilibrer le temps et le coût nécessaires à l'apprentissage et au test de solutions aux problèmes de fabrication et approfondir les connaissances de l'industrie et du milieu universitaire grâce à l'innovation en matière de production ou face à des problèmes réels (Figure 5, à gauche). Il existe deux schémas opérationnels : « de l'usine à la salle de classe » et « de l'université à l'industrie ». Le concept « de l'usine à la salle de classe » vise à transférer l'environnement de fabrication réel à la salle de classe, tandis que le concept « de l'université à l'industrie » vise à transférer les connaissances de l'université à l'industrie (Figure 5, à droite).

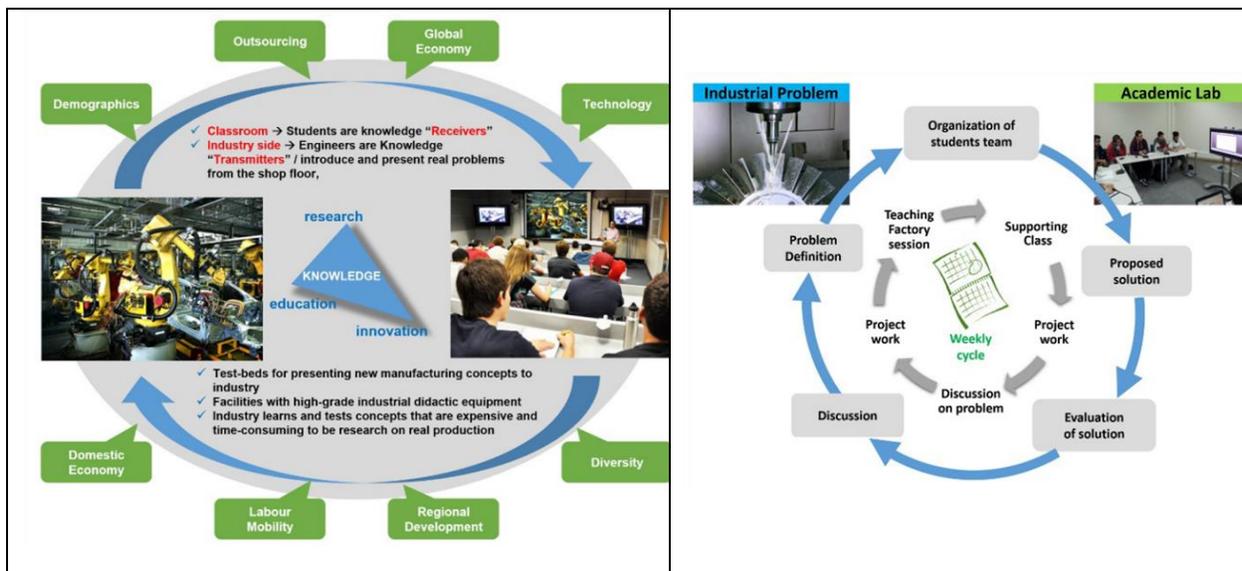


Figure 5: (Left) The Teaching Factory concept; (Right) Teaching Factory cycle for knowledge transfer (G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pages 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.)

Les outils TF étant pour la plupart numériques, les barrières de la distance sont éliminées. Ce modèle peut être appliqué à un niveau global au sein de l'université et de l'atelier industriel étant séparé.

Pour ce faire, l'approche TF agit comme un canal à double sens : elle peut être mise en œuvre de l'usine vers la salle de classe et du laboratoire vers l'atelier de production. Les trois principales applications de Teaching Factory sont :

1. Apprentissage académique
2. Apprentissage professionnel
3. Apprentissage sociétal

La TF FA doit être utilisée comme un outil de formation dans le but d'échanger l'expertise de l'industrie vers le milieu universitaire et vice versa (7). Les objectifs de la TF FA sont :

- a. Fournir des connaissances techniques et une formation spécialisée aux étudiants en génie afin de mieux éduquer et perfectionner la future main-d'œuvre FA.
- b. Améliorer la préparation technologique des nouvelles technologies liées à la FA et accélérer l'adoption de la production de FA dans les secteurs industriels.

Le processus de mise en œuvre de la TF FA nécessite deux parties. La première vient du monde industriel. Cette partie du modèle de la TF AF apporte un problème réel de production à résoudre ou un nouveau développement à réaliser. La partie industrielle dispose également de l'équipement FA et de la production proprement dite du composant FA.

Le deuxième groupe est composé de membres de la communauté universitaire. Il fournit la solution analytique pour le problème à discuter ou la recherche pour les développements nécessaires.

Avec l'achèvement de la TF FA, les deux parties en bénéficient car le côté industriel aura fait progresser sa production et le côté universitaire aura acquis des connaissances et une expérience précieuses.

3.2.2 Jeux sérieux

Les jeux sérieux, c'est-à-dire les jeux (numériques) utilisés à d'autres fins que le simple divertissement. Le point de départ est le concept de jeux sérieux lui-même et ce que cela signifie réellement. De plus, les jeux sérieux permettent aux apprenants de vivre des situations impossibles dans le monde réel pour des raisons de sécurité, de coût, de temps, etc., mais ils sont également revendiqués comme ayant des impacts positifs sur le développement par les joueurs d'un certain nombre de compétences différentes. Par la suite, certains impacts positifs (et négatifs) possibles des jeux sérieux sont discutés. En outre, certains des marchés sur lesquels ces jeux sont utilisés sont examinés ici, notamment les jeux militaires, les jeux gouvernementaux, les jeux éducatifs, les jeux d'entreprise et les jeux de santé (voir *Serious Games : An Overview* (diva-portal.org)). Ils décrivent l'utilisation de moteurs de jeu pour des applications non liées au jeu. Cela signifie que les jeux seront utilisés pour la formation, la publicité, la simulation et l'éducation. Le pouvoir des jeux de captiver l'utilisateur est utilisé pour acquérir de nouvelles connaissances et compétences. Un nombre croissant d'écoles proposent des diplômes en arts du jeu tels que le baccalauréat et la maîtrise en beaux-arts et / ou le baccalauréat et la maîtrise en sciences selon les sujets choisis. Susi et al. (8) décrit les jeux sérieux comme une façon amusante d'en apprendre davantage sur les problèmes sérieux de la fabrication. Par exemple, des instructions audio et visuelles peuvent facilement être appliquées pour guider un utilisateur dans l'assemblage d'un nouveau produit à utiliser ou dans la réalisation d'un entretien de routine ou même d'une réparation d'urgence. De nombreuses applications impliquent actuellement des routines pré-opératoires dans l'environnement médical, des simulations pour gérer les phobies et l'enseignement de problèmes mathématiques. Le divertissement s'est avéré être un moyen efficace de partager et de transférer des connaissances.

En termes d'enseignement de la FA, un mode multijoueur pourrait être développé pour permettre à différents groupes d'apprentissage d'assumer différents rôles dans le processus de FA avec, par exemple, des plateformes interactives. Un autre exemple dans lequel les jeux sérieux ont été appliqués avec succès est l'utilisation immédiate d'une application de moteur en temps réel qui a été créée en prenant des données CAO, en les reformatant et en les réduisant (9). La visualisation en temps réel peut aider, par exemple, un ingénieur de procédés à mieux comprendre les machines et l'environnement de FA.

Un exemple récent de jeu « sérieux » de FA est un jeu vidéo dédié à la découverte de la Fabrication Additive Métallique. Il s'appelle "AddUp Adventure" et a été lancé en 2019 par AddUp. Le jeu agit comme le "SIMS" et se déroule dans un environnement 3D et exploite des dialogues avec des non-joueurs, une narration environnementale, des phases d'exploration non linéaires, une collection d'objets, des mini-jeux et un apprentissage factuel. Il est supposé que l'Aventure AddUp favorise l'implication de l'apprenant et aide à former des personnes ayant un profil non technique. De plus, il existe des quiz liés à la FA sur le site Web (<https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/>, <https://aaq.auburn.edu/node/1549>, par exemple).

3.2.3 Réalité augmentée

La Réalité Augmentée (RA) est une technologie qui permet de superposer des éléments virtuels à notre vision de la réalité. Ceci est réalisé grâce à l'utilisation d'éléments visuels numériques, de sons ou d'autres stimuli sensoriels délivrés via la technologie (<https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>). Cette technologie peut permettre aux enseignants de montrer des exemples virtuels de concepts et d'ajouter des éléments de jeu pour fournir un support matériel pour les manuels. Cela permettra aux élèves d'apprendre plus rapidement et de mémoriser des informations.

Les programmes FA combinant réalité augmentée/réalité virtuelle (AR/VR) et FA ne se trouvent actuellement qu'aux États-Unis d'Amérique. L'Université de l'Arizona propose un programme de certificat de 8 cours, en ligne ou en classe, qui mènera à une mineure en FA (<https://ami.arizona.edu/courses>). Les sujets comprendront :

- Simulation de processus FA
- Modélisation basée sur la physique à l'aide du moteur de jeu Unity3D
- Évaluation des stagiaires basée sur le temps, la précision et les facteurs humains
- Perception cognitive soutenue par une expérience immersive à l'aide d'équipements VR/AR
- Visualisation et retour haptique
- Jumeaux numériques et apprentissage automatique pour la modélisation et le contrôle des processus
- Sécurité et infrastructure cyber-physiques

Une ressource d'apprentissage pour la réalité augmentée et l'impression 3D a été développée par 3D Bear. Cette entreprise travaille sur des ressources d'apprentissage à distance alliant technologies immersives et contenus pédagogiques inspirants pour les meilleurs résultats d'apprentissage. Réalité augmentée (« AR »), réalité virtuelle (« VR »), photos à 360°, numérisation et impression 3D. Perfectionnement professionnel, mise en œuvre et ateliers (<https://www.3dbear.io/>)

L'article «Augmented Reality Interfaces for Additive Manufacturing» (10) explore les cas d'utilisation potentiels de l'utilisation de la réalité augmentée (AR) comme outil pour faire fonctionner des machines industrielles. Comme base, ils utilisent un système de fabrication additive, plus communément appelé imprimante 3D. Ils implémentent de nouvelles interfaces et commandes augmentées à l'aide de cadres open source facilement disponibles et de matériel à faible coût. Leurs résultats montrent que la technologie permet un contrôle et une surveillance des performances de l'imprimante plus riches et plus intuitifs que ceux actuellement disponibles sur le marché. Il existe donc un fort potentiel pour ces types de technologies dans les futures usines numériques.

D'autres expériences liées à la réalité virtuelle sont mentionnées dans « A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training » (2015). Cet article présente une application logicielle extensible qui simule un processus FA dans un environnement de réalité virtuelle (VR). L'application analyse les mouvements des composants de la machine et les attributs de segment imprimés à partir des fichiers de code G exportés depuis le logiciel MakerBot® Computer Aided Manufacturing (CAM). La position, la vitesse et le type de mouvement sont utilisés pour simuler les mouvements physiques de la machine. Un "segment" d'impression est créé aux positions de début et de fin d'un mouvement d'impression. Le codage couleur des attributs de segment et la modification de leur taille et de leur forme établissent une relation visuelle entre la terminologie d'un paramètre d'impression et sa représentation dans l'environnement virtuel. Cette relation visuelle entre les segments imprimés et les paramètres d'impression facilite l'apprentissage du processus d'impression 3D et de la terminologie associée. Les utilisateurs novices et experts peuvent modifier les paramètres d'impression dans l'environnement virtuel avant et après l'impression d'un prototype. L'identification et la correction d'une erreur dans l'environnement virtuel réduisent le temps et le coût d'impression d'une pièce avec la qualité souhaitée.

3.2.4 Apprentissage par projet

Les méthodes d'enseignement inductives comprennent l'apprentissage basé sur l'investigation, l'apprentissage basé sur les problèmes (PBL), l'apprentissage basé sur des projets (PjBL), l'enseignement basé sur des cas et l'enseignement juste à temps.

Les problèmes/projets sont conçus pour être représentatifs de problèmes authentiques, dont il a été démontré qu'ils motivent les élèves, maintiennent leur intérêt et les engagent activement dans l'apprentissage. Il a été constaté que les approches d'apprentissage PBL améliorent le développement de la pensée critique et de la résolution de problèmes, et améliorent la compréhension des concepts d'ingénierie critiques.

Le principe central de l'approche PBL est que la réalisation des objectifs d'apprentissage par les élèves est accomplie par la solution d'un problème ouvert, plutôt que par une présentation déductive de l'information. Le problème, qui est soigneusement conçu pour être authentique et refléter la pratique professionnelle, sert de motivation pour apprendre le contenu. Les élèves travaillent en petits groupes pour résoudre le problème en identifiant d'abord ce qu'ils savent déjà, ce qu'ils doivent savoir, et comment et où accéder aux informations qui les aideront à résoudre le problème. Les problèmes sont utilisés comme une opportunité pour les étudiants d'acquérir les connaissances souhaitées tout en améliorant simultanément leurs compétences en résolution de problèmes et leur capacité d'apprentissage autonome. Le simple fait de fournir aux élèves un problème ouvert n'est pas considéré comme un véritable APP. L'instructeur doit guider le processus d'apprentissage tout en guidant les étudiants dans la réflexion et le débriefing à la fin de l'expérience. Un exemple pour un cours FA pourrait être :

- Expliquer les capacités, les limites et les principes de base des technologies FA alternatives.
- Évaluer et sélectionner les technologies FA appropriées pour des applications de conception-fabrication spécifiques.

- Expliquer les causes fondamentales des erreurs et des irrégularités dans les pièces FA.
- Appliquer les techniques de fabrication additive à une application de conception et de fabrication exigeante.
- Identifier, expliquer et hiérarchiser certains des défis de recherche importants en FA.

Un aspect important de la formation dans le domaine de la FA concerne les activités pratiques. Dans ce domaine, les projets de travail en équipe ont divers avantages possibles. D'une part, ils permettent aux stagiaires d'expérimenter directement les différents potentiels des technologies FA. De plus, ils consolident la réalisation des résultats d'apprentissage attendus via des sessions pratiques et en travaillant avec des données et des produits réels. De plus, ils favorisent les compétences de travail en équipe dans des environnements multiculturels et multidisciplinaires, puisque les cours FA incluent généralement des stagiaires d'horizons différents.

L'exemple suivant concerne une activité de laboratoire et de travail d'équipe dans le cadre du cours de fabrication additive pour l'espace et l'aérospatiale organisé au Politecnico di Milano. Les étudiants du cours ont été invités à reconcevoir pour le composant spatial réel en FA, le support qui relie les roues de réaction pour le contrôle d'attitude du ION Cubesat Carrier, une nouvelle version d'un petit vaisseau spatial conçu à l'origine par D-Orbit, une start-up italienne (<https://www.dorbit.space/>) pour la livraison du dernier kilomètre et le positionnement des satellites CubeSat. Pour cette version du vaisseau spatial, D-Orbit travaille directement avec l'ESA, et leur technologie sera également utilisée pour l'initiative Clean Space de l'ESA sur l'entretien en orbite et l'élimination active des débris.

Il a été demandé à toutes les équipes de minimiser le poids de leur support repensé, de respecter les exigences mécaniques de la structure (évaluation statique et analyse modale) et d'optimiser la fabricabilité. L'équipe gagnante composée de quatre étudiants a remporté le concours en présentant un design permettant d'obtenir la réduction de poids la plus élevée (-65% par rapport au poids d'origine du composant) dans le respect de toutes les exigences mécaniques et « d'imprimabilité ». À la fin du projet, les participants ont été engagés dans une dernière journée de présentation.

Autre exemple, dans le cadre du cours MSc Additive Manufacturing organisé au Politecnico di Milano, les étudiants réalisent un projet de travail d'équipe où il leur est demandé de concevoir pour la FA et d'imprimer avec Fused Deposition Modeling des pièces qui doivent respecter les exigences fonctionnelles imposées et maximiser certaines fonctions objectives données. Deux exemples de projets au cours des années partielles incluent la production de petites voitures qui ont ensuite été testées lors d'une compétition entre toutes les équipes (les voitures devaient parcourir la plus longue distance depuis une rampe) ou des ponts également testés lors d'une compétition (les ponts devaient supporter le poids le plus élevé sans s'effondrer).

Toutes ces activités de projet permettent aux étudiants d'apprendre de nouveaux outils SW : pour l'optimisation topologique, la préparation de la construction, les processus, la simulation, ainsi que l'utilisation d'imprimantes 3D, d'appliquer la plupart des concepts appris dans la pratique et de découvrir les potentiels et les limites réels de la FA. Le concours a l'avantage de renforcer l'engagement des étudiants et de favoriser leur intérêt pour les sujets de formation.

Le logiciel GRANTA EduPack est une ressource appropriée pour les étudiants réalisant un apprentissage par projet et par problème, car il offre à la fois une ressource d'information complète et des outils logiciels tels que la sélection des matériaux, l'éco-audit et d'autres outils de modélisation pour résoudre les problèmes liés aux matériaux. Ces projets peuvent aller de courts exercices dans le cadre d'un cours d'introduction (des exemples sont fournis dans les ressources pédagogiques GRANTA EduPack) à de vastes projets de conception de dernière année ou même à des projets de recherche de niveau master (utilisant les données approfondies de la base de données EduPack Niveau 3).

3.2.5 Études de cas

Une étude de cas est un compte rendu d'une activité, d'un événement ou d'un problème qui contient une situation réelle ou hypothétique et inclut les complexités que vous rencontreriez sur le lieu de travail. Des études de cas sont utilisées pour aider les étudiants à voir comment les complexités de la vie réelle influencent les décisions. L'analyse d'une étude de cas nécessite que les élèves s'exercent à appliquer leurs connaissances et leurs facultés de réflexion à une situation réelle (<https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>). Pour tirer des enseignements d'une analyse d'étude de cas, les élèves « analyseront, appliqueront leurs connaissances, raisonneront et tireront des conclusions » (Kardos et Smith 1979).

L'inclusion d'études de cas dans la formation a été d'une grande importance tant pour les cours de niveau universitaire que pour les cours destinés aux professionnels. A titre d'exemple, dans le cadre du cours de fabrication additive pour l'espace et l'aérospatiale organisé au Politecnico di Milano, des études de cas réels (principalement du domaine spatial et aérospatial) sont présentées une fois que l'étudiant est pleinement conscient de toutes les technologies actuellement disponibles, leurs avantages et leurs inconvénients, et les principaux défis ouverts. L'objectif du cours est de fournir à l'étudiant une approche actuelle de mise en œuvre industrielle de la FA sur des produits de haute qualité. Les processus de conception/fabrication de bout en bout de véritables engins spatiaux, satellites, fusées ou pièces d'avion sont présentés. En commençant par l'optimisation de la conception/topologie (conception bionique), en passant par la sélection de la technologie FA idéale jusqu'à l'optimisation des paramètres du procédé, la caractérisation mécanique (statique, fatigue, microstructure, NDI, tomographie par ordinateur, courants de Foucault, etc.) et la production d'une planche à pain qui sera testée à grande échelle puis mise en orbite. De plus, le cours fournit des études de cas et des exemples d'investigations de défaillance sur des composants réels.

3.2.6 Conférences par des experts en FA

Les aspects multidisciplinaires impliqués dans la FA imposent généralement d'impliquer des experts dans différents domaines donnant des conférences sur des sujets spécifiques. Cette approche a été suivie à la fois dans les cours de maîtrise et les cours pour professionnels. À titre d'exemple, le cours MSc Additive Manufacturing organisé au Politecnico di Milano prévoit des conférences de facultés expertes dans différents domaines (procédés de fabrication, ingénierie de la qualité et analyse de données, métrologie et mesures, etc.) ainsi que des séminaires organisés par des experts invités de l'industrie ou d'autres groupes de recherche. Les séminaires sont très appréciés par les étudiants car ils permettent aux stagiaires d'entrer en contact avec des points de vue industriels, des expériences réelles de mise en œuvre, des défis et des opportunités. Les séminaires d'experts sont également efficaces pour montrer l'adoption actuelle des technologies FA de pointe dans l'industrie d'aujourd'hui et ils ont un impact sur les aspects de croissance sociétale et économique.

Le cours de fabrication additive pour l'espace et l'aérospatiale qui se tient au Politecnico di Milano représente un exemple différent, car le cours est entièrement dispensé par Tommaso Ghidini, chef de la division Structures, mécanismes et matériaux de l'Agence spatiale européenne (ESA). Dans ce cas, les étudiants MSc ont la possibilité d'entrer en contact avec l'un des principaux experts de l'UE dans le domaine qui transmet aux stagiaires son approche très appliquée et pratique sur des sujets et des problèmes liés à la FA. A titre d'exemple, après avoir réussi ce cours, l'étudiant est censé être capable de :

- Identifier les tendances, les technologies et les méthodologies clés liées à la fabrication numérique et additive pour les produits à haute valeur ajoutée (Applying Knowledge).
- Développer de nouvelles idées et solutions dans les entreprises industrielles émergentes. En fait, la fabrication additive est l'un des terrains de jeu les plus actifs pour les nouvelles solutions, les idées innovantes et les start-ups. (Appliquer les connaissances et porter des jugements)
- Interagir de manière professionnelle, responsable, efficace et constructive dans un environnement de travail. Le travail du projet permettra à tous les étudiants d'interagir dans un environnement multidisciplinaire. En effet, l'équipe projet mêlera des étudiants en gestion, mécanique, conception, automatisme et génie physique (aptitudes au travail en équipe et à la communication).

De plus, dans le cadre des cours sur la FA pour les professionnels (au moins pour les ingénieurs et les gestionnaires), des conférences sont généralement tenues par différents experts dans leurs domaines spécifiques, allant de la science des matériaux aux processus à base de laser et de faisceaux d'électrons, la conception pour la FA, contrôle qualité et essais de matériaux, métrologie, simulation, analyse de données, coût du cycle de vie, etc. À titre d'exemple, dans le projet LILIAM - Lifelong Learning in Additive Manufacturing - (<https://www.liliam-project.polimi.it/>), une équipe de huit partenaires internationaux de différents pays de l'UE a été constituée pour développer un programme de formation tout au long de la vie pour les professionnels (ingénieurs et managers de produits et de procédés) combinant plusieurs expertises différentes pour fournir un parcours d'apprentissage complet et multidisciplinaire. LILIAM a pour objectif d'inclure des conférences sur les sujets suivants : 1) Matériaux pour la fabrication additive, 2) Procédés de fabrication additive, 3) Conception et optimisation de produits, 4) Modélisation et simulation, 5) Surveillance et contrôle des procédés, 6) Post-traitement / procédés hybrides, 7) Contrôle, qualification et certification, normes et DPI, 8) Analyse du cycle de vie, coût du cycle de vie, 9) Fin de vie et recyclage des matériaux.

3.2.7 Logiciel de simulation

Le logiciel de simulation permet de concevoir la fabrication additive de manière plus prévisible pour réduire l'approche par essais et erreurs, économiser du temps et de l'argent et permettre des produits plus innovants. Il existe plusieurs produits logiciels pour améliorer la conception et le traitement en FA. La figure 6 montre les produits logiciels les plus populaires utilisés pour la FA. Ces produits logiciels peuvent s'appliquer à simuler le processus d'impression, prédire les distorsions et les compenser ou encore améliorer la stratégie d'assistance prédire la précision de la pièce, à titre d'exemples (<https://fluidcodes.com/software/additive-manufacturing-simulation/>).

Additive Works	Amphyon	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Adobe	Photoshop CC	3D design tools and color management
Altair Engineering	Inspire	Topology optimization
Altair Engineering	SIMSOLID	Meshless topology optimization
Altair Engineering	Inspire Print3D	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Autodesk	Project Shapeshifter	Browser-based tool for generating geometric shapes and exporting them for 3D printing
Autodesk	Within Medical	Lattice structures for orthopedic industry, porous coatings for implants
Dassault Systèmes	Tosca Structure	Topology optimization for FEA packages including Abaqus, ANSYS, and MSC Nastran
Desktop Metal	Live Parts	Generative design and topology optimization software
DTU	TopOpt	Topology optimization
e-Xstream	Digimat	Material simulation tool
GeonX	Virfac	Material and process simulation
GravitySketch	GravitySketch	VR-based modeling
MSC	Simufact	Metal AM build simulation
ParaMatters Inc.	CogniCAD 2.0	Topology optimization
PTC	GENERATE	Topology optimization
Siemens	NX	High-end CAD that integrates topology optimization, lattice structures, and support generation

Figure 6: (À gauche) Société, (au centre) nom et (à droite) description des produits logiciels les plus largement utilisés (Wohlers Report 2021).

3.2.8 Vidéos et animations éducatives

Les vidéos et animations éducatives sont des outils utilisés comme aide visuelle pour faciliter l'apprentissage. Ils sont utilisés par les éducateurs pour rendre le contenu attrayant, facile à comprendre et émotionnellement accessible à tous les types d'élèves. Ces ressources permettent d'expliquer des idées complexes de manière simple. Ils gardent les apprenants concentrés sur le contenu et créent une expérience distincte dont les apprenants sont plus susceptibles de se souvenir (<https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>; <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>).

Il existe plusieurs exemples de vidéos et d'animations éducatives sur le Web expliquant les processus de fabrication additive à un niveau de complexité différent, telles que des vidéos d'introduction (<https://www.youtube.com/watch?v=EHvO-MlzAIM> de GE Additive, <https://www.youtube.com/watch?v=qoBU0r7pT84> de Bracken Media, <https://www.youtube.com/watch?v=t4S0mKjXtT4> de Additive Manufacturing Media) ou des vidéos et animations plus spécifiques liées à un processus particulier comme Laser Powder Bed Fusion (<https://www.youtube.com/watch?v=VqjtuFxGio4>. de SLM Solutions NA, Inc) ou procédé Multi Jet Fusion (<https://www.youtube.com/watch?v=sUjyKOiIhwg> de Protolabs).

3.3 Aperçu des outils d'apprentissage

Comme cela a été montré dans la sous-section 3.2.1. jusqu'au 3.2.6., différents outils d'apprentissage peuvent être appliqués pour la formation AM. Le type d'outil d'apprentissage dépend des caractéristiques spécifiques du cours. Dans le tableau 4, un résumé des recommandations ainsi que des contraintes et leurs évaluations potentielles sont présentés.

Table 1: recommandations dans l'application des outils d'apprentissage dans la formation FA

Type of Training tool	Advantages	Constraints	Recommendations for being applied in AM training	Assessment
Teaching Factory	Hands-on learning experiences. Brings industry closer to academia. Hands-on teaching	Depends heavily on the infrastructure.	Should be used in conjunction with other “traditional” learning activities.	Problem-based; group work;
Serious games	Problem-solving, Fun, In line with digitalization	No hands-on experience.	Complementary to other teaching activities such as classroom and laboratory.	Practical, interview
Augmented reality	In-line process learning;	Currently only available for a few	Should be used in conjunction with	Practical, interview

		processes and variables. No hands-on experience. Virtual.	other “traditional” learning activities or teaching factory.	
Project based learning (PBL)	Can be carried out along with the training. Students get to see the whole process chain. Equally valuable for all people. Easily adjustable project sizes.	Will have to be developed for the whole course.	Strongly advised as people can learn from learning by doing and applying the 3D printing process chain.	Individual; interview
Case study	Allows to implement the obtained knowledge.	Depending on case study – hands-on experience might be missing.		Essay: problem based.
Lecturing	Easy to get an overview of knowledge from all students. Face-to-face. Easier approachable.	No hands-on experience. Targets mostly students or pupils.	The documentation of the working materials is out there.	Multiple choice, Essay, interview.
Simulation software	Used in AM simulations, Students get hands on experience at running set simulation exercises and talk to trainers for guidance	Students need to all get to the same level to be able to practice simulations and have access to tools		Q&A, Practical exercises
Practical activities	Hands-on learning experiences. Needs to be	Need equipment, software or materials	Needs to be combined with a lecturing etc. Activity.	Problem based; group work; practical.

	combined with classroom			
Group work	Cooperative learning, students develop skills such as problem solving, negotiation, conflict resolution, leadership, critical thinking and time management.	Time-consuming	Appropriate to expose students to diverse ideas and approaches	Problem based, practical or theoretical
Educational videos and animations	Excellent to explain complex content. Emotional learning boost retention and grab attention of students	Customized animations are cost-consuming	Complementary to other teaching activities such as classroom and laboratory.	Practical, interview

3.4 Activités des projets FA européens soutenant l'apprentissage et la formation en FA

Un certain nombre de projets européens ont été mis à profit pour aider au développement des compétences sectorielles pour la fabrication additive dans un contexte à la fois fondamental et d'orientation. Cette section couvre une liste de projets représentant un effort de prédicat le plus important mais n'est pas exhaustive dans sa portée. Une liste complète est disponible dans l'Observatoire AM, depuis 2019 (https://skills4am.eu/amobservatory_projects.html).

Admire (Alliance for aDditive Manufacturing between Industry and univeRsitiEs) : Admire était une alliance entre des entreprises de FA, des universités et des étudiants qui répondait à un besoin industriel : la qualification de la main-d'œuvre de FA. Un Master européen Metal AM a été développé selon le niveau 7 du cadre européen des qualifications. <https://admireproject.eu/summary.html>

3D Prism : 3D Prism a développé un MOOC qui est disponible pour un usage public. Le cours couvre les aspects de base et les différentes technologies FA, les matériaux, les paramètres de processus, les outils CAD/CAM et les sujets de maintenance. Le cours est disponible pour tout le monde en ligne et les connaissances seront testées via des quiz. <https://versal.com/c/jppgwv/3dprism-mooc>

Métaux – MachinE Tool Alliance for Skills. Le projet métal concernait la préparation des compétences nécessaires pour un opérateur FA au niveau EQF 5. Un cours en ligne a été développé qui fournit un programme pour 3 secteurs différents. Premièrement, les unités FA - couvrant tous les aspects du traitement FA, de la conception au post-

traitement. Deuxièmement, des unités axées sur les processus de travail dans lesquelles l'acquisition de compétences de passation de marchés à des compétences de maintenance sera fournie. Troisièmement, des unités d'entrepreneuriat dans lesquelles le marketing, le leadership et d'autres aspects sont couverts. L'examen des compétences se déroule via un test en ligne à partir duquel 80% des réponses doivent être correctes.

3DP - Formation en impression 3D pour favoriser l'innovation et la créativité de l'UE

Cette initiative européenne a fourni des lignes directrices écrites sur des sujets de cours de courte durée, des lignes directrices pour les formateurs, des didacticiels et des études de cas afin d'améliorer avec succès les compétences des étudiants. De plus, une plate-forme d'apprentissage en ligne sur l'impression 3D a été développée et est disponible en 6 langues. <https://3d-p.eu/>

CLLAIM - Création de connaissances et de compétences en FA - en cours d'exécution

Le projet CLLAIM vise à développer un système de qualification en FA en établissant un organisme de qualification, différentes qualifications pour différents rôles, des modules de formation innovants, des modèles de reconnaissance des acquis (RPL) et un kit pédagogique pour les formateurs axé sur les méthodologies d'apprentissage par le travail. <http://claimprojectam.eu/>

PAM2 - Precision Additive Metal Manufacturing - en cours d'exécution

PAM 2 vise à améliorer considérablement la précision des processus de FA métal en s'attaquant aux trois principes de robustesse, de prévisibilité et de métrologie, et en développant des méthodes CAE qui renforcent plutôt que limitent la conception de FA. Le projet a fourni une grande quantité de documents de recherche en examinant 15 projets de recherche interconnectés pour les chercheurs en début de carrière. De plus, une série YouTube a été développée afin de guider les personnes intéressées à travers le processus de modélisation d'optimisation topologique en FA. <https://pam2.eu/>

Projets de fabrication EIT :

EIT-AddManu : EIT-AddManu développera une «usine d'enseignement de la FA» en ligne dans laquelle seront fournies des pépites d'apprentissage de l'enseignement de la FA dans l'enseignement supérieur universitaire et industriel. La plate-forme doit contenir des outils de conception, la sélection de systèmes FA appropriés et la sélection du bon matériau pour un produit. <https://eitmanufacturing.eu/additive-manufacturing-teaching-factory/>

LILIAM : formation tout au long de la vie en Fabrication Additive – en cours.

LILIAM vise à développer une qualification de formation européenne pour différents profils professionnels, y compris des spécialistes, des ingénieurs et des managers, dans le domaine de la fabrication additive. Les modules de formation, qui combineront des approches pédagogiques traditionnelles et innovantes, sont conçus par un réseau international de partenaires de 8 pays européens coordonné par le Département de génie mécanique du Politecnico di Milano. <https://www.liliam-project.polimi.it/>

4 SAM Directive opérationnelle sur le contexte et les outils de formation

4.1 Exemples de contextes et d'outils d'apprentissage des partenaires SAM

Afin de donner un aperçu de la façon dont les contextes et les outils d'apprentissage sont intégrés dans la formation pédagogique, deux exemples seront donnés ici.

4.1.1 LORTEK

4.1.1.1 Présentation

Depuis 2018, Lortek et Goierri Eskola proposent un Master en FA. Lortek est un centre technologique privé et membre de la Basque Research & Technology Alliance (BRTA). Le centre est spécialisé dans les technologies d'assemblage des matériaux. Goierri Eskola est un centre d'enseignement pluraliste et participatif qui s'adresse aux étudiants qui ont terminé l'enseignement obligatoire en Espagne. Le master s'adresse aux diplômés en génie mécanique et aux ingénieurs techniques. Il s'adresse également aux diplômés en physique et génie chimique titulaires d'une licence. En outre, les techniciens ayant une expérience professionnelle de trois ans ou plus seront admis après un examen minutieux des connaissances (reconnaissance des acquis (RPL)). Le cours dure 1165 heures, est divisé en douze modules et dure un semestre complet. De plus, un cours de courte durée est proposé dans lequel aucune thèse n'est requise. Site Web : <https://www.mondragon.edu/cursos/es/tematicas/ingenieria-mecanica-procesos-fabricacion/master-en-fabricacion-aditiva-industrial>.

4.1.1.2 Cours magistral

L'enseignement se déroule en face à face, présente des activités d'enseignement et de formation. Chaque module sera divisé en laboratoires et activités d'enseignement pour favoriser également les capacités d'apprentissage pratiques. Dans les différents modules, différents aspects de la FA avec un fort accent sur la FA métal pratique seront enseignés. Tous les différents modules peuvent être considérés comme des unités de compétence qui peuvent également être enseignées individuellement. La phase présidentielle dure 265 heures.

- M1 – Introduction à la FA et aspects économiques (PDF)
- M2 – Différentes technologies en FA (PDF et démonstration)
- M3 - Considérations, éléments et outils de conception (logiciel)
- M4 – Développement de produits FA métal : types de matériaux, traitement et optimisation (PDF)
- M5 – Développement de produits FA polymères : types de matériaux, techniques de transformation et optimisation (PDF)
- M6 – Fabrication de produits FA métalliques – défauts et post-traitement (PDF et TP)
- M7 – Fabrication de produits FA polymères – défauts et post-traitement (PDF et TP)
- M8 – Autres matériaux (PDF)
- M9 – Industrialisation de la chaîne de processus FA (PDF)
- M10 – Activités pratiques (Pratique Goierri et Lortek)

- M11 – Mémoire de Master

Des formations courtes ou des unités de compétence sont également accessibles qui visent à approfondir les connaissances dans un certain domaine de la FA. Les formations courtes suivantes sont disponibles :

- FA pour les processus de coulée 12 heures
- FA des plastiques et composites pour les professionnels 12 heures
- FA des métaux pour les professionnels 18 heures
- Conception FA pour les professionnels 30 heures

4.1.1.3 Études de cas

Au cours du semestre, les étudiants ont six mois pour développer un produit pour lequel des exigences de base telles que le produit et la description des caractéristiques seront données (apprentissage par projet). L'aboutissement de ce projet est la refonte d'un produit qui a été regardé tout au long de la chaîne de process vers l'industrialisation. Les étudiants évalueront les aspects économiques ainsi que les aspects de production et de conception et choisiront en outre la technologie et les matériaux. Le résultat est un rapport de 70/80 pages dans lequel la raison et les étapes du développement du produit ont été expliquées. Chaque année, une nouvelle pièce est choisie. L'étude de cas dure 400 heures.



Figure 7: Bras de drone d'origine à reconcevoir



Figure 8: Drone reconçu par des étudiants en Master FA

Le cursus complet comprend la rédaction d'un mémoire de master pour lequel 500 heures sont projetées et durera trois mois. Le projet de master doit idéalement être développé par l'étudiant en master en collaboration avec l'entreprise actuelle dans laquelle il travaille (l'accent est mis sur un RTO ou une entreprise industrielle). Cela garantit que la proximité avec un environnement de travail réel a été donnée. La thèse doit être réalisée dans la société. Afin de développer les éléments de l'approche d'apprentissage par projet, les étudiants sont encouragés à utiliser des logiciels de pointe. Les ressources logicielles incluent les éléments suivants (2020) :

- Sélection de matériaux GRANTA EduPack SW de GRANTA
- Plate-forme 3DExperience
- Logiciels spécifiques pour la conception (SOLIDWORKS, CATIA)
- Optimisation topologique (Altair INSPIRE)
- Simulation FEM (Dassault Systèmes ABAQUS)
- Édition (Markforged EIGER, Materialise Magics)

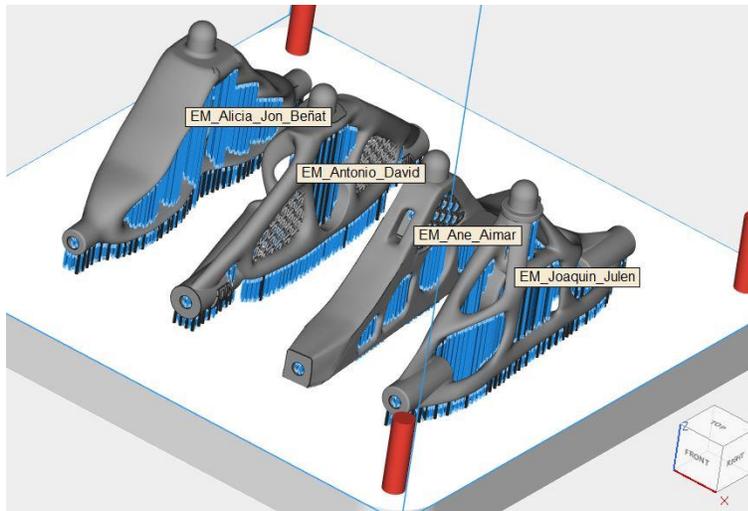


Figure 9: Différentes conceptions d'axes de skateboard

4.1.1.4 Jeux sérieux

Le cours s'adressant à des étudiants de l'enseignement supérieur, les jeux sérieux ne font pas partie de l'environnement pédagogique. Cependant, les étudiants sont encouragés à télécharger l'application AM-Motion pour tester leurs connaissances en FA.

4.1.1.5 Usine d'enseignement

Lortek ou Goierri Eskola ne sont pas considérées comme des usines d'enseignement. Cependant, le réseau entre les partenaires industriels, la recherche (Lortek) et le Goierri (Université) et la concentration sur les projets industriels peuvent être considérés comme une fabrique d'enseignement.

4.1.1.6 Réalité Augmentée

La réalité augmentée n'est actuellement pas appliquée pendant le cours de master FA. Il est envisagé de mettre en place des simulateurs de soudage, cependant actuellement toutes les pratiques en soudage sont réalisées en temps réel.

4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH

4.1.2.1 Formation : Spécialiste des Procédés de Fabrication Additive - Métal

LZH Laser Akademie GmbH est l'un des principaux centres de formation pour la technologie laser appliquée en Allemagne.

En collaboration avec SLV Hanovre, LZH Laser Akademie a été la première institution en Allemagne à proposer un nouveau cours de formation avancée certifié pour "Spécialiste de la fabrication additive - Métal" depuis 2016. La durée du cours est d'une semaine et se termine par un examen.

La formation avancée pour devenir Spécialiste des Procédés de Fabrication Additive - Métal aborde un niveau de maîtrise d'ingénieur et d'opérateur. Il s'adresse aux ouvriers qualifiés, maîtres artisans et techniciens qui sont ou seront responsables de l'exploitation des systèmes de fusion sélective par faisceau laser et est également

recommandé aux ingénieurs, concepteurs et responsables de production qui souhaitent acquérir des connaissances de base et complètes sur les possibilités applications en production.

Le cours transmet une connaissance approfondie des principes et des paramètres de processus ainsi que des étapes individuelles de la production de composants tout au long de la chaîne de processus.

De plus amples informations sont disponibles sur le site Web allemand de la LZH Laser Akademie : <https://www.lzh-laser-akademie.de/de/seminare/lasermaterialbearbeitung/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren-metall/>

Structure du cours:

Les cours durent 40 heures de contact incluant l'évaluation et s'effectue à temps plein dans un délai de cinq jours.

Le cours se déroule sous forme de formation en présentiel en classe et en laboratoire. Les leçons sont expliquées par des experts et sont divisées en unités théoriques et pratiques.

Les méthodologies utilisées en classe sont une combinaison de conférences soutenues par des présentations et des études de cas pour enseigner la base théorique et approfondir ce qui a été appris. La formation pratique prend environ la moitié de la durée du cours (~ 17,6 heures) et se déroule sous la forme d'une combinaison de démonstration en atelier et d'unités pratiques, qui s'appuient sur et approfondissent les unités théoriques. Cette procédure permet aux participants de tester les connaissances théoriquement acquises directement dans la pratique sous la direction.

La combinaison de cours magistraux, d'études de cas, de formations pratiques et théoriques est idéale pour le transfert de connaissances dans les domaines suivants : gestion des logiciels pour la préparation des pièces et des travaux, préparation de la machine, démarrage et suivi des travaux de construction, retrait et post-traitement des pièces après le travail de construction, assurance de qualification/inspection des pièces.

Cibler les connaissances et compétences :

- Connaissance des processus et matériaux généraux de FA (tous matériaux)
- Connaissance détaillée des processus de fabrication additive métallique
- Connaissance détaillée des processus PBF-LB et DED-LB (matériaux, systèmes de machines, logiciels, post-traitement, réalisation de travaux de construction avec chaîne de processus complète par les participants)
- Par le séminaire d'opérateur, une connaissance approfondie des processus de FA métallique est acquise, la formation pour les ingénieurs et les opérateurs avancés vise à avoir une connaissance de base des processus de FA et une connaissance approfondie des processus de FA métallique ainsi qu'une expérience dans la conduite d'un processus PBF-LB (ce qu'il faut faire, quelles sont les erreurs qui se produisent et ce qu'il faut faire pour les corriger, à notre avis, les méthodes sont assez efficaces pour atteindre l'objectif des séminaires)

Évaluation

L'évaluation est réalisée le 5ème jour de formation. Avec des examens écrits et oraux, la connaissance de tous les contextes d'apprentissage est confirmée. Avec une participation réussie, le certificat "Spécialiste des procédés de fabrication additive - Métal" est obtenu.

Pour clore le séminaire, l'évaluation de la formation se fait à l'aide d'un questionnaire anonyme.

4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR)

4.1.3.1 Réalité augmentée

IMR a développé avec 9 autres entreprises un outil de réalité augmentée appelé XR-adopt. Cet outil peut être utilisé pour la formation du personnel.



Des progrès considérables ont été réalisés dans les affichages numériques, le traitement d'image, la détection de mouvement, la vision artificielle et le suivi d'objets. Toutes ces avancées techniques combinées ont abouti au développement de configurations XR multiples, largement capables et précises, à une fraction du coût historique.

La communauté XR de créateurs numériques et d'utilisateurs potentiels s'est également développée à un rythme exponentiel. Le résultat est la création de plusieurs fournisseurs de logiciels et de matériel, un marché beaucoup plus vaste, de nouveaux investissements et des pipelines de développement de logiciels largement simplifiés.

Une entreprise fait face à de multiples défis en adoptant la technologie XR. Dans un paysage en évolution rapide de fournisseurs rejoignant et quittant l'espace, d'itérations matérielles et logicielles constantes et d'endosseurs non éprouvés au niveau de l'entreprise, les entreprises n'ont pas les ressources nécessaires pour évaluer bon nombre de ces options ni acquérir de l'expérience pour prendre des décisions éclairées.

Malgré ce qui précède, la technologie XR s'est avérée offrir une valeur énorme dans un large éventail de cas d'utilisation. XR-Adopt est une collaboration de 9 entreprises, chacune partageant des cas d'utilisation difficiles pour lesquels XR offre une solution rentable. Les résultats sont applicables à une proportion importante de l'industrie irlandaise.

4.1.4 IDONIAL

4.1.4.1 Jeux sérieux

Idonial développe l'application AM-Motion qui consiste en un quiz permettant de tester les connaissances des utilisateurs en AM. La figure 10 montre quelques captures d'écran de l'application montrant les informations incluses et un exemple du quiz.

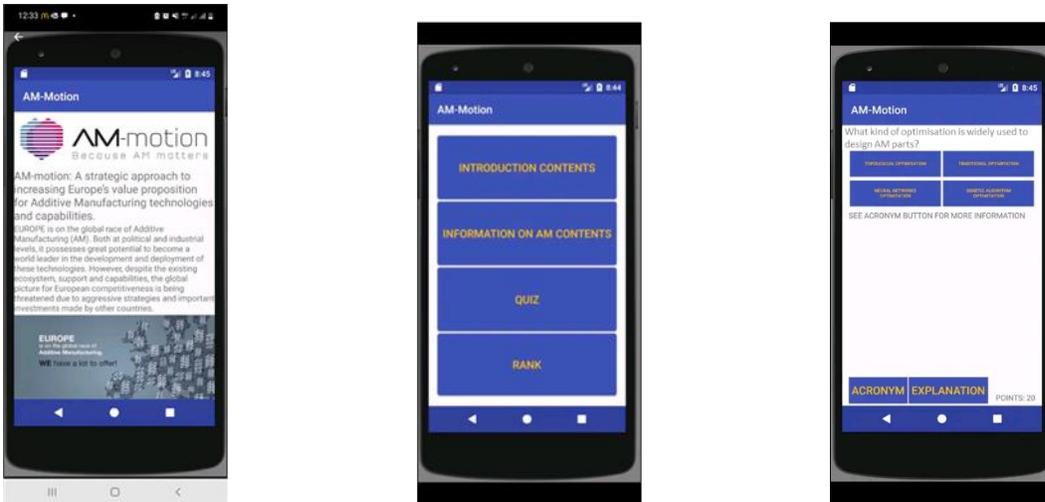


Figure 10: Captures d'écran de l'application AM-Motion développée par Idonial

4.1.5 Logiciel éducatif - Granta EduPack

GRANTA EduPack est un ensemble unique de ressources pédagogiques et de logiciels qui soutiennent l'éducation aux matériaux dans l'ingénierie, la conception, la science, le développement durable et la FA. Il fournit une base de données complète d'informations sur les matériaux et les processus, y compris la FA, le traitement et l'analyse des données (courbes d'Ashby), une gamme de ressources de support : par ex. conférences, projets et exercices. GRANTA EduPack est divisé en trois niveaux afin que les étudiants accèdent à un niveau approprié d'informations sur les matériaux au fur et à mesure qu'ils progressent dans leurs études, c'est-à-dire des cours préuniversitaires aux cours de troisième cycle. Il est utilisé dans de nombreuses circonstances différentes pour le matériel pédagogique lié à la FA : parfois dans des laboratoires informatiques bien équipés, parfois dans des études autodirigées utilisant le propre ordinateur portable d'un étudiant. Il peut être fondamentalement intégré dans les programmes d'études et un outil essentiel pour les étudiants chaque année; ou il peut simplement être utilisé comme ressource de données et comme moyen de créer de superbes conférences avec des graphiques clairs et attrayants pour illustrer des concepts.

Dans le logiciel, il y a des idées sur la façon d'utiliser la base de données des éléments pour illustrer les tendances et les relations entre les propriétés du tableau périodique ; comment de simples graphiques à bulles du module de Young par rapport à la densité peuvent être utilisés pour aider les élèves à comprendre les différentes familles de matériaux et ce qui (par exemple, la liaison et la structure cristalline) affecte leurs propriétés. Les étudiants peuvent cliquer sur des notes scientifiques qui renforcent la théorie et incluent des références à des textes standard. Des sujets tels que les diagrammes de phase et la cristallographie peuvent être couverts à l'aide d'outils interactifs dans

la nouvelle édition MS&E de GRANTA EduPack. Le traitement thermique et d'autres façons de manipuler les propriétés des matériaux sont également facilement illustrés. Les étudiants peuvent ensuite sélectionner des matériaux pour un projet basé sur ces propriétés, développant ainsi une perspective sur la façon dont la science fondamentale se traduit en applications d'ingénierie réelles.

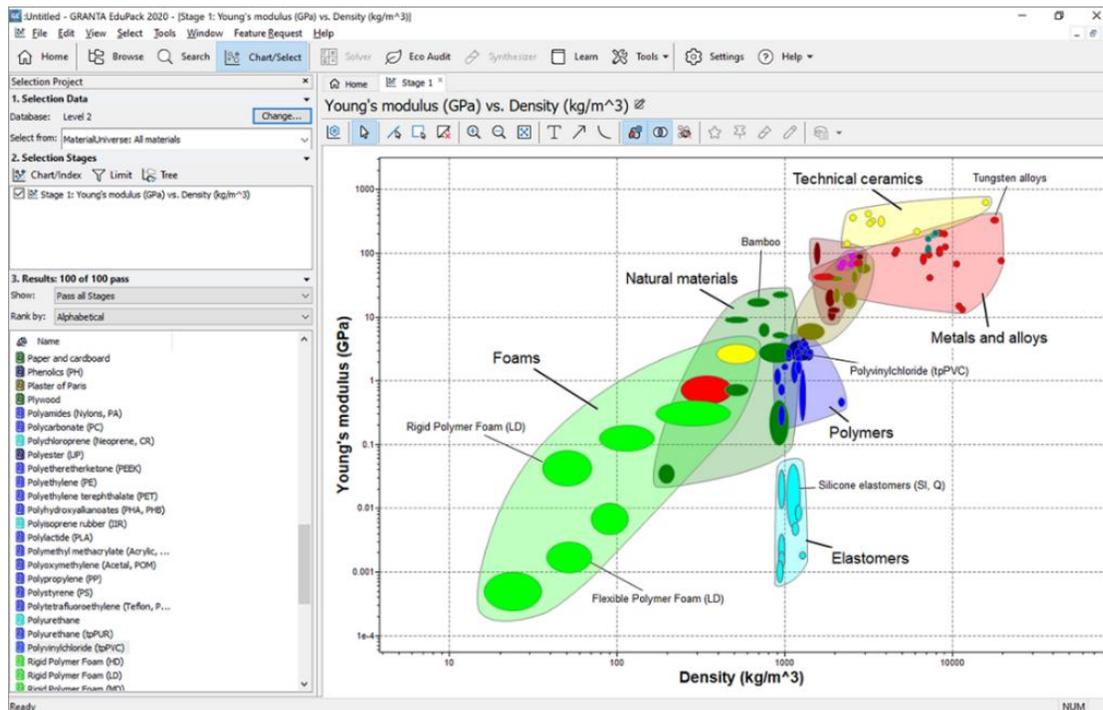


Figure 11: Une capture d'écran de Granta EduPack

Plusieurs approches pédagogiques sont applicables lors de l'utilisation du logiciel Granta EduPack pour l'enseignement et l'apprentissage des matériaux avec un nombre croissant de ressources dédiées aux matériaux et processus spécifiques à la FA :

Une approche axée sur la conception : dans cette approche, l'étudiant commence par un défi de conception. Le logiciel leur permet d'identifier les familles de matériaux qui répondent le mieux à ses exigences. Ils peuvent ensuite explorer pourquoi différents matériaux fonctionnent différemment, en "explorant" les ressources d'information EduPack pour en savoir plus sur la science sous-jacente.

Enseignement en classe : Des unités de cours PowerPoint prêtes à l'emploi et des cahiers d'exercices associés sont mis à disposition. Des tableaux de propriétés des matériaux personnalisés peuvent être créés pour illustrer un point particulier, et copiés dans PowerPoint, ou enregistrés en tant que fichier de projet et ouverts dans le logiciel afin que vous puissiez annoter le tableau en temps réel pendant votre cours. Le logiciel est également utilisé comme base pour de courts exercices pratiques pour les étudiants pendant les sessions en classe, ou comme « devoirs ». Les ressources pédagogiques EduPack proposent de tels exercices. Les élèves peuvent étudier des matériaux et créer des rapports ou des affiches pour prouver leur apprentissage.

Apprentissage par projet : soutien aux projets des étudiants, à la fois en tant que ressource d'information complète et en utilisant sa sélection de matériaux, son éco-audit et d'autres outils de modélisation pour résoudre des problèmes liés aux matériaux. Ces projets peuvent aller de courts exercices dans le cadre d'un cours d'introduction (des exemples sont fournis dans les ressources pédagogiques GRANTA EduPack) à de vastes projets de conception de dernière année ou même à des projets de recherche de niveau master (utilisant les données approfondies de la base de données EduPack Niveau 3).

Apprentissage basé sur les problèmes : Lorsque les étudiants utilisent le logiciel pour résoudre des problèmes liés à la conception ou aux matériaux, ils peuvent facilement « approfondir » les informations qui expliquent les principes techniques et scientifiques qui sous-tendent les propriétés et les matériaux qu'ils étudient. Cette capacité est bien adaptée aux approches basées sur les problèmes où les étudiants sont encouragés à élargir leurs connaissances en explorant les problèmes et les concepts qui surviennent lorsqu'ils abordent un problème spécifique.

Auto-apprentissage : L'inscription et les licences à l'échelle du campus de GRANTA EduPack dans toute l'Europe permettent à chaque étudiant du cours participant d'installer le logiciel sur son propre ordinateur portable ou PC. Cela signifie que GRANTA EduPack peut être une aide puissante pour l'apprentissage à distance et d'autres cours qui obligent les étudiants à effectuer une partie substantielle de leur apprentissage à distance ou à leur rythme. De nombreuses ressources pour les étudiants sont fournies, y compris des livrets « Enseignez-vous », des glossaires et des études de cas.

4.2 Méta-analyse des études pilotes et des enquêtes menées dans le cadre du projet SAM

4.2.1 Études pilotes

Comme mentionné dans l'introduction, différents cours pilotes pour les professionnels ont été retravaillés ou introduits au cours du projet SAM. Cette section examine l'intégration des contextes d'apprentissage et des outils mentionnés ci-dessus qui ont été répertoriés ici et aide à comprendre lequel a été utilisé avec plus de succès que d'autres. Alors que la crise du COVID 19 frappait au tout début de la phase pilote, la majorité des cours pilotes ont été dispensés sous forme de cours en ligne. Les membres ont déclaré que ces cours auraient, dans des circonstances « normales », été dispensés sous la forme d'une partie théorique et d'une partie pratique. Au cours des 1ère et 2ème phases pilotes, 29 stages pilotes ont été dispensés, correspondant respectivement à 17 dans la première et 12 dans la seconde phase. Pour la première étape, les 12 UC qui complètent le Profil Professionnel Ingénieur Procédés ont été mises en place par les partenaires de SAM. Il y avait une répartition égale entre la mise en œuvre des différentes UC à travers les partenaires. De plus, 3 UC matériaux ont été enseignées et 2 UC correspondant au profil professionnel concepteur de FA métal. Les partenaires suivants ont organisé et mis en œuvre ces 17 activités pilotes dans la première étape : LORTEK, ANSYS GRANTA, AITIIP, FA, IMR, LMD, EC Nantes, MTC, POLIMI, ISQ, UBRUN, EPMA, IDONIAL. Au total, 732 étudiants ont participé à cette première phase de pilotage.

Competence Unit	Organizer
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)
CU 01: DED-Arc Process	AITIIP
CU 08: DED-LB Process	FA
CU 15: PBF-LB Process	IMR
CU 25: Post Processing	LMS
CU 34: Process selection	EC Nantes
CU 35: Metal AM integration	AITIIP
CU 36: Coordination activities	MTC
CU 43: Production of PBF-LB parts	POLIMI
CU 44: Conformity of PBF-LB parts	POLIMI
CU 45: Conformity of facilities featuring PBF-LB	ISQ
CU 26: Introduction to materials (optional)	UBRUN/Granta
CU 27: AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	EPMA
CU 30: AM with Nickel feedstock	EPMA
CU 33: AM with Titanium feedstock	Lortek
CU61 (should be done if possible): Simulation Analysis	Idoniq
CU62: Simulation Execution	Granta

Competence Unit	Organizer	Mode of training
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	UBRUN (support Granta)	
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	ISQ	
CU 66 - Designing Polymers AM Parts	MTC (support: AITIIP)	
CU 67 - Post Processing for Polymers	LAK	
CU 68 - Design for Material Extrusion	LMS	
CU 68 - Design for Material Extrusion	FA	
CU 69 - Design for PBF Polymer	LMS (support: AITIIP & IDONIAL)	
CU 64 - Business for Additive Manufacturing	EC Nantes (support: POLIMI)	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	LORTEK	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	IMR (support: MTC)	

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Organizer	Mode of training	Participants (including number of attendances, age range, profession, etc)	Training tool kits			
				Training context (Description of the context used in training (e.g. classroom, lab, etc))	Training tools (Description of the training tools (e.g. lecturing, project, case study, etc))	Practical exercises (If R is used)	Restrictions & Difficulties (Description of any limitation preventing to use specific training tool technologies, it is very difficult to provide practical tools as most companies have maybe only a few in-house)
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)	presential	16 Participants, 20 -35 age range, 3 Women, 13	Classroom teaching over a few days.	The pilot was carried out by several experts in their area of expertise. The presentations were given in form of lecturing.	Practical exercises were only performed in terms of showing parts manufactured in the different (if applicable) technologies.	
CU 01: DED-Arc Process	AITIIP	presential	18 Participants, 26 -40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 5 days.	Presentations, peer instruction, KBAEN (example: AITIIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	This CU is very long and was complicated to students to maintain focused all the training
CU 08: DED-LB Process	FA	Online	11 Participants, five < 26 age range, three: 26 -35 age range, 2 Women, 6 Men, at Portugal all	3 days online course	Lecturing	No	the duration of the course per day and some changes that were performed due to COVID-19.
CU 15: PBF-LB Process	IMR	Online	60 Participants 95% of participants were male. 53% were between the ages of 26 and 35. 50% of all attendees were working in the Health Industry. 95% of attendees had a Bachelor's or Master's degree.	4 days online course	Lecturing	No	Due to COVID 19 the course was too theory heavy and this is not relevant to industry where expertise in practice is vital. Contact was also limited because of current restrictions preventing face-to-face. Online content should be reviewed multiple times to reinforce theory.
CU 25: Post Processing	LMS	on line	21 participants, 26-35 age range, students and professionals, 1 at Belgium, 4 at Greece, 3 at Portugal, 3 at India, 1 at Turkey, and 1 at Nigeria.	On line course separated in 2 days	Lecturing	No	No practical exercise was done due to on line mode of the course
CU 34: Process selection	EC Nantes	on line	13 Master students in industrial engineering: gender: 92% male & 8% female age range: all <35 years old Origin: France, Italy, China, Iran, India	On line classroom	Lecturing - Providing some case studies - Hands on experience	Perform cost estimation to compare a traditional manufacturing route (injection molding) with layer manufacturing processes (Stereolithography SL, Fused deposition modeling FDM and Laser sintering LS) in terms of the unit cost for parts made in various quantities. Students were given necessary information to solve a case study including: Assumptions (e.g. AM machines specifications, etc.), the cost model equations, and Requirement for the cost estimation for different AM process including SL, FDM and LS.	Restriction on the use of team working and group discussion activities prevented practicing decision-making skills, mostly for case study analysis. Impossibility to use some practical training tools required to demonstrate the AM technologies and processes
CU 35: Metal AM integration	AITIIP	presential	18 Participants, 26 -40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
CU 36: Coordination activities			35 participants, 87% male, 13% female. 20%+25 yrs old, 43% 26-35, 33% 36-55, 3%>55	10 lecture sessions undertaken in one	Powerpoint presentations supported by		requested: less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical /discussion elements preferred. Clarification to the assessment questions

Figure 12: Données recueillies à partir d'études pilotes réalisées au cours de la première étape. En tête, la liste des UC pilotées par différents partenaires

À partir de ces activités de mise en œuvre pilote, des informations détaillées ont été enregistrées en termes de contexte de formation et d'outils utilisés. Il convient de mentionner que bon nombre de ces activités pilotes ont été menées au cours du premier semestre de l'année 2020, où il y a eu un confinement général dans les pays européens.

L'analyse en termes d'outils et de contextes d'apprentissage employés a été répétée pour la deuxième série d'études pilotes. Dans ce cas, 10 activités pilotes ont été réalisées par différents partenaires dont UBRUN, ISQ, MTC, LAK, LMS, FA, AITIIP, IDONIAL, EC NANTES, POLIMI, LORTEK et IMR. Au total, 261 étudiants ont été engagés dans cette deuxième étape. Dans ce cas, les nouvelles UC créées pour Designer for Polymers Professional Profile ont été sélectionnées ainsi que deux nouvelles unités de compétence concernant la certification et la normalisation et les affaires.

En général, l'enseignement théorique consistait à la fois en un examen général des processus appliqués et en des informations détaillées sur le processus FA, ses avantages et ses inconvénients.

Sur l'élément pratique des pilotes, les participants devaient créer un produit en utilisant des techniques de FA. Dans les projets pilotes CU 68 Design for Material Extrusion et CU 69 - Design for PBF Polymers, les participants ont été invités à créer un support de téléphone portable à l'aide de processus FA.

Pendant la formation et pour augmenter l'interaction et l'engagement des apprenants, des sondages en direct ont été exécutés à l'aide de Slido, Kahoot! Et d'autres plateformes pour améliorer l'engagement des étudiants en ligne, donnant aux participants la possibilité d'en savoir plus et d'accroître la communication avec les formateurs et d'améliorer la prise de décision sur la conception et la finition des produits en cours de création. Les sondages peuvent être utilisés à la fois dans des forums d'apprentissage en face à face ou en ligne.

4.2.2 Analyse systématique

Une analyse systématique basée sur la méthodologie développée dans le WP3 pour soutenir la mise en œuvre des formations FA a été réalisée afin de contrôler la qualité des activités de pilotage et de tirer des conclusions et de détecter les domaines d'amélioration potentiels. Tous les partenaires responsables de la mise en œuvre de chaque activité pilote ont été invités à remplir le modèle suivant afin de compléter cette analyse systématique. L'analyse a été effectuée sur la base des quatre catégories de compétences abordées dans le projet SAM, à savoir : technologique, verte, numérique et entrepreneuriale.

Les « compétences technologiques » sont définies comme la « capacité à appliquer les connaissances et à utiliser le savoir-faire pour exécuter des tâches et résoudre des problèmes » [dans le cadre d'activités spécifiques] » (Adapté du CEDEFOP 2008)

<https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/validation-non-formal-and-informal-learning/european-inventory/european-inventory-glossary#5>

Exemples de compétences liées à la fabrication additive : processus de FA ; Modélisation numérique; Simulation; CAPP (Computer Aided Process Planning) pour la FA ; Optimisation de la topologie ; Conception pour la FA ; Intégrité structurelle; Analyse et caractérisation des matériaux ; Pré-traitement et manutention des matériaux ; Post-traitement, etc.

*Source : Des experts en FA ont été consultés pour identifier la liste des compétences technologiques en FA. La liste n'est pas fermée et a nécessité une exploitation supplémentaire afin de détecter des secteurs et/ou des profils spécifiques.

Les « compétences numériques » sont définies comme « une gamme de capacités à utiliser des appareils numériques, des applications de communication et des réseaux pour accéder à des informations et les gérer. Ils permettent aux gens de créer et de partager du contenu numérique, de communiquer et de collaborer, et de résoudre des problèmes pour un épanouissement personnel efficace et créatif dans la vie, l'apprentissage, le travail et les activités sociales en général » (UNESCO, 2022) <https://www.unesco.org/en/articles/digital-skills-critical-jobs-and-social-inclusion>

Exemples de compétences liées à la fabrication additive : analyse de données numériques (intelligence artificielle, apprentissage automatique) ; Gestion des données numériques (big data, statistiques,...) ; Capacité à penser en 3D; La cyber-sécurité; Codage / programmation.

*Source : Des experts de la FA ont été consultés pour identifier la liste des compétences numériques en FA. Plus tard, le DiGComp a été utilisé pour une exploitation plus poussée en alignement avec ceux du secteur spécifique à la FA.

Les « compétences vertes » sont définies comme « les connaissances, les capacités, les valeurs et les attitudes nécessaires pour vivre, développer et soutenir une société durable et économe en ressources (CEDEFOP, 2015) <https://www.unido.org/stories/what-are-compétences-vertes>,

Exemples de compétences liées à la fabrication additive : efficacité des ressources, sensibilisation à l'écologie, analyse du cycle de vie (ACV), éco-conception, économie circulaire, ressources vertes et produits verts.

*Source : La catégorisation en compétences vertes AM était basée sur la publication du CEDEFOP "Compétences vertes et innovation pour une croissance inclusive"[<https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/3069>,"

"L'entrepreneuriat ou les compétences entrepreneuriales" sont définies comme "une compétence clé transversale applicable par des individus et des groupes, y compris des organisations existantes, dans toutes les sphères de la vie" ou "lorsque vous agissez sur des opportunités et des idées et que vous les transformez en valeur pour les autres". La valeur créée peut être financière, culturelle ou sociale. (ENTRECOMP, 2016)

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en

Exemples de compétences liées à la fabrication additive : communication ; travail d'équipe, gestion des clients, résolution de problèmes, apprentissage, planification et organisation ; Opportunités de repérage ; Créativité; Valoriser les idées ; Conscience de soi et efficacité personnelle; etc.

*Source : le référentiel EntreCOMP a été utilisé comme référence en combinaison avec le référentiel de compétences transversales dans l'outil Skills Intelligence.

Afin de compléter l'analyse systématique, il a été demandé aux partenaires d'identifier les compétences technologiques, entrepreneuriales, numériques et vertes qui ont été adoptées dans leurs activités de pilotage au cours de la 1ère et de la 2ème étape des pilotes, y compris l'UC complète et les sujets, et de les connecter aux outils de formation et aux méthodes d'évaluation qu'ils ont utilisées. Par conséquent, la méta-analyse a été essentiellement effectuée du point de vue des compétences. La première étape a consisté à remplir le tableau suivant.

Table 2: Analyse systématique des études pilotes menées par l'Université Brunel et Ansys Granta

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU 26 (Brunel / Ansys): Additive manufacturing Process Overview	Introduction to materials (optional)	8 online sessions via Microsoft Teams	Online presentations, Demos, Mentimeter-type surveys, Granta EduPack case studies	Online Quiz (multiple choice)	No practical or laboratory sessions as the course was delivered remotely
	CU 61 (Ansys): Simulation execution	Simulation of Metal AM	4 training sessions online via Teams; On demand course through Ansys Learning HUB. Ansys software was provided.	Case studies, Quiz, Videos, Chat/Forum	Online Quiz (multiple choice)	Access to software for training tasks requires license. Additive specific knowledge requires prior knowledge of FEA/Ansys tools simulations which some participants did not have.
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	CU 61 (Ansys): Simulation execution	Simulation of Metal AM builds	Practical software skills	Ansys AM suite	Online assessment	Access to software for training tasks requires license that was provided.
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 3: Analyse systématique des études pilotes réalisées par Lortek (support Granta en CU00 et CQSAM en CU63).

Technological	CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview	Classroom teaching over a few days	Carried out by several experts in their area of expertise. Lecturing, Demo/lab tour	Written exam (virtual)	As this CU provides an overview of all technologies, it is very difficult to provide practical tools as most companies have maybe only a few in-house.
		Lab visit, equipment, components and parts				
		Process standards				
	CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Metal AM overview	Classroom teaching over a few days	Videos, Lab tour, Macrographic studies, Analysis of papers, Case studies	Multiple choice questions	As the company is working with WAAM and has it in-house, there were no limitations or restrictions.
		AM Design and material				
		Post processing and industrial sector requirements				
	CU 63 (Lortek): Certification, Qualification and Standardisation in Additive Manufacturing	Certification and qualification in AM	Online course 2 x 3,5 hrs	Lecturing - with case studies and interaction via slido to engage the public	Oral, Reading, Written (Questionnaire)	The course was offered as a webinar. This was opposed to our usual students. Hence, it was very difficult to control the type of people that were taking part in the course. Furthermore, in order to take a diverse approach to teaching, different guest speaker were selected - as the speakers came from different companies - the approach to teaching
		Standardization in AM				
		Applicability of these in the AM enabled process chain				

						certification was different.
Entrepreneurship	CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Economics and productivity	Classroom teaching over a few days	Case study, hands on practice	Multiple choice questions	As the company is working with WAAM and has it in-house, there were no limitations or restrictions.
					Practical exam, mini projects	
Digital skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 4: Analyse systématique des études pilotes réalisées par l'AITIIP.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Hardware and operation Feedstock and consumables	Classroom teaching over 5 days.	Presentations, peer instruction, KRAKEN example (AITIIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Written exam (questionnaire)	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training
	CU 35 (AITIIP): Metal AM integration	Production Management	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Written exam (questionnaire)	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
Entrepreneurship	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	DED-Arc Manufacturing strategy	Classroom teaching over 5 days.	Presentation, videos, Practical explanations	Written exam (questionnaire)	This CU is very long and was complicated to students to

						maintain focused all the training
	CU 35 (AITIIP): Metal AM integration	AM Commercial Intergration Case Studies	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Written exam (questionnaire) Oral exam	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
Digital skills	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Software, programming with CURA, CAM	Classroom teaching over 5 days.	Presentation, videos, Practical explanations	Written exam (questionnaire)	This CU is very long and was complicated to students to maintain focused all the training
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 5: Analyse systématique des études pilotes réalisées par LMS (support : AITIIP & IDONIAL en CU69).

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU 25 (LMS): Post Processing	Thermal treatment	Online course separated in 2 days	Lecturing online	Online Multiple choice questions	No practical exercise was done due to on line mode of the course
		Plastic deformation and subtractive manufacturing				
		Finishing operations				
	CU 68 (LMS): Design for	Basics of AM and MEX for MEX	Online course separated in 2 days	Lecturing, polls, online case study	Online exam	Of course the hands on case study is preferred but due to on line

	Material Extrusion	Design considerations				mode it was not possible. Augmentation of the number of participants.
	CU 69 (LMS): Design for PBF Polymer	Basics of AM and PBF	Online course separated in 2 days	Lecturing online	Online exam	Of course the hands on case study is preferred but due to on line mode it was not possible. Augmentation of the number of participants.
		Materials for PBF				
		Design considerations				
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 6: Analyse systématique des études pilotes réalisées par POLIMI.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Design for AM	Remote, Online classrom + labs	Lecturing, lab involving project work and hands-on learning, joint virtual class with other two universities (TUM and MIT)	Online exam	Restriction in lab visits due to COVID situation
	CU 44 (POLIMI):	Quality assurance	Online classrom	Lecturing, joint virtual class	Online exam	

	Conformity of PBF-LB parts	AM process standards Materials and testing		with other two universities (TUM and MIT)		Restriction in lab visits due to COVID situation
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	CU 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Software for AM, Topology optimization, CAD-STL-g-code	Remote, Online classroom + labs	Lecturing, lab involving project work and hands-on learning, joint virtual class with other two universities (TUM and MIT)	Online exam	
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 7: Analyse systématique des études pilotes réalisées par l'EPMA.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU 27 (EPMA): AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	Materials science of steel	10 online sessions via Microsoft Teams	Lecture slides, EPMA publications	Online exam	No practical sessions
	CU 30 (EPMA): AM with Nickel feedstock	Materials science of nickel-based alloys	3 online sessions via Microsoft Teams	Lecture slides, EPMA publications	Online exam	No practical sessions
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-

	-	-	-	-	-	-
Digital skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 8: Analyse systématique des études pilotes réalisées par MTC.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU36 (MTC): Coordination activities	AM management and operational considerations	10 lecture sessions undertaken in one day (course was run twice for different cohorts 12/1/21 and 15/1/21)	Powerpoint presentations supported by videos, discussion and mentimeter sessions	Online exam (multiple choice)	No issues with delivery but students requested ; less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical /discussive elements preferred. Clarification to the assessment questions was required and this is contained in a separate report.
	-	-	-	-	-	-
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Green skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Table 9: Analyse systématique des études pilotes réalisées par Idonial.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU61 (Idonial): Simulation Analysis	Finite Element simulation and analysis	4 training sessions that took place remotely via Microsoft Teams	Lecturing Case studies	Online exam	The course took place entirely in a remote way, due to COVID 19 restrictions. This was an added difficulty when trying to propose scenarios for the participants to solve (practical exercises), as well as the CU's own complexity in terms of the relation between contents and available time.
	-	-	-	-	-	-
Entrepreneurship	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	CU61 (Idonial): Simulation Analysis	Topology optimization, Ansys software	4 training sessions that took place remotely via Microsoft Teams	Lecturing Case studies	Online exam	The course took place entirely in a remote way, due to COVID 19 restrictions. This was an added difficulty when trying to propose scenarios for the participants to solve (practical exercises), as well as the CU's own complexity in terms of the relation between
	-	-	-	-	-	-

						contents and available time.
Green skills						

Table 10: Analyse systématique des études pilotes réalisées par EC Nantes.

Group of Skills /Skills Categories	Units	Subjects	Training context	Training tool	Evaluation methods/tools	Restrictions
Technological	CU (ECNantes): Process selection	AM Job analysis (Overview of AM Process)	Online classroom	Lecturing - Video	Written exam (MCQ)	Impossibility to use of some physical laboratory based training tools (e.g. Teaching factory) that supports learning by doing – less possibility for team working and group discussion – difficulties to understand the levels of the students’ engagement
		AM Job analysis (Design, Material, Technical specification)		Lecturing – Video – Case study		
		AM Job analysis (Post processing, Industrial sector requirements)		Lecturing - Video		
Entrepreneurship	CU (ECNantes): Business for Additive Manufacturing	Business strategies and models	Online classroom	Lecturing – case study	Written exam (MCQ)	Less possibility to bring into practice the real/fiction business case in the contexts of team work and group discussion – impossibility to demonstrate on-site examples of AM process
		Policy and governance		Lecturing		
		Quality Management, Planning, and Control		Lecturing - Video		
		AM workflow management		Lecturing		

		Budgetting and Costs		Lecturing – Practical exercise		
	CU (ECNantes): 34 Process selection	Economics and Productivity	Online classroom	Lecturing – Practical exercise	Written exam (MCQ) – Practical exam	
	-	-	-	-	-	-
Digital skills	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Green skills	CU (ECNantes): 64 Business for Additive Manufacturing	HSE & Sustainability	Online classroom	Lecturing - Video	Written exam (MCQ)	
	-	-	-	-	-	

À partir de ce modèle, une méta-analyse a été réalisée qui a donné un bon aperçu du nombre de compétences couvertes dans chaque unité de compétence et sujet, le nombre d'outils de formation qui ont été utilisés pour leur développement et les outils de formation les plus utilisés par catégorie de compétences.

4.2.3 Enquêtes

Les résultats de la méta-analyse réalisée avec les données enregistrées de chaque activité pilote individuelle ont été comparés aux résultats de la deuxième enquête sur l'industrie qui a été réalisée en janvier et février 2022. Au cours de cette enquête, la main-d'œuvre et les employeurs actuels de la FA ont été ciblés. Bien que l'objectif principal de l'enquête était de poser des questions sur les lacunes de compétences pertinentes, l'alignement entre l'industrie et l'offre de FA et les profils qui seront principalement requis par l'industrie à court et moyen terme, les partenaires SAM ont décidé d'inclure également quelques questions supplémentaires sur la future mise en œuvre de la FA dans l'industrie. Ces questions portaient sur les préférences en matière de formation abordée pour surmonter les besoins en compétences.

Il convient de noter que bon nombre des professionnels actuels ont acquis leurs connaissances et leurs compétences par le biais de cours, d'auto-apprentissage et de formation ou de mentorat en cours d'emploi. Par conséquent, il est tout à fait évident qu'il existe encore un manque de cadre d'éducation formelle qui devrait garantir les normes et la qualité des programmes d'enseignement. De plus, il est très important de noter que les travailleurs visent à suivre des cours de courte durée, se concentrant sur des compétences spécifiques ou des sujets FA, à travailler avec des

études de cas, des groupes de travail, des méthodes d'apprentissage par problèmes et une formation sur le tas. En fait, les cours de longue durée basés sur l'apprentissage présentiel et les cours magistraux ne sont pas les contextes et outils d'apprentissage les plus attrayants selon la main-d'œuvre. La conclusion de cette analyse est que les cours de formation devraient faire un grand effort pour concentrer les cours théoriques et mettre en œuvre d'autres outils d'apprentissage plus actifs hors de la salle d'enseignement.

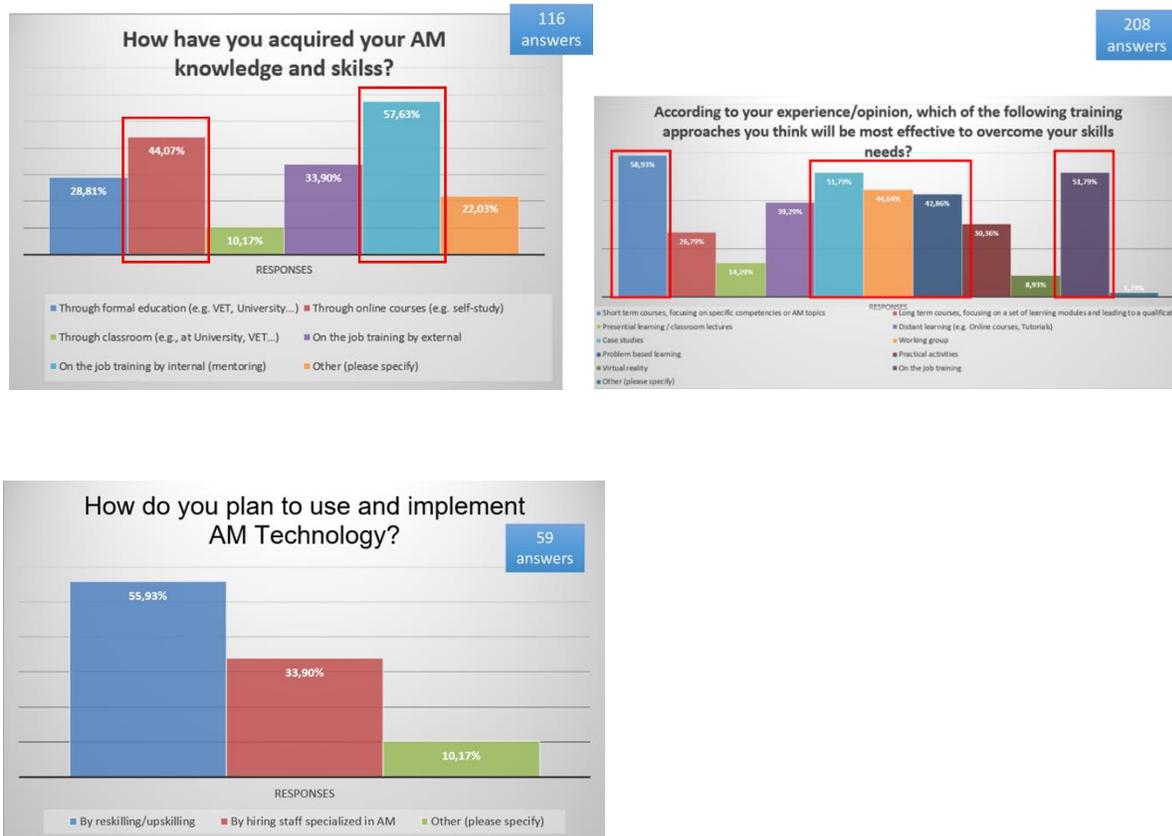


Figure 13: Résultats de la deuxième enquête auprès de l'industrie indiquant les principales préférences en matière de formation

4.2.4 Conclusions de la méta-analyse

Les principaux résultats de la méta-analyse menée sont présentés dans les graphiques suivants. De plus, les principales conclusions étaient :

- 1) Les compétences technologiques ont été principalement ciblées dans chaque UC et dans les matières connexes. Les compétences entrepreneuriales ont également été abordées dans de nombreuses activités pilotes, dont 5 UC et 10 matières. Les compétences numériques et surtout vertes n'étaient presque pas couvertes lors des activités de formation.
- 2) Près des deux tiers des activités de pilotage étaient en ligne. Cela était principalement dû aux restrictions provoquées par l'épidémie de Covid-19.

3) Les cours magistraux, les études de cas, les vidéos et les activités pratiques ont été les outils de formation les plus utilisés pour développer les compétences technologiques. Pour les compétences entrepreneuriales et numériques, les cours magistraux et les activités pratiques ont également été des outils de formation privilégiés. À ce stade, il convient de souligner à nouveau que la mise en œuvre de certains outils comme les projets, les activités pratiques ou les groupes de travail a été entravée par la situation pandémique.

4) Afin de tester l'impact de la pandémie de Covid19 sur les outils de formation sélectionnés, une analyse basée sur les années a été réalisée. Ainsi, les activités de pilotage réalisées en 2020 ont été analysées indépendamment de celles réalisées en 2021. La conclusion est que lors des activités de pilotage de l'année 2021, moins de cours magistraux ont été utilisés, alors que le reste des outils de formation tels que les activités pratiques, les groupes de travail ou les études de cas ont été promus. Cela a permis une approche pédagogique plus pratique et immersive qui a été considérée positivement par les étudiants.

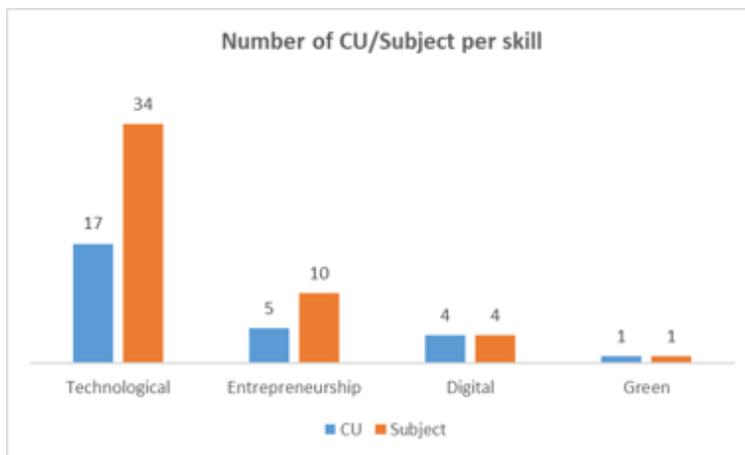


Figure 14: Synthèse des résultats de la méta-analyse : nombre de compétences dans chaque catégorie couverte par les UC/disciplines.



Figure 15: Aperçu des résultats de la méta-analyse : mode de formation pour la réalisation des activités de pilotage.

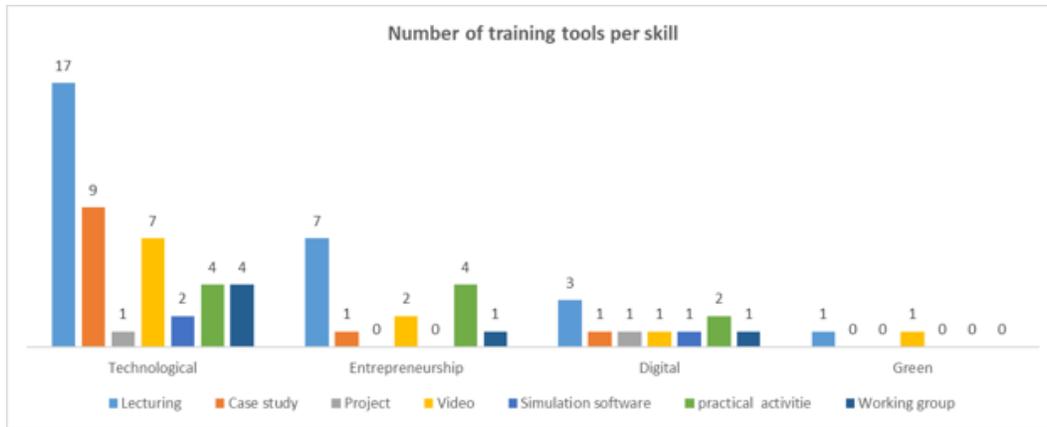


Figure 16: Aperçu des résultats de la méta-analyse : nombre d'outils de formation utilisés pour développer différents types de compétences.



Figure 17: Outils de formation les plus utilisés pour le développement de différentes catégories de compétences (technologiques, entrepreneuriales, numériques, vertes) en 2020 et 2021.

Après l'achèvement des activités de pilotage, un résumé des compétences les plus nécessaires et des outils de formation et des méthodes d'évaluation les plus utilisés a été réalisé.

Technological skills					
Most needed skills 2021	Most needed skills 2020	Most used training 2021	Most used tools 2020	Most used evaluation methods 2021	Most used evaluation methods 2020
AM Processes (91%)	AM Processes (91%)	Practical Lab activities (81%)	Lectures (89%) Practical Lab activities (75%)	Practical lab activities (61%)	Written exam (59%)
AM applications (79%)	AM application (85%)	Lectures (73%) Working groups (61%)	Case studies (61%)	Written exams (55%)	Practical Lab exam (47%)
Design (CAD Modelling) (77%)	Design CAD Modelling (67%)			Working groups (42%)	Working group (46%)
Entrepreneurship skills					
Most needed skills 2021	Most needed skills 2020	Most used training 2021	Most used tools 2020	Most used evaluation methods 2021	Most used evaluation methods 2020
Working with others (62%)	Creativity (46%) Working with others (42%)	Case studies (56%) Working groups (47%)	Case studies (59%) Lectures (48%) Working groups (46%)	Working groups (42%) Written exams (39%) Problem-based learning (35%)	Working groups (57%) Written exams (32%) Report (30%)
Creativity (59%)	Learning through experience (38%)	Lectures (47%)			
Learning through experience (59%)					
Digital skills					
Most needed skills 2021	Most needed skills 2020	Most used training 2021	Most used tools 2020	Most used evaluation methods 2021	Most used evaluation methods 2020
Ability to think in 3D (83%)	Ability to think in 3D (69%)	Practical lab activities (65%)	Lectures (67%) Tutorials (50%)	Practical lab activities (56%)	Practical lab activities (40%)
Coding / programming (24%)	Coding / programming (17%)	Lectures (58%) Working groups (53%)	Practical lab activities (46%)	Problem based learning (42%) Written exams (41%)	Working groups (40%) Written exams (38%)
Digital data analysis (23%)	Digital data analysis (16%)				
Green skills					

Most needed skills 2021	Most needed skills 2020	Most used training tools 2021	Most used training tools 2020	Most used evaluation methods 2021	Most used evaluation methods 2020
Eco-design (47%)	Eco-design (37%)	Case studies (57%)	Lectures (80%)	Working groups (39%)	Working groups (38%)
Circular economy (47%)	Circular economy (35%)	Lectures (54%)	Case studies (35%)	Practical lab activities (35%)	Written exams (33%)
Resource efficiency management (38%)	Life cycle analysis (LCA) (32%)	Working groups (33%)	Working groups (24%)	Written exams (31%)	Report (31%)

Figure 18: Aperçu des résultats de la méta-analyse : tableau récapitulatif.

5 Ensemble approuvé de recommandations pour le contexte et les outils de formation FA

Une session de groupe d'experts en ligne a été organisée par le projet SAM le 21 avril 2022. Différentes entreprises professionnelles et industrielles qui soutiennent le projet SAM ont participé à la session de travail, qui visait à discuter de la méthodologie de conception et de révision des profils professionnels et de développement des compétences qui permettront de mettre en œuvre le Profil(s) professionnel(s) / Qualification(s) ou Unités de compétence / Module(s) pendant la phase de pilotage et après.

Ainsi, les étapes suivies pour compléter la directive opérationnelle applicable aux outils de contexte et de formation ont été expliquées dans ce telco. De plus, la méthodologie employée pour enregistrer les données pertinentes des activités de formation pilote a été présentée et les conclusions de la méta-analyse menée avec les activités de pilotage des premier et deuxième cycles ont été partagées. À la fin de la session, les participants ont discuté de leur recommandation sur le contexte et les outils de formation.

Vous trouverez ci-dessous une liste des recommandations proposées :

- 1) Contexte de la formation : les approches d'apprentissage en ligne et de salle de classe/d'enseignement qui ont été appliquées en raison des restrictions liées au COVID-19 manquent d'apprentissage pratique et elles doivent être combinées avec un apprentissage pratique, y compris des essais en laboratoire et en formation en entreprise. L'apprentissage mixte semble être la meilleure approche, ce contexte doit donc être promu. L'accès aux machines FA est essentiel pour une formation complète.
- 2) Outils de formation : outre les cours magistraux, les études de cas sont un outil de formation puissant pour les professionnels de la FA et très appréciées des employés. Cet outil a été largement mis en œuvre dans les activités de pilotage et devrait être pris en compte pour la mise en œuvre et la définition de nouvelles UC pour les PP.
- 3) Outils de formation : certains outils de formation tels que les jeux sérieux, la réalité augmentée, l'apprentissage par projet ou les ateliers virtuels n'ont pas été mis en œuvre et devraient être inclus et testés dans les futures activités de formation pour évaluer leurs avantages.
- 4) Inclure dans les acquis d'apprentissage de l'UC, une description des compétences (technologiques-entrepreneuriales-numériques-vertes) qui devraient être ciblées dans chaque activité de formation

(évaluation préalable et guide pour les formateurs). Actuellement, seules les compétences techniques sont identifiées en termes d'acquis d'apprentissage.

- 5) La définition des programmes de formation doit être alignée sur les préférences des salariés et de l'industrie : perfectionnement et requalification des professionnels, cours de courte durée axés sur des compétences spécifiques et travaux pratiques (études de cas, groupes de travail, PBL, formation en entreprise).

Plus tard, ces recommandations ont été analysées par une session spéciale lors de la réunion technique SAM n°8, qui s'est tenue à Gijón, en Espagne, du 23 au 25 mai 2022. Les partenaires ont convenu d'adopter les cinq recommandations proposées par le groupe d'experts et d'en proposer trois nouvelles.

La liste finale des recommandations approuvées est présentée ci-dessous :

- 1) Contexte de la formation : les approches d'apprentissage en ligne et de salle de classe/d'enseignement qui ont été appliquées en raison des restrictions liées au COVID-19 manquent d'apprentissage pratique et elles doivent être combinées avec un apprentissage pratique, y compris des essais en laboratoire et en formation en entreprise. L'apprentissage mixte semble être la meilleure approche, ce contexte doit donc être promu. Les activités d'apprentissage actif doivent être combinées avec des cours magistraux traditionnels. Dans certaines UC, l'accès aux machines FA est essentiel pour une formation complète.
- 2) Outils de formation : outre les cours magistraux, les études de cas sont un puissant outil de formation pour les professionnels de la FA et sont très appréciées par les employés. Cet outil a été largement mis en œuvre dans les activités de pilotage et devrait être pris en compte pour la mise en œuvre et la définition de nouvelles UC pour les PP.
- 3) Outils de formation : quelques outils de formation tels que les jeux sérieux, la réalité augmentée, l'apprentissage par projet ou les ateliers virtuels, n'ont pas été mis en œuvre et devraient être inclus et testés dans les futures activités de formation pour évaluer leurs avantages. Certains partenaires avaient leurs propres jeux et applications VR qui pouvaient être mis en œuvre par des centres de formation.
- 4) Inclure dans la description de l'UC une section sur les « recommandations pour développer des compétences non technologiques » dans le but de sensibiliser aux autres catégories de compétences abordées par le projet SAM, à savoir : les compétences numériques, entrepreneuriales et vertes.
- 5) La définition des programmes de formation doit être alignée sur les préférences des salariés et de l'industrie (maintenir les formations aussi courtes que possible) : mise à niveau et requalification des professionnels, cours de courte durée axés sur des compétences spécifiques et des travaux pratiques (études de cas, groupes de travail, PBL, en formation en entreprise). Le retour d'expérience des industriels (client le plus important) est essentiel.
- 6) La définition ou la révision des heures de contact, y compris le nombre d'heures pour les activités pratiques, doit être incluse dans la définition de l'UC.

- 7) Afin d'améliorer l'analyse systématique du processus de mise en œuvre de l'UC, un nouveau tableau de collecte de données est proposé. Cela devrait être utilisé avec un nouveau glossaire et une description améliorée des UC, y compris des compétences technologiques-entrepreneariales-numériques-vertes ciblées dans la description des résultats d'apprentissage.
- 8) L'alignement d'IAMQS avec DigiComp et EntreComp est assez subjectif et cela nécessite une adaptation initiale de ces deux référentiels de compétences à la FA. Des exemples clairs sur la manière de transférer des compétences numériques, entrepreneariales et vertes vers la formation doivent être inclus dans les lignes directrices (exemple : apprentissage par projet avec un suivi régulier et couvrant différents domaines de développement - modèle d'entreprise, ACV, ...)

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Subjects	Learning context						Learning tools								
		On-line learning / distance learning	Classroom / presential learning	Laboratory	Internship / In company training	Blended learning	Teaching factory	Serious games	Augmented reality	Project based learning	Case study	Lecturing	Virtual workshops	Practical activities	Group work	Educational videos and animations
CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview															
	Lab visit, equipment, components and parts															
	Process standards															
CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Metal AM overview															
	AM Design and material															
	Post processing and industrial sector requirements															

Figure 19: Nouveau tableau de collecte de données pour le suivi de la mise en œuvre de l'UC.

6. Conclusions

Le document donne un aperçu et une définition (glossaire) des divers contextes d'apprentissage et outils d'apprentissage disponibles pour la formation et l'enseignement de la FA. En termes de contextes d'apprentissage, on peut trouver une gamme de contextes allant de l'enseignement traditionnel en classe à l'enseignement en laboratoire. En raison du problème de CoVid 19, on s'attend à ce que l'apprentissage en ligne prenne une ampleur significative au cours des prochaines années. Les outils d'apprentissage ont élargi les capacités technologiques comme mentionné ci-dessus et les exemples incluent désormais les jeux sérieux et les paradigmes TF.

Dans l'ensemble, on peut souligner que l'apprentissage de la FA est limité aux deuxième et troisième niveaux du CEC, mais de nombreux contextes et outils de formation sont déjà disponibles pour l'enseignement, l'apprentissage et la pratique de différents sujets d'impression 3D au niveau Master/PhD et pour le développement professionnel/perfectionnement.

Il apparaît nécessaire de traduire les cours spécifiques de troisième cycle avancé au niveau du premier cycle. En outre, l'inclusion de sujets de FA dans l'enseignement secondaire (comme dans les programmes de sensibilisation développés par IMR - Irish Manufacturing Research) serait très bénéfique pour commencer à aborder le développement des compétences en FA à un stade précoce et pour accroître l'attractivité des carrières d'ingénieur chez les jeunes personnes.

L'impression 3D étant une technologie assez récente, le processus de numérisation a également déjà été inclus pour de nombreuses méthodes d'enseignement telles que la réalité augmentée ou les jeux sérieux. On peut choisir parmi un large éventail de méthodes d'enseignement.

Cependant, comme le souligne ce document, l'offre actuelle du marché de l'éducation à l'échelle de l'UE place la FA comme une matière optionnelle ou mineure des cours d'ingénierie plutôt qu'au centre d'une offre de formation spécifique. La manière dont l'enseignement est dispensé dépend fortement des différents objectifs, des écoles, du

public attendu, du sujet ou de l'institution. Il n'existe pas de manière homogène d'enseigner ou d'apprendre actuellement appliquée par les établissements d'enseignement. En général, la cartographie des différents contextes et outils d'apprentissage a montré qu'un mélange de deux méthodes de formation différentes (théorique et pratique) aura le plus grand effet d'apprentissage pour le public. Il serait intéressant de développer une ligne directrice sur le contexte d'apprentissage à adopter avec un outil de formation correspondant en relation avec le public cible.

En termes de contextes d'apprentissage, il a été démontré que des méthodes d'enseignement variées ainsi que des sujets différents sont couverts en FA. Une conclusion est claire, il y a un manque d'activités de développement durable et de compétences vertes sur toute la chaîne de processus, du matériau à la pièce, des aspects écologiques, de la consommation de matières premières, etc.

La digitalisation de la formation est un aspect qui a été assez bien couvert. Cela est probablement dû à la conjonction de l'impression 3D et de l'industrie 4.0, car les deux sujets fonctionnent très bien ensemble et l'industrie 4.0 peut être illustrée à l'aide de l'impression 3D. En effet, la nature numérique inhérente de la première partie du processus de FA se prête très bien à cette approche - des défis se posent avec le côté "pratique".

En termes d'outils de formation, une variété d'outils, y compris numériques, sont disponibles. Bien sûr, il y a toujours place à l'amélioration. En termes de recommandation de la bonne méthode pour le bon public, cela dépend fortement du public pour lequel le processus ou le contexte sera enseigné. En général, en FA, il existe un grand potentiel pour combiner les ressources pédagogiques théoriques et pratiques, car de petites machines d'enseignement sont déjà facilement disponibles sur le marché. Par exemple, l'apprentissage en ligne (qui connaît déjà une croissance significative après le COVID-19) est un moyen efficace d'atteindre un large public avec de nombreux sujets différents. Cependant, il s'agit d'un outil d'apprentissage basé sur la théorie et afin d'exploiter pleinement le potentiel de l'apprentissage en FA, l'apprentissage en ligne devrait être accompagné d'un apprentissage pratique basé sur un projet pendant une semaine ou deux dans une usine ou un laboratoire d'enseignement. Explorer un processus de fabrication via la réalité augmentée permet à un étudiant d'accéder à tout de manière moins théorique, mais l'expérience pratique est perdue et il serait recommandé de laisser les apprenants expérimenter l'impression 3D en touchant réellement une machine.

Les défis de la formation pendant le COVID19 et le besoin de formation pratique ont forcé les organisations à adapter, repenser et surmonter les méthodes et pratiques de formation. Pour résoudre ce problème, les formateurs ont commencé à expérimenter l'apprentissage virtuel et à intégrer de nouvelles technologies telles que la réalité augmentée et virtuelle comme outils de formation.

Les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), le micro-apprentissage et les informations d'identification, les activités interactives en ligne comme les sondages en direct et l'IoT ainsi que l'augmentation de la réalité virtuelle sont quelques-unes des méthodes et des outils de formation nouvellement introduits utilisés pendant la période de pandémie et montrent des exemples représentatifs de nouvelles méthodes et outils. Cela se voit également dans la prestation des cours de formation pilotes dans le cadre du projet SAM. Conclusions, recommandations et domaines d'amélioration pour favoriser le développement des compétences techniques, entrepreneuriales, numériques et vertes requises pour les futurs professionnels de la FA sont inclus après une analyse initiale des activités de mise en œuvre du pilotage menées par les partenaires SAM et sur la base du contraste avec l'industrie et groupe d'experts.

7. References

1. **Smartechnalysis**. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. s.l. : <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>, 2019.
2. **Deloitte**. *3D opportunity for the talent gap additive manufacturing and the workforce of the future*. s.l. : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-talent-gap-workforce-development.html>, 2016.
3. **SME**. *Experts in Demand: Growth in Metal AM Creates Need for Professionals*. s.l. : <https://www.smeef.org/globalassets/sme.org/media/white-papers-and-reports/2018-metal-am-report.pdf>, 2018.
4. **Politecnico di Milano**. https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712407&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13. Milan : s.n.
5. **Politecnico di Milano**. https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712938&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06. Milan : s.n.
6. *A view on Future Challenges & Goals*. **Chryssolouris, George & Mavrikios, Dimitris & Papakostas, Nikolaos & Mourtzis, Dimitris**. 2006, Education in Manufacturing Technology & Science.
7. *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm*. **Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L**. doi:10.1016/j.procir.2016.11.009, 2016, Procedia CIRP, Τόμ. 57, σσ. 44-48.
8. *Serious Games – An Overview*. **T. Susi, M. Johannesson and P. Backlund**. 2005, Tech. Rep.
9. *Serious games...and less!* **Blackman, Sue**. DOI:<https://doi.org/10.1145/1057792.1057802>, 2005, SIGGRAPH Comput. Graph., Τόμ. 39, σσ. 12-16.
10. *A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training*. **Renner, Alex, Holub, Joseph, Sridhar, Shubang, Evans, Gabe, and Winer, Eliot**. 2017, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers.
11. **Projects, diva - Good Practice for Dissemination and Valorization of Educational**. *Handbook for Dissemination, Exploitation and Sustainability of Educational Projects*. 2009.
12. <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. 2019.
13. *A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation*. **Go, Jamison, Hart A. John**. 2016, Additive Manufacturing, Τόμ. 10, σσ. 76-87.
14. *Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a National Science Foundation workshop*. **Simpson, Timothy; Williams, Christopher and Hripko, Michael**. 2017, Additive Manufacturing, Τόμ. 13, σσ. 166-178.

8. Glossaire

ANNEXE 1 : GLOSSAIRE DES TERMES CONCERNANT LE CONTEXTE D'APPRENTISSAGE ET LES OUTILS D'APPRENTISSAGE

Contexte d'apprentissage : c'est là que l'apprentissage a lieu ¹.

Contexte : ensemble des circonstances qui permettent à l'apprenant d'acquérir des connaissances lorsqu'il se réfère au contenu ².

Contenu d'apprentissage : les ressources utilisées dans l'enseignement et l'apprentissage pour atteindre les objectifs d'apprentissage souhaités ³.

Apprentissage à distance : les élèves utilisent du matériel didactique (à la fois imprimé et électronique) et reçoivent des instructions de l'enseignant à différents moments. Cela pourrait être en temps réel en utilisant Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom ou/et des alternatives similaires ou une flexibilité chronométrée. Ainsi, on s'attend à ce que les étudiants soient parfois disponibles pour l'enseignement de manière synchrone. Les travaux réalisés par les élèves ont été vérifiés numériquement par l'enseignant ^{4,5,6}. Ils incluent également souvent des ateliers en face à face, des écoles d'été ou des «résidentiels» dans le cadre du programme d'études ⁷.

Apprentissage en ligne : enseignement non en direct. Les élèves ne sont pas censés être disponibles à une heure ou à un jour précis pour l'enseignement en classe de l'enseignant ⁸. Les étudiants ont accès à un environnement d'apprentissage virtuel (VLE) tel que Moodle ou Dokeos. Le VLE agit comme un support de communication et un outil d'apprentissage interactif. Certaines entités offrent un soutien de tutorat aux étudiants qui entreprennent le programme. Ces tuteurs sont joignables par e-mail ou Skype en cas de besoin ^{3,4,5}.

Apprentissage en classe : apprentissage présentiel. L'environnement d'apprentissage est créé dans les murs physiques d'une salle de classe où les élèves et l'enseignant sont physiquement.

- **Cours magistral** : un type de cours présentiel où l'enseignant parle d'un sujet pendant une longue période de temps. Peu d'interaction entre le professeur et les élèves. Méthode à sens unique ⁸.
- **Séminaires** : un type de classe présentielle où les étudiants se relaient pour donner leur avis sur un sujet à la classe. Les étudiants discutent de ce qu'ils ont appris du cours magistral ⁹.
- **Atelier** : un type de classe présentielle similaire aux séminaires où les étudiants parlent et l'enseignant modère la discussion sur un sujet spécifique. L'atelier implique des exercices plus interactifs pour encourager la communication entre les participants et cela peut prendre une journée entière ou plusieurs jours ⁸.

Laboratoire : activités pratiques autour d'un sujet étudié en classe. Les étudiants apprennent par l'expérience et la pratique de première main qu'ils ont appris en classe théorique en travaillant en collaboration ou individuellement.

Stage en entreprise : une expérience de travail à court terme offerte par les entreprises aux étudiants pour obtenir une exposition de niveau débutant à une industrie ou un domaine particulier. L'élève développe des compétences techniques et générales ¹⁰.

Formation en entreprise/formation en cours d'emploi : approche pratique ou stage de formation pour acquérir de nouvelles compétences et aptitudes nécessaires à un emploi délivré par l'entreprise à des travailleurs ciblés ¹¹.

Apprentissage mixte : apprentissage qui combine apprentissage présentiel et en ligne. Le contenu en ligne varie de 30 % à 80 %.

Outil d'apprentissage : un instrument conçu pour être utilisé par les apprenants afin de fournir une structure pour développer des compétences et des comportements d'apprentissage et/ou collecter et réfléchir systématiquement à des informations clés ¹².

Usine d'enseignement : c'est un concept qui intègre l'environnement d'apprentissage et de travail d'où découlent des expériences d'apprentissage réalistes et pertinentes. Il suit un canal de transfert de connaissances bidirectionnel, où les sujets de fabrication sont à la base de nouveaux modèles de synergie entre le milieu universitaire et l'industrie. De nouvelles idées et solutions sont échangées entre le milieu universitaire et l'industrie pour équilibrer le temps et les coûts requis pour apprendre et tester des solutions aux problèmes de fabrication et approfondir les connaissances de l'industrie et du milieu universitaire grâce à l'innovation de production ou à des problèmes réels. Il existe deux schémas opérationnels : « de l'usine à la salle de classe » et « de l'université à l'industrie ». Le concept « de l'usine à la salle de classe » vise à transférer l'environnement de fabrication réel à la salle de classe, tandis que le concept « de l'université à l'industrie » vise à transférer les connaissances de l'université à l'industrie ¹³.

Jeux sérieux : les jeux sérieux combinent des stratégies d'apprentissage, des connaissances et des structures, et des éléments de jeu pour enseigner des compétences, des connaissances et des attitudes spécifiques. Ils sont conçus pour résoudre des problèmes dans plusieurs domaines et impliquent des défis et des récompenses, en utilisant les composants de divertissement et d'engagement fournis lorsque l'utilisateur joue à des jeux ¹⁴. Dans l'éducation, les jeux sont utilisés pour enseigner des sujets spécifiques à travers des exercices et des simulations ludiques. Dans ce cas, on parle aussi de « jeux éducatifs ».

Réalité augmentée : la réalité augmentée (RA) est une technologie qui permet de superposer des éléments virtuels à notre vision de la réalité. Ceci est réalisé grâce à l'utilisation d'éléments visuels numériques, de sons ou d'autres stimuli sensoriels délivrés via la technologie ¹⁵. Cette technologie peut permettre aux enseignants de montrer des exemples virtuels de concepts et d'ajouter des éléments de jeu pour fournir un support matériel pour les manuels. Cela permettra aux élèves d'apprendre plus rapidement et de mémoriser des informations ¹⁶.

Apprentissage par projet : l'apprentissage par projet est une méthode d'enseignement dans laquelle les étudiants acquièrent des connaissances et des compétences en travaillant pendant une période prolongée pour enquêter et répondre à une question, un problème ou un défi authentique, engageant et complexe ¹⁷.

Étude de cas : Une étude de cas est un compte rendu d'une activité, d'un événement ou d'un problème qui contient une situation réelle ou hypothétique et comprend les complexités que vous rencontreriez sur le lieu de travail. Des études de cas sont utilisées pour aider les étudiants à voir comment les complexités de la vie réelle influencent les décisions. L'analyse d'une étude de cas nécessite que les élèves s'exercent à appliquer leurs connaissances et leurs facultés de réflexion à une situation réelle ¹⁸. Pour tirer des enseignements d'une analyse d'étude de cas, les élèves « analyseront, appliqueront leurs connaissances, raisonneront et tireront des conclusions » (Kardos et Smith 1979).

Cours magistral : un type de cours présentiel où l'enseignant parle d'un sujet pendant une longue période de temps. Peu d'interaction entre le professeur et les élèves. Méthode à sens unique ⁸.

Logiciel de simulation : logiciel basé sur le processus de modélisation d'un phénomène réel avec un ensemble de formules mathématiques. Il s'agit essentiellement d'un programme qui permet à l'utilisateur d'observer une opération par simulation sans effectuer cette opération. Les logiciels de simulation sont largement utilisés pour concevoir des équipements afin que le produit final soit aussi proche que possible des spécifications de conception sans modification coûteuse du processus ¹⁹. Ces logiciels génèrent des modèles pour fournir une aide aux décisions des managers et des ingénieurs ainsi qu'à des fins de formation. Les techniques de simulation facilitent la compréhension et l'expérimentation, car les modèles sont à la fois visuels et interactifs ²⁰.

Activités pratiques : Toute activité qui permet aux élèves d'avoir un lien direct, souvent pratique, avec les phénomènes qu'ils étudient ²¹.

Travail de groupe : méthode d'enseignement qui amène les élèves à travailler ensemble en groupes. Cela demande aux élèves de s'engager dans des activités d'apprentissage au sein du même groupe sur une période tout en travaillant sur une tâche substantielle avec un résultat partagé (par exemple, un rapport ou un projet) ²².

Vidéos et animations éducatives : vidéos et animations utilisées comme support visuel pour faciliter l'apprentissage. Ils sont utilisés par les éducateurs pour rendre le contenu attrayant, facile à comprendre et émotionnellement accessible à tous les types d'élèves. Ces ressources permettent d'expliquer des idées complexes de manière simple. Ils gardent les apprenants concentrés sur le contenu et créent une expérience distincte dont les apprenants sont plus susceptibles de se souvenir ^{23, 24}.

1. <https://www.igi-global.com/dictionary/ubiquitous-learning-supporting-systems/16847>
2. Figueiredo, Antonio Dias de. (2005). Learning Contexts: A Blueprint For Research. Interactive Educational Multimedia, ISSN 1576-4990, N^o. 11, 2005, pages. 127-139.
3. <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>
4. <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>
5. Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001
6. <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>
7. <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>
8. <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>
9. <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>
10. <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>
11. <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>
12. "Faculty Guidebook- A comprehensive tool for improving faculty performance". Chapter: 3.4.1 Overview of Effective Learning Tools by Carol Nancarrow (English, Sinclair Community College). 4th Edition Project Directors. Steven W. Beyerlein, Carol Holmes, Daniel K. Apple.
13. G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pages 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.
14. <https://grendelgames.com/what-are-serious-games/>
15. <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>
16. <https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>
17. <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>
18. <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>
19. <https://www.youtube.com/watch?v=EF9v-P0dDg4>
20. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation#WhatDoesitMean>
21. The National Strategies, 2008.
22. <https://www.teaching.unsw.edu.au/group-work>
23. <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>
24. <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>