EXAM 4.0

THE EXCELLENT ADVANCED MANUFACTURING 4.0

FR

The AM Workshop 4.0 Framework

Advanced manufacturing 4.0 LABs

04

EXAM 4.0
THE EXCELLENT ADVANCED MANUFACTURING 4.0

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

This work is licensed by the EXAM 4.0 Partnership under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

EXAM 4.0 partners:

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Da Vinci College, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, 10XL, and EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning.

- Résumé

L'industrie 4.0 impose de nouvelles exigences aux travailleurs, les nouvelles technologies nécessitent des solutions innovantes, donc des travailleurs innovants capables de s'adapter aux ajustements nécessaires et d'apporter de la valeur au secteur industriel. Les nouvelles exigences imposées aux travailleurs génèrent à leur tour de nouvelles exigences en matière d'éducation. Des recherches concernant les méthodes de développement de l'enseignement de l'industrie 4.0 ont été menées par Curt Nicolin Gymnasiet et les partenaires du consortium EXAM 4.0 au sein du Work Package 4 en raison de ces nouvelles exigences. Le programme de travail 4, dans EXAM 4.0, comprend des définitions des exigences qu'un centre d'EFP/FPS doit remplir pour être en mesure de fournir aux étudiants des aptitudes et des compétences habilitantes clés qui sont cruciales dans le secteur de la fabrication avancée. Des modèles de description des institutions et des LAB sont inclus et testés par tous les partenaires du consortium. Les modèles et les descriptions peuvent être utiles lors de la définition de nouveaux LAB, conçus pour une excellente fabrication avancée. Le programme de travail 4 contient également des informations concernant les technologies de fabrication avancée, les aspects importants de l'industrie 4.0 et les processus d'apprentissage, tels que les méthodologies et les contenus d'apprentissage concernant l'éducation et l'industrie 4.0. Ce rapport, rédigé dans le cadre du programme de travail 4.4, comprend des informations sur l'enseignement de l'industrie 4.0 et les responsabilités des personnes impliquées dans le processus. Tous les travaux du programme de travail 4 sont également utilisés pour créer un cadre, décrivant le processus idéal à mettre en œuvre lors de la création de nouveaux LABs 4.0.

- Table des matières

Résumé 3
Table des matières 4
WP4.4 Modèle de tâche 5
Abréviations 6
Introduction 7
Le cadre de l'atelier de FA 4.0 8
4.1 Industrie 4.0 8
4.2 Caractéristiques du cadre de l'atelier AM 4.0 8
4.3 Nombre de technologies 13
4.4 Methodologie pour l'apprentissage de l'I4.0 14
4.5 Comment enseigner l'industrie 4.0 16
4.6 Roles and responsibilités 19
4.7 Definition des nouveaux EXAM 4.0 LABs 19
References 23

- WP4.4 Modèle de tâches

Expected Result	**Number**	D4.4
	Title	Le cadre de l'atelier FA 4.0
	Type	Rapport
	Description	Un document expliquant les concepts (graphiques) et les caractéristiques des divers éléments compris dans le cadre de l'atelier FA 4.0. Organisation du processus d'apprentissage pour en bénéficier. Nombre de technologies impliquées, type d'équipement à disposition, connectivité, l'approche « Challenge based Learning » comme méthodologie idéale pour cette expérience. Rôles et responsabilités des personnes impliquées. Recommandations sur la planification, la programmation, la mise en œuvre et le suivi. Avantages, besoins en formation initiale et expertise, etc.
	Due date	M07
	Language(s)	Englais, Allemad, Suédois, Néérlandais and Espagnol
	Media(s)	Electronique
Dissemination level	Public	

- Abréviation

IA = Intelligence Artificielle

FA = Fabrication avancée

RA = Réalité Augmentée

CAO = conception assistée par ordinateur

FAO = fabrication assistée par ordinateur

CoVE = Centres d'excellence professionnelle

CSP = systèmes cyber-physiques

L = Livrable

CEC = Cadre européen des certifications

EXAM 4.0 = Excellent Advanced Manufacturing 4.0

FPS = Formation professionnelle supérieure

I4.0 = Industrie 4.0

TIC = Technologies de l'information et des communications

IoT = Internet des objets

IIoT = Internet des objets industriel

IT = Technologie de l'information

TGE = Technologies génériques essentielles

M2M = Communication machine à machine

TO = Technologie opérationnelle

IDRF = Identification par radiofréquence

EFP = L'éducation et la formation professionnelle

RV = Réalité virtuelle

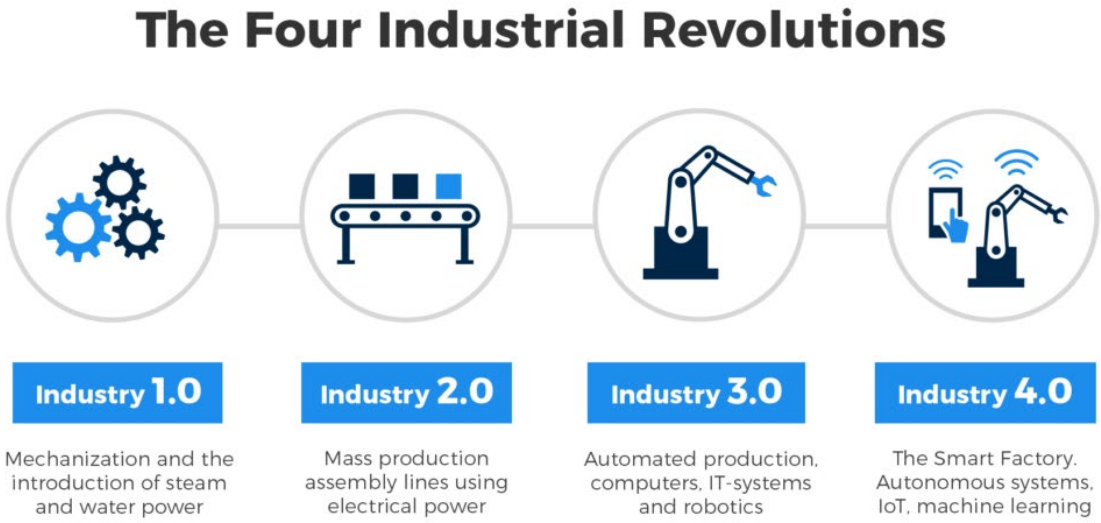
WP = Module de travail

- Introduction

La quatrième section du rapport comprend des graphiques et des caractéristiques des divers éléments du cadre de l'atelier de FA 4.0. Divers graphiques qui donnent des représentations visuelles des aspects importants de l'industrie 4.0 et des technologies impliquées. Différentes approches d'apprentissage telles que l'apprentissage basé sur les défis, qui constitue une méthodologie idéale. Des informations concernant l'enseignement de l'industrie 4.0 et les rôles et responsabilités des personnes impliquées. Cette section comprend également des recommandations sur la planification, la programmation, la mise en œuvre et le suivi des nouveaux LAB de FA.

La cadre de l'atelier de FA 4.0

4.1 Industrie 4.0



Nous sommes actuellement en pleine transformation, la façon de produire change en raison de la digitalisation. Cette transformation porte le nom d'Industrie 4.0, ou son acronyme I4.0, et constitue la quatrième révolution industrielle. La transformation prolonge ce qui a été commencé lors de la troisième révolution industrielle. Les ordinateurs, l'automatisation, la robotique fusionnent avec de nouvelles technologies telles que les systèmes autonomes favorisés par l'apprentissage automatique et les données (Marr 2018). L'interconnectivité, l'automatisation, l'apprentissage automatique et les données en temps réel sont les principaux axes de l'industrie 4.0. L'idée de l'I4.0 est de fusionner la production physique avec les technologies numériques intelligentes pour créer des écosystèmes bien connectés concernant la fabrication et la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Epicor n.d).

4.2 Caractéristiques du cadre de l'atelier de FA 4.0

Définir ou caractériser les ateliers de fabrication avancée pour les centres de formation professionnelle nécessite un cadre de référence technologique qui synthétise les principales caractéristiques que la transformation numérique génère.

Le cadre de référence est basé sur les adaptations réalisées dans les entreprises, la manière dont les entreprises liées à la fabrication avancée intègrent et mettent en œuvre la transformation vers des usines intelligentes.

Il est important de se rappeler que nous parlons d'environnements d'enseignement et d'apprentissage, où la mise en œuvre de la technologie est directement associée aux compétences qui sont enseignées et aux résultats d'apprentissage à atteindre.

En suivant les niveaux et les éléments largement utilisés de la pyramide de l'automatisation illustrée sur figure 16 et en incluant d'autres éléments, nous pouvons visualiser un système d'apprentissage construit selon une architecture similaire.

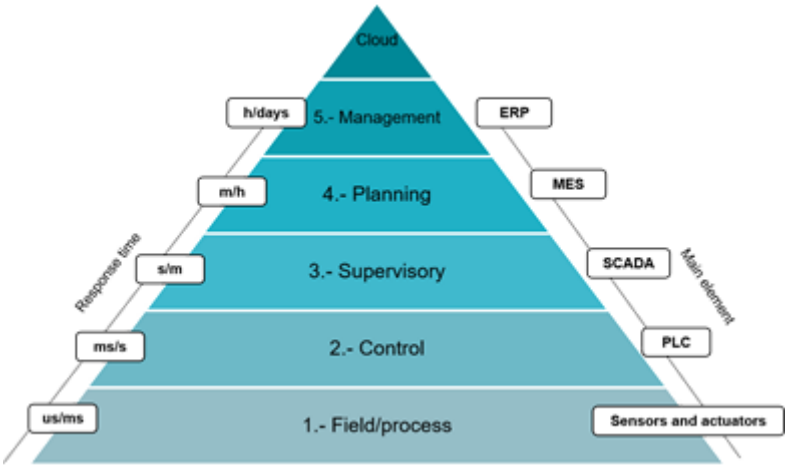


Figure 16 *Pyramide d'automatisation* (EXAM4.0)

Une représentation simplifiée de la structure potentielle d'un LAB pour la formation professionnelle est présentée dans la figure 17. Les LABs proposés devraient être numérisés à un niveau représentatif qui rend possible l'application de nombreuses caractéristiques numériques qui pourraient potentiellement être opérationnelles dans les usines intelligentes. En suivant les couches typiques d'une ligne de production automatisée, les LABs de FA proposés pour l'EFP seraient configurés autour d'un processus de production. Comme cette architecture est conçue à des fins d'apprentissage, la configuration serait ouverte, modulaire et flexible.

Graphiques et caractéristiques des divers éléments de l'industrie 4.0 pertinents pour l'atelier de FA 4.0.

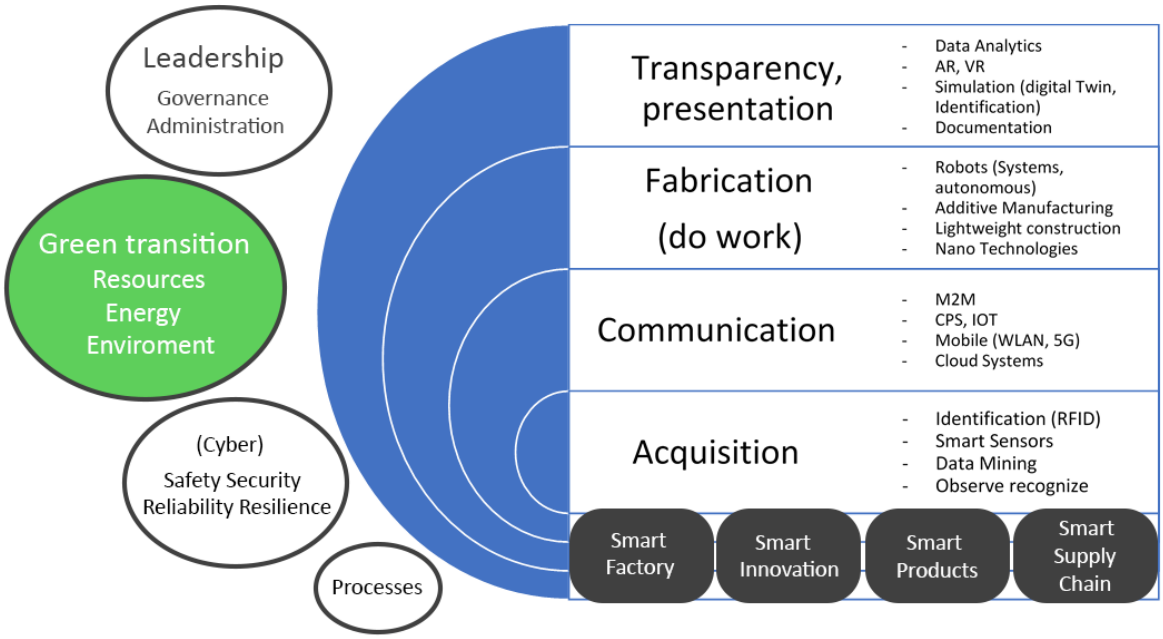


Figure 17 Configuration d'un lab de FA pour AM pour l'EFP (EXAM 4.0)

Le premier niveau de champ est celui de l'acquisition. Le deuxième est la couche de communication, où différents protocoles et systèmes de communication seraient mis en œuvre, non seulement pour relier et contrôler tous les éléments du champ, mais aussi pour communiquer avec différentes machines et équipements. Le troisième est la "couche de fabrication", où la production a lieu. La configuration et la disposition des machines de production, à des fins d'apprentissage, assureraient le flux de production approprié. Des technologies complémentaires seraient mises en œuvre : robots et cobots, fabrication additive, métrologie en ligne, traçabilité, etc. La quatrième couche est la présentation de la transparence en ce qui concerne.

Notez que cette représentation est complémentaire de la pyramide de l'automatisation présentée dans la figure 16. Les LAB de FA pour l'EFP doivent contenir les niveaux de contrôle, les systèmes « scada », les systèmes MES et même les ERP pour relier les données des LAB aux autres zones numérisées des centres d'EFP.

Conduite des modèles d'entreprise

Un autre aspect pertinent à prendre en compte est le modèle économique qui régit les activités dans l'industrie. Dans le WP2, nous avons décrit les principaux moteurs qui fonctionneront dans les différentes industries. Smart Solutions, Smart Innovation, Smart Supply Chains et Smart Factories sont des domaines dans lesquels les fabricants réaliseront d'énormes potentiels en numérisant leurs activités. Alors que les Smart Solutions et les Innovations ont pour principal effet de stimuler la croissance de l'entreprise, les Smart Supply Chains et les Factories sont principalement des facteurs d'efficacité.

En fonction du principal moteur utilisé, tous les modèles opérationnels varieront, y compris les principaux facilitateurs technologiques agissant sur le processus. Il est important de considérer comment cela affectera les modèles d'entreprise sur le modèle opérationnel dans nos LAB de FA pour l'EFP. La figure 19 présente les principaux facilitateurs technologiques agissant en fonction du modèle opérationnel utilisé.

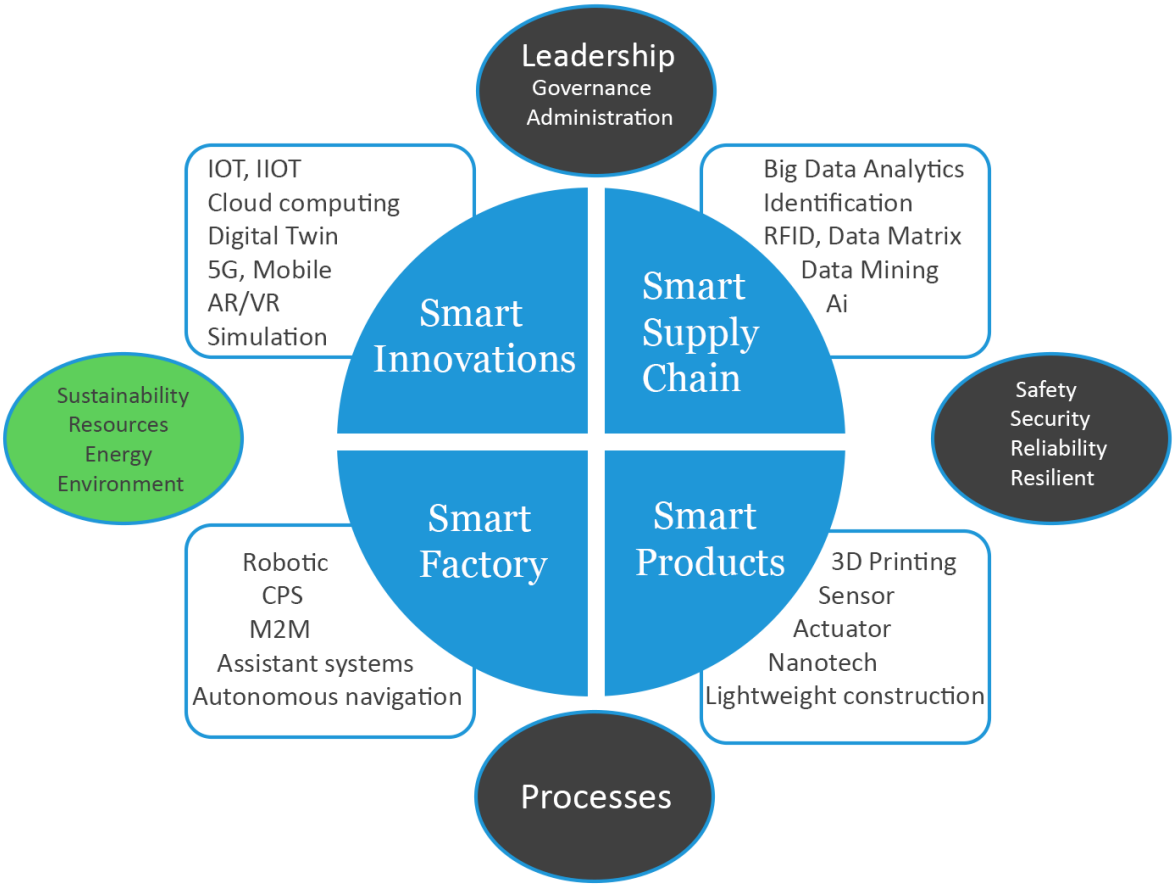


Figure 18 *Principaux catalyseurs technologiques et éléments de l'I4.0 agissant en fonction du modèle d'entreprise moteur* (EXAM 4.0)

Ce modèle donne une image générale des technologies, méthodes et éléments importants pour réussir dans le cadre de I4.0.

Dans les paragraphes suivants, des détails sur les quatre principaux modèles d'entreprise sont donnés :

Smart Factory - Usine intelligente :

"L'usine intelligente est un concept permettant d'exprimer l'objectif final de la numérisation de la fabrication" (Koo 2020).

Le terme d'usine intelligente est le plus souvent utilisé en relation avec des usines hautement numérisées. Ces usines collectent de manière ininterrompue des données de production et partagent les données entre les machines et les appareils connectés. Les appareils utilisent les données pour s'auto-optimiser et l'organisation peut les utiliser pour résoudre les problèmes au sein de l'usine afin d'améliorer la production. De nombreuses technologies sont utilisées dans les usines intelligentes pour les rendre fonctionnelles, par exemple l'IA, l'analyse du Big Data, le Cloud Computing et l'IIoT. (Koo 2020).

Smart supply chains - Chaînes d'approvisionnement intelligentes:

L'industrie 4.0 comprend plus que des usines intelligentes et la mise en œuvre de technologies, la logistique 4.0 et la gestion intelligente de la chaîne d'approvisionnement. La logistique 4.0 et la gestion intelligente de la chaîne d'approvisionnement concernent une variété de caractéristiques concernant la logistique de bout en bout et la gestion de la chaîne d'approvisionnement dans l'industrie 4.0, comme l'IdO, les CPS et l'analyse avancée des données. (i-SCOOP n.d.).

Les usines intelligentes utilisent des technologies telles que les capteurs mis en œuvre dans les équipements qui sont connectés à l'IoT, ainsi que de nombreuses autres technologies avancées comme les systèmes cyber-physiques, l'analyse de données, la robotique et l'IA. Ces technologies jouent un rôle essentiel dans la gestion des chaînes d'approvisionnement intelligentes.

La gestion des chaînes d'approvisionnement intelligentes présente de nombreux avantages, comme la prévision des goulets d'étranglement. La chaîne d'approvisionnement peut s'auto-organiser et s'auto-optimiser grâce aux données en temps réel provenant de capteurs dans l'usine. Les systèmes intelligents utilisés dans la gestion intelligente de la chaîne d'approvisionnement peuvent prédire les futurs goulets d'étranglement et soutenir la mise en œuvre de la production allégée (Throughput 2019).

Smart products - Produits intelligents:

Les concepts de l'industrie 4.0 comme les usines intelligentes et les technologies de fabrication avancées stimulent l'innovation et le développement qui affectent à la fois les processus et les produits, cela permet la création de produits intelligents. (Schmidt et al. 2015, référencé dans Nunes et al. 2017)

Le concept "Smart" n'a pas de réelle définition, mais le terme se réfère généralement à des dispositifs qui coopèrent de manière indépendante avec d'autres dispositifs dans un réseau et avec des systèmes intégrés effectue des actions basées sur des mises à jour en temps réel (Raji 1994, référencé dans Nunes et al. 2017). Le développement de produits et de processus intelligents est au centre de la quatrième révolution industrielle, les développements sont motivés par la transformation des usines conventionnelles en usines intelligentes (Radziwon 2014, référencé dans Nunes et al. 2017). Les usines intelligentes ont la possibilité de contrôler la complexité et d'améliorer l'efficacité de la production. Une usine intelligente est définie par son intercommunication en réseaux avec les ressources humaines, les machines et les équipements tels que les produits intelligents (Kagermann 2013, référencé dans Nunes et al. 2017).

Les produits intelligents sont importants pour la fabrication de l'I4.0, ces produits sont mis en œuvre dans l'ensemble du processus de fabrication et le soutiennent constamment et autocontrôlent des parties particulières de la production de manière autonome. Les produits intelligents sont également informés de leurs paramètres et de leur utilisation future et fournissent donc des informations sur leur état tout au long de leur cycle de vie (Kagermann 2013, cité dans Nunes et al. 2017). L'objectif principal des produits intelligents est leur interaction avec l'environnement par le biais du calcul, du stockage de données et de la communication. Tout au long de leur chaîne de valeur, les produits intelligents peuvent fournir des informations sur leur progression, stocker des informations sur les étapes antérieures du processus et fournir des informations sur les futurs processus de production et de maintenance. Les produits intelligents peuvent également interagir avec des environnements physiques sans intervention humaine (Schmidt et al. 2015, cité dans Nunes et al. 2017).

Smart innovations – Innovation intelligentes:

La numérisation de l'industrie va non seulement transformer les processus de création de valeur, mais aussi donner naissance à de nouveaux modèles commerciaux et à de nouvelles innovations. Les processus de production intelligents et numériques offrent de grandes possibilités aux entreprises - en particulier aux PME. Les nouvelles impulsions proviennent d'une multitude de sources extérieures à la propre organisation, et elles doivent être intégrées de manière proactive dans un processus d'innovation ouvert. Toutefois, dans une industrie 4.0 interconnectée, les idées ont beaucoup plus de valeur si elles sont intégrées dans une périphérie tout aussi innovante de dispositifs ou de solutions connexes. L'innovation étendue englobe la création et la distribution d'idées au-delà des frontières organisationnelles, tandis que l'innovation du cycle de vie connectée exploite les données du cycle de vie des produits comme source d'innovation. L'innovation étendue nécessite l'ouverture des processus d'innovation des entreprises de fabrication aux partenaires et aux clients externes. La communication et la connectivité permettent des activités d'innovation interentreprises. L'innovation étendue est un échange à double sens, les informations circulant à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise. Alors que les stimuli extérieurs sont activement introduits dans l'entreprise, celle-ci fait office de plaque tournante pour les transmettre ensuite au réseau

de partenaires afin de soutenir largement l'innovation et la génération d'idées. La collaboration dans le processus d'innovation avec les clients et les partenaires réduira le délai de mise sur le marché et fera évoluer la vitesse d'innovation vers un flux constant. Enfin, les innovations deviendront plus durables grâce au partage des informations dans l'ensemble de l'écosystème du fabricant. L'innovation dans le cycle de vie connecté se distingue de la gestion "ordinaire" du cycle de vie des produits par son approche globale : les informations relatives aux produits sont associées à d'autres données pertinentes, telles que les paramètres des machines ou les données relatives aux commandes des clients. Elles sont ensuite analysées, traitées et utilisées pour générer de l'innovation, ce qui permet de prendre des décisions en matière de R&D fondées sur les données et d'innover dans les processus commerciaux de l'ensemble de l'entreprise, par exemple dans les processus de vente. Tout comme l'innovation étendue, l'innovation du cycle de vie connecté entraînera une augmentation de la fréquence des innovations. Elle réduira le délai de mise sur le marché, ce qui implique un potentiel de croissance ainsi qu'une amélioration de l'efficacité des opérations, avec une diminution des coûts de recherche et développement.

Modèle commercial de fabrication avancée

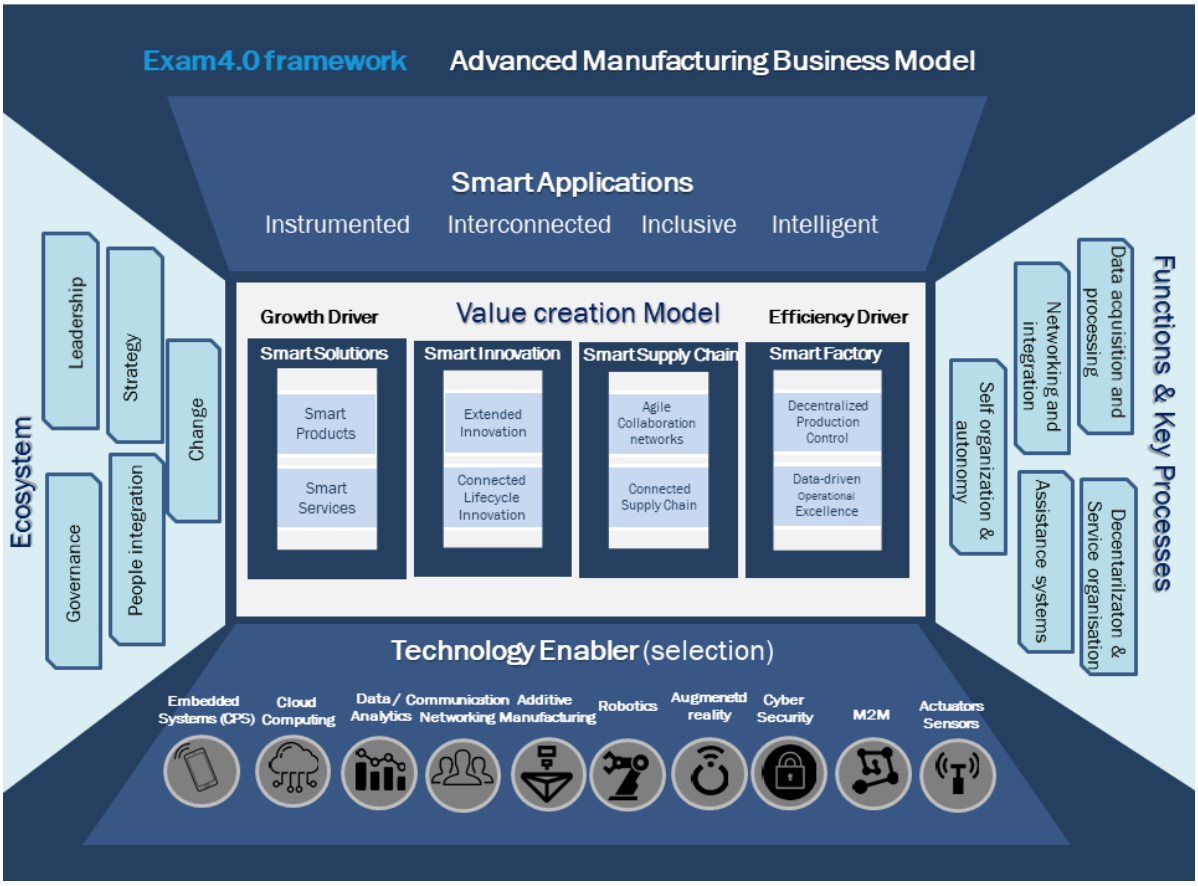


Figure 19 *Modèle commercial de fabrication* (EXAM 4.0)

Les LABs EXAM 4.0 doivent être en accord avec / ou être basés sur le cadre de l'examen 4.0 et le cadre des compétences de l'examen 4.0 écrit dans le rapport de recherche du WP 2.

Le questionnaire semi-structuré réalisé par les partenaires du consortium peut être utilisé non seulement pour décrire les LABs existants mais aussi pour décrire les nouveaux LABs EXAM 4.0.

4.3 Nombre de technologies

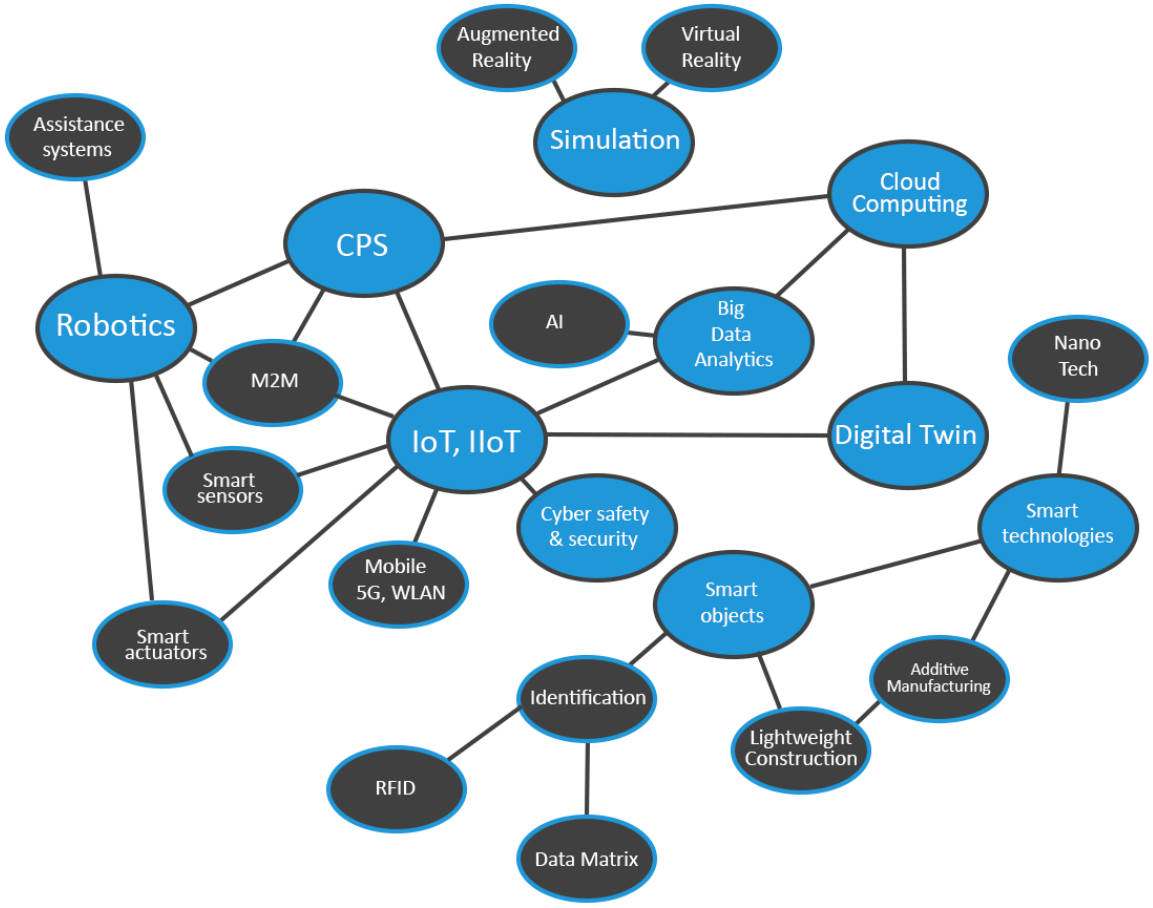


Figure 20 *Graphiques des technologies de fabrication avancées* (EXAM 4.0)

Les technologies clés génériques et l'industrie 4.0, la fabrication avancée et les technologies connexes ont été décrites dans la section 2 du présent document. La figure 20 est une représentation graphique des technologies et de leurs relations réciproques. Le graphique est basé sur la PowerPoint "Framework EXAM 4.0, technology enablers" du WP2. Les ellipses grises et bleues représentent les couches des différentes technologies et la ligne qui les sépare montre la relation entre ces technologies de manière fondamentale.

4.4 Méthodologies pour l'apprentissage d'I4.0

L'une des caractéristiques des Centres d'excellence professionnelle (CoVE) données par la Commission européenne est qu'ils adoptent des approches d'apprentissage centrées sur l'étudiant et des méthodes d'apprentissage actif.

Dans le contexte d'EXAM 4.0, les méthodes d'apprentissage actif sont utilisées dans des environnements d'enseignement et d'apprentissage d'I4.0. Les méthodes d'apprentissage pertinentes et les informations complémentaires les concernant sont décrites en conséquence :

- **L'apprentissage par les problems – Problem based learning**

Le PBL est une méthode éducative utilisée pour apprendre des concepts et des principes. Cette méthode éducative est opposée à la présentation directe de faits et de concepts. Des problèmes complexes du monde réel sont appliqués dans le PBL afin d'encourager l'apprentissage des étudiants. Outre les aptitudes et les

compétences déterminées dans le programme d'enseignement, l'apprentissage participatif par projet peut favoriser l'apprentissage des capacités de résolution de problèmes, de communication et de réflexion critique. La méthode d'apprentissage soutient entre autres l'apprentissage tout au long de la vie et le travail en équipe (Duch, Groh, Allen 2001, cité dans University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

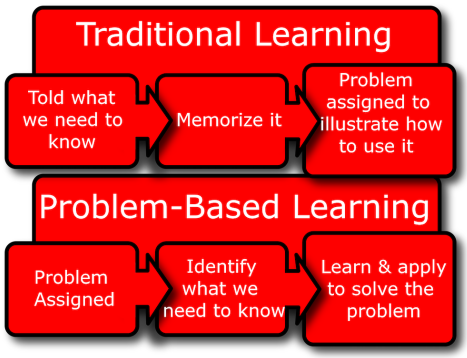


Figure 21 *Problem-Based Learning (PBL)* (Serhat 2020)

- **L'apprentissage par projet**

L'apprentissage par projet est une méthode éducative où les apprenants travaillent sur des projets, la méthode implique des tâches réelles et significatives.

Le projet est réalisé dans une période de temps spécifique, le calendrier peut être très varié. L'apprentissage par projet engage les étudiants à résoudre des problèmes du monde réel et des questions complexes. En travaillant sur des projets significatifs, les élèves indiquent leurs niveaux de compétences et de connaissances.

En utilisant l'apprentissage par projet comme approche pédagogique, les élèves améliorent leurs connaissances du contenu, ainsi que leur pensée critique, leur collaboration, leur créativité et leurs compétences en communication (Buck Institute for Education, s.d.).

Toutes ces compétences sont essentielles pour travailler en I4.0.

- **Apprentissage basé sur les défis – Challenge based learning**

"L'apprentissage basé sur les défis (CBL) fournit un cadre efficient et efficace pour apprendre tout en résolvant des défis du monde réel" (The Challenge Institute 2018). Le CBL est une méthode éducative dont le but est d'enseigner aux étudiants pendant qu'ils résolvent des défis du monde réel. Cette méthode encourage la collaboration dans de nombreux domaines, par exemple pour identifier, étudier et résoudre des défis (The Challenge Institute 2018).

- **L'apprentissage expérimental (également Hands on learning).**

La signification de l'apprentissage expérimental est d'apprendre par l'expérience, comme son nom l'indique (Cherry 2020). La définition de cette méthode d'apprentissage peut, selon le psychologue David Kolb, être expliquée comme "le processus par lequel la connaissance est créée par la transformation de l'expérience. La connaissance résulte de la combinaison de la saisie et de la transformation de l'expérience" (Kolb 1984, référencé dans Cherry 2020).

Dans l'apprentissage expérimental, l'étudiant doit réfléchir à son expérience afin d'obtenir de nouvelles connaissances.

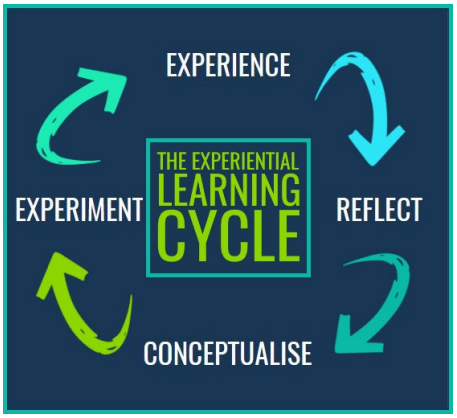


Figure 22 *Le cycle d'apprentissage par l'expérience* (Growth Engineering 2017)

- **L'apprentissage par la découverte**

L'apprentissage par la découverte est une méthode pédagogique d'enseignement basée sur l'enquête.

L'apprentissage par la découverte comporte cinq grands principes. Ce sont 1. la résolution de problèmes 2. la gestion de l'apprenant 3. l'intégration et la connexion 4. l'analyse et l'interprétation des informations 5. l'échec et le retour d'information (Pappas 2014)

- **L'enseignement juste-à-temps - Just- in-time teaching**

L'enseignement juste à temps consiste en un processus d'apprentissage en deux étapes, utilisé afin de dispenser un enseignement au moment et à l'endroit où il est crucial. La première étape de l'enseignement juste à temps consiste pour les élèves à réaliser des activités ou des tâches spécifiques en dehors de l'enseignement. L'éducateur valide ensuite ces activités pour identifier les domaines dans lesquels les élèves doivent s'améliorer. La leçon suivante sera alors adaptée à ces domaines afin de garantir que les élèves obtiennent les connaissances essentielles. (Conseil d'administration de l'université de l'Illinois, et al 2020).

- **L'apprentissage basé sur le jeu.**

L'apprentissage basé sur le jeu est une méthode éducative utilisant des jeux. Cette méthode peut être utilisée à différents niveaux éducatifs, du préscolaire à l'apprentissage tout au long de la vie. L'apprentissage basé sur le jeu est applicable dans divers objectifs éducatifs, tels que la simple mémorisation ou des résultats d'apprentissage plus compliqués. Des jeux numériques ou non numériques peuvent être utilisés pour l'apprentissage par le jeu (Whitton 2012).
Quelle que soit la méthode utilisée, bien que la force des preuves varie selon les méthodes, les méthodes inductives s'avèrent systématiquement au moins égales, et en général plus efficaces, que les méthodes déductives traditionnelles pour atteindre un large éventail de résultats d'apprentissage (Prince et Felder 2006).
En abordant les méthodologies à utiliser dans les LAB de FA, il est pertinent d'envisager une approche systémique plus large, en considérant l'environnement d'apprentissage complet. Il est utile de rappeler la suggestion donnée dans le rapport « Curriculum guidelines for AM » (PwC 2020).
L'environnement d'apprentissage comprend les types d'environnement qui sont créés pendant le programme d'éducation ou de formation.
L'environnement d'apprentissage fait référence à la fois aux qualités de l'espace (physique et virtuel) dans lequel se déroulent les activités d'apprentissage et à d'autres aspects intangibles qui soutiennent et renforcent les dimensions sociales et émotionnelles de l'apprentissage.
L'environnement d'apprentissage peut être organisé d'une multitude de façons différentes, et il doit découler de la stratégie et des objectifs spécifiques/résultats d'apprentissage souhaités.
Parmi les exemples d'objectifs, citons la stimulation de l'orientation multidisciplinaire, la réflexion sur la conception, la créativité, l'esprit d'équipe, la résolution collective de problèmes, la prise de risques, les approches expérimentales, etc. Elle peut nécessiter différentes formes de réalité (c'est-à-dire physique, virtuelle ou mixte (augmentée)). Plusieurs types de méthodologies peuvent être utilisés et combinés pour

atteindre les objectifs fixés, tels que l'apprentissage axé sur les problèmes (ou basé sur les problèmes), l'apprentissage basé sur les projets, l'apprentissage basé sur l'expérience (ou expérientiel), l'apprentissage collaboratif, l'apprentissage assisté par la technologie, etc. Les objectifs et les méthodologies définissent également les moyens les plus appropriés d'organiser un environnement d'apprentissage physique, par exemple, sous la forme d'une usine d'apprentissage/enseignement, d'une usine de conception, d'un laboratoire d'apprentissage, d'un laboratoire vivant, d'un centre d'innovation, d'un espace de fabrication, etc.

4.5 Comment enseigner l'industrie 4.0

Chaque école et programme doit étudier comment l'industrie 4.0 va être utilisée sur le futur lieu de travail pour ses diplômés et certifier que le niveau d'éducation est pertinent pour que les étudiants répondent aux exigences de l'industrie.
Selon Matthew D. Kirchner, les étudiants doivent acquérir des connaissances et de l'expérience dans les six blocs de construction suivants (Kirchner 2017).

Bloc 1 :
L'industrie 4.0 est un outil utilisable par les entreprises pour accroître leur compétitivité.
Pour que les étudiants puissent utiliser cet outil et atteindre les exigences de l'industrie 4.0, ils doivent disposer d'un socle fondamental de connaissances concernant les disciplines qui sous-tendent le succès industriel.
Ces disciplines comprennent :
- Une appréciation de la sécurité sur le lieu de travail et des pratiques de travail sûres.
- Une compréhension de l'équation de base du débit et du besoin industriel fondamental de maximiser l'efficacité et la productivité.
- Une compréhension des sept déchets mortels et de la façon dont ils se manifestent dans l'industrie et les processus liés à l'industrie.
- Familiarisation avec les systèmes de qualité normalisés de l'industrie.
- La capacité de dépanner les processus et équipements industriels.
- Les compétences industrielles générales, notamment la collaboration, la résolution de problèmes, la discipline et la gestion du temps.

Bloc 2 :
Le bloc 2 concerne la connaissance des équipements de production et de fabrication essentiels à l'industrie 4.0. Ces équipements sont par exemple la robotique industrielle, le soudage manuel et robotique, l'extrusion et le formage.

Bloc 3 :
Les capteurs intelligents et les dispositifs intelligents sont la clé de voûte de l'industrie 4.0. Cette technologie collecte d'immenses volumes d'informations concernant son environnement, l'intelligence embarquée est utilisée pour exécuter des fonctions programmées. Cela se fait avant que les informations ne soient partagées entre d'autres systèmes et appareils, via des réseaux informatiques et l'internet.
Paul Perkins, président du Conseil de l'innovation de la main-d'œuvre de l'État de l'Indiana et membre de l'Association nationale des gouverneurs des présidents des conseils de la main-d'œuvre des États, a déclaré que "les connaissances acquises par les étudiants doivent aller au-delà d'une simple compréhension des types de capteurs et de dispositifs intelligents" (Kirchner 2017).

Bloc 4 :
Les travaux de fabrication proprement dits d'usinage, de formage, de moulage et d'extrusion de matériaux en produits sont exploités par des équipements et des technologies industriels. Le processus est surveillé par des capteurs et des dispositifs intelligents qui fournissent un retour d'information. Ces systèmes servent à contrôler l'ensemble du processus de fabrication en temps réel.
Pour que les étudiants soient prêts pour l'industrie 4.0, ils doivent avoir une bonne compréhension de ces systèmes ultérieurs :
- Fonctionnement et programmation d'un contrôleur logique programmable (PLC).
- Fonctionnement et programmation des automates de sécurité

- Interfaces opérateur et homme-machine
- E/S distribuées
- Entraînements électroniques et à fréquence variable
- Contrôle des moteurs et des mouvements
- Électronique de puissance et de contrôle

Bloc 5 :
L'industrie 4.0 se traduit par le fait que les équipements industriels sont de plus en plus connectés à Internet. Les personnes capables de gérer à la fois la technologie opérationnelle (OT) et la technologie de l'information (IT) ont de grandes possibilités pour l'avenir. Les étudiants doivent acquérir une meilleure compréhension des réseaux qui transportent les données des appareils intelligents. Afin de mieux comprendre ces réseaux, les étudiants doivent apprendre plusieurs technologies telles que les serveurs de réseau, les serveurs distribués, les routeurs, les commutateurs, les dispositifs de passerelle. Ethernet, Foundation Fieldbus, Profibus, communication sans fil, technologies de liaison et applications multi-utilisateurs.

Bloc 6 :
Plus de données ont été créées au cours des deux dernières années que pendant les 5 000 dernières années de l'existence humaine. (Harris, 2016). Un défi pour de nombreuses entreprises dans l'industrie 3.0 était l'absence de données. Dans l'industrie 4.0, le défi consiste plutôt à gérer la quantité de données disponibles. Les personnes qui possèdent les connaissances nécessaires pour analyser les données et proposer des mesures basées sur ces données seront nécessaires pour la quatrième révolution industrielle (Kirchner 2017).

Ces six blocs seront mis en œuvre dans les sept dimensions de l'éducation pour créer le processus idéal d'apprentissage. Les sept dimensions de l'apprentissage seront présentées en conséquence :

Figure 23 basé sur le *Live Lecture* (Kirchner 2017)

Le live Lecture, LL, , est la première des sept dimensions de l'éducation. L'enseignement en direct est probablement la méthode d'enseignement la plus courante et fait référence à un éducateur qui enseigne à un groupe de personnes en direct, en personne ou en ligne. Une conférence en classe, par exemple.

Figure 24 basé sur le *eLearning* (Kirchner 2017)

La deuxième dimension est l'eLearning, également appelé apprentissage en ligne ou apprentissage électronique, et se réfère à des systèmes d'apprentissage formatif par le biais de ressources électroniques. L'eLearning est dans la plupart des cas accessible via Internet, il offre donc des matériaux d'apprentissage accessibles presque partout et à tout moment.

Figure 25 basé sur *Instructor Demonstration* (Kirchner 2017)

La troisième dimension est la démonstration de l'instructeur. Ce terme fait référence à la méthode pédagogique dans laquelle un instructeur fait la démonstration d'un certain sujet ou d'une certaine tâche à un groupe d'apprenants, en personne ou en ligne. Le nombre d'apprenants dans cette méthode est "nombreux", donc de deux à un nombre infini d'apprenants.

Figure 26 basé sur *Virtual Skill Development* (Kirchner 2017)

La quatrième dimension est le développement virtuel des compétences, qui fait référence aux éléments d'entraînement physique qui seront exécutés virtuellement, par le biais de logiciels. Il est souvent utilisé par le biais de jeux informatiques ou de visualisation comme la réalité virtuelle. Un exemple de domaine de développement des compétences virtuelles pourrait être celui des monteurs. Ils peuvent apprendre à assembler un produit via la RV avant d'effectuer la tâche dans un lieu de travail réel. Les apprenants peuvent développer une base d'expérience à utiliser sur un lieu de travail réel et réduire les coûts puisque l'apprenant n'a pas besoin de se former avec des produits réels.

Figure 27 basé sur *Instructor Interactive skills* (Kirchner 2017)

La cinquième dimension est celle des compétences interactives de l'instructeur - Instructor Interactive skills (IIS). Les IIS sont réalisées lorsqu'un instructeur instruit les étudiants individuellement. Il s'agit souvent d'un moyen efficace d'apprendre, car l'étudiant spécifique est au centre de l'attention et a la possibilité de progresser sans être distrait par les autres étudiants. L'instructeur peut également adapter le contenu éducatif aux besoins de l'apprenant spécifique, ce qui se traduit souvent par un apprentissage plus efficace.

Figure 28 basé sur *Hands-on skill development* (Kirchner 2017)

développement des compétences pratiques- Hands-on skill development, HO, est la sixième dimension et l'une des plus importantes pour l'apprentissage des méthodes de fabrication avancées. HO est un enseignement pratique, avec cette méthode l'étudiant peut apprendre en travaillant physiquement avec différentes machines ou équipements.

Figure 29 basé sur *Portable Rotational at-Home Skills* (Kirchner 2017)

La dernière dimension est le Portable Rotational at-Home Skills, elle est excellente pour l'apprentissage à distance. Des équipements de formation sont envoyés aux apprenants afin qu'ils effectuent des tâches spécifiques. Après les études, l'équipement est renvoyé à l'organisation apprenante. De nouveaux équipements et de nouvelles tâches sont ensuite envoyés à l'apprenant.

Comment enseigner l'industrie 4.0 en 2020 (LAB Midwest 2020)

4.6 Roles et reponsabilités

Un des rôles concernant l'éducation dans l'industrie 4.0 est celui des éducateurs appropriés. Ces éducateurs ont certaines responsabilités essentielles pour former les futurs travailleurs qui seront les moteurs de l'innovation.

La première et la plus importante de ces responsabilités est de posséder des connaissances spécialisées dans le domaine concerné, en l'occurrence l'industrie 4.0. Les éducateurs doivent également suivre un apprentissage tout au long de la vie afin de se tenir au courant des aspects techniques et pédagogiques.

L'éducateur doit planifier des cours et des conférences appropriés. Il est pertinent d'utiliser les six blocs et les sept dimensions ainsi que diverses méthodologies d'enseignement, telles que le PBL, dans le cadre de l'éducation de l'I4.0.

La coopération est l'une des compétences les plus importantes en matière d'I4.0, il est donc important que l'éducateur soit capable de coopérer avec les autres éducateurs, le personnel et les apprenants. L'éducateur est également tenu d'avoir un bon comportement envers ses collègues et les apprenants. Des comportements tels que l'honnêteté, l'équité, la conduite éthique, une attitude bienveillante et une utilisation correcte du langage, par exemple (QEC n.d.).

Il existe des responsabilités non seulement pour l'éducateur mais aussi pour l'apprenant. Les premières responsabilités pour les apprenants peuvent sembler évidentes, mais elles sont cruciales. Les apprenants doivent toujours s'efforcer de faire de leur mieux, ce qui doit être fait en conséquence :

Il est essentiel d'assister régulièrement au cours à l'heure et de se préparer au cours avec des fournitures et des tâches accomplies. L'apprenant fait ainsi preuve de respect envers l'éducateur et le sujet. Les apprenants doivent compléter tous les devoirs et être attentifs en classe. Ils doivent respecter tous les éducateurs, le personnel et les camarades de classe, et prendre soin de l'école et de son équipement (Burnaby schools 2020).

Les décideurs, tels que les directeurs d'école et les membres du conseil d'administration, ont également des responsabilités.

Les directeurs, les membres du conseil d'administration et les personnes en charge de l'éducation et des programmes doivent évaluer les exigences des entreprises et des futurs lieux de travail pour les diplômés et, ainsi, adapter l'éducation à ses exigences.

4.7 Définition des nouveaux LABs EXAM 4.0

Le cadre EXAM 4.0 pour les LAB de FA 4.0 doit être orienté vers les compétences de l'I4.0 et être adapté pour être mis en œuvre dans les centres d'EFP/FPS.

Les caractéristiques spécifiques de l'ultime futur LAB de FA 4.0 sont difficiles à définir. De nombreux aspects doivent être pris en considération lors de la création d'un cadre pour les futurs LAB et lors de la création effective d'un nouveau LAB. Ces aspects peuvent être par exemple l'espace disponible, le budget de mise en œuvre, le niveau du CEC, le programme éducatif et les apprenants destinés à travailler dans le LAB. En raison de ces facteurs, il est difficile de définir exactement comment un LAB ultime devrait être formé, le cadre pour les futurs LABs de FA 4.0 créé au sein d'EXAM sera donc une base pour les futurs LABs. Le cadre est basé sur la recherche menée au cours du WP4 ainsi que sur les descriptions des LABs existants. Ce rapport et ce cadre peuvent être utilisés comme base pour la création de nouveaux LABs.

Des logiciels et des équipements obsolètes sont fréquemment utilisés dans l'enseignement, ce qui est souvent le résultat d'un faible budget. Les étudiants n'acquièrent pas l'expertise requise pour travailler sur des missions liées à la fabrication avancée dans les entreprises s'ils n'ont eu que peu ou pas de contact avec les technologies liées à l'industrie 4.0. La FESTO affirme que les écoles ne peuvent pas suivre le rythme de développement des entreprises et que les diplômés n'auront donc pas l'expertise nécessaire lorsqu'ils

postuleront pour un emploi. Il est donc nécessaire que les écoles coopèrent avec les entreprises ou les organisations I4.0. (FESTO, s.d.). La première section du cadre pour les futurs LABs de FA 4.0 concerne le financement. Dans les tableaux de description des LABs existants, on constate que tous les partenaires d'EXAM 4.0 ont diverses méthodes de financement pour leurs institutions, et donc leurs LABs, telles que des fonds internes, des fonds publics et des fonds d'entreprise. Il est bon d'avoir des financements différents, par exemple des événements uniques ou des projets avec des durées différentes.

Comme mentionné précédemment, l'industrie 4.0 se traduit par une connexion accrue des équipements industriels à Internet. Les personnes capables de gérer à la fois la technologie opérationnelle (OT) et la technologie de l'information (IT) sont des atouts importants pour l'avenir. Les étudiants doivent acquérir une meilleure compréhension des réseaux qui transportent les données des appareils intelligents. Il est donc vital qu'un LAB comprenne un haut degré d'intégration des TI, comme la CAO, la FAO et le PLM. Il est également important que le LAB comprenne des dispositifs intelligents tels que les capteurs, les actionneurs, le M2M et le CSP. Afin que les apprenants soient prêts à travailler dans le secteur de la fabrication avancée, ils doivent être familiarisés avec toutes les technologies pertinentes et avoir une expertise dans plusieurs d'entre elles. Le LAB devrait donc, sur la base des exigences des programmes éducatifs du LAB, inclure des technologies telles que la robotique, les imprimantes 3D, la RV/AR et les machines CNC.

La stratégie d'apprentissage, la méthode éducative et le contenu de l'éducation dispensée dans les LAB sont tous des aspects importants concernant les résultats d'apprentissage des étudiants. Les informations concernant les méthodes d'apprentissage et les compétences qui sont vitales pour un LAB Industrie 4.0 sont incluses dans le rapport D4.3 / partie du WP4.

Il y a également de nombreux aspects d'un nouveau LAB qui doivent être pris en considération et validés avant que le LAB ne soit créé. Ces aspects peuvent être :

- le nombre d'apprenants destinés à travailler dans le LAB
- Le cycle de vie du LAB
- Les industries ciblées
- L'objectif principal et secondaire du LAB
- Cycle de vie de la technologie
- Méthodes de fabrication

Aucune définition distincte de ce que sont les réponses ultimes à ces aspects n'a été définie. Il est cependant vital pour chaque organisation de valider ces aspects et de prendre des mesures basées sur la recherche afin d'obtenir le meilleur résultat possible pour le LAB en question.

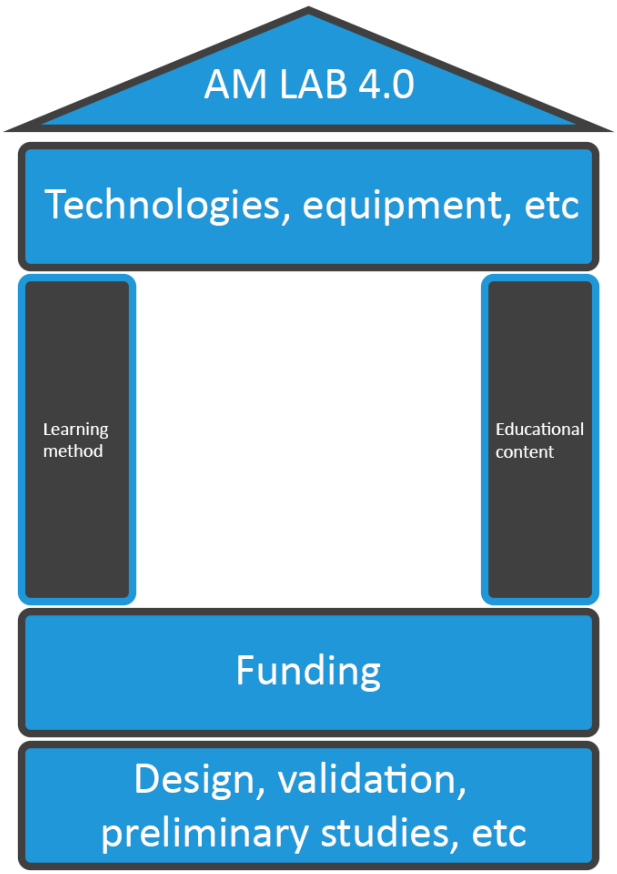


Figure 30 *Prototype de modèle de FA LAB 4.0* (EXAM 4.0)

Il est essentiel de considérer les aspects susmentionnés, par exemple le cycle de vie du LAB, les industries ciblées, etc. dans les études préliminaires afin de passer à l'étape suivante. Il est inévitable de connaître la base du LAB pour pouvoir examiner les méthodes de financement.

Dans l'étape suivante, le financement, il est important de valider tous les aspects du financement. Par exemple, les fonds pour la création du LAB, les fonds pour l'entretien du LAB et comment le LAB pourrait être utilisé pour générer plus de revenus même si l'usage principal du LAB est l'éducation. Le modèle EXAM 4.0 de centre d'EFP/FPS pour les LAB peut être utilisé lors de la conception du nouveau LAB et de la validation du financement. Au lieu d'utiliser le modèle comme une description d'un LAB existant, il pourrait être utilisé et répondu comme une référence pour le LAB ultime.

La troisième étape est la plus essentielle lors de la création d'un nouveau LAB. Quels programmes éducatifs fonctionneront dans le LAB et quels sont les niveaux du CEC. Il est important de connaître le contenu éducatif qui sera inclus dans les programmes et les méthodes d'apprentissage qui seront utilisées.

Les programmes éducatifs dans les LAB ont un impact sur les technologies et les équipements qui sont pertinents pour le LAB en question. Les informations concernant les technologies de l'industrie 4.0 qui sont pertinentes pour les LAB sont incluses précédemment dans le WP4.

Future LAB EXAM 4.0

Les descriptions des LAB existants, donc des LAB des partenaires du consortium, ont été évaluées et le modèle EXAM 4.0 de centre de formation professionnelle et d'enseignement supérieur pour les LAB FA est utilisé afin de décrire le LAB final en conséquence :

1.1	operateur	institution académique			institution non-académique					Opérateur à but lucratif		
		université	college	BA	Lycée professionnel/ lycée	chambre	union	Associatio n d' employés	Réseau industriel	consulting	Entreprise productice	
1.2	formateur	Professeur	chercheur	Étudiant assistant		Expert technique			consultan t	éducateur		
1.3	developme nt	development propre			development assisté externe				development externe			
1.4	Financeme nt initial	Fonds internes			Fonds publics				Fonds d'entreprise			
1.5	Financeme nt permanent	Fonds internes			Fonds publics				Fonds d'entreprise			
1.6	Continuité du financeme nt	Financement à court terme (ex :évènements uniques)			financement à moyen terme (projets et programmes < 3 ans)				financement à long terme (projets et programmes > 3 ans)			
1.7	Modèle économiqu e pour les formations	Modèle ouverts			modèles fermés (programme de formation uniquement pour une seule entreprise)							
		Modèle club	Frais de cours									

2.1	Objectif principal	education			Formation professionelle				recherche					
2.2	Objectif secondair e	environnement d'essai / environnement pilote			production industrielle			Transfert d'innovation			publicité pour la production			
2.3	groupes cibles pour l'éducatio n et la formatio n	étudiants			employés									
		él èv es	lic en ce	m as te r	do ct or at	ap pr en tis	Tr av aill eu rs qu ali fié s	Tr av aill eu rs se mi - qu ali fié s	Tr av aill eu rs no n- qu ali fié s	Managers/gestionnaires			entrepre neurs	freelan cer	chôme urs	Ouvert au public
										Gestio n inférie ue	Gestio n interm édiaire	Gestion de haut niveau				
2.4	constellat ion de groupes	homogène			heterogène (niveau de connaissances, hiérarchie, étudiants + employés, etc.)									
2.5	industries ciblées	génie mécanique et des installations			automobile		logistique		transports		FMCG		aerospatial	
		Industrie chimique			electroniqu e		construction		assurance / banque		Industrie textile		...	

2.6	**contenus d'apprentissage liés au sujet**	prod. Mgmt & org.	Efficacité des ressources	Gestion allégée	automatisation	CPPS	Conception du système de travail	HMI	conception	Conception et gestion de l'intralogistique	…	
2.7	**rôle du LAB pour la recherche**	Object de recherche					catalyseur de la recherche					
2.8	**Themes de recherche**	production management & organization	Efficacité des ressources	Gestion allégée	automatisation	CPPS	variabilité	HMI	didactique	…		

3.1	**cycle de vie des produits**	planification du produit	development du produit	Conception du produit	prototypage rapide	Fabrication	assemblage	logistique	service	recyclage
3.2	**cycle de vie du LAB**	planification de l'investissement	Concept d'usine	Planification du processus	montée en puissance				maintenance	recyclage
3.3	**cycle de vie des commandes**	configuration et commande	séquencement des commandes	planification et ordonnancement de la production					Preparation des commandes, emballage	expédition
3.4	**cycle de vie de la technologie**	planification	développement	Essais virtuels					maintenance	modernisation
3.5	**fonctions indirectes**	SCM	ventes	achat		RH	finances / contrôle de gestion		QM	
3.6	**flux de matières**	production continue				production discrète				
3.7	**type de processus**	production de masse		production en série		production en petite série			production ponctuelle	
3.8	**organisation de la fabrication**	fabrication sur site fixe		fabrication à l'établi		fabrication en atelier			production en flux	
3.9	**degré d'automatisation**	manuel		partiellement automatisé / automatisation hybdride				entièrement automatisé		
3.10	**fabrication Méthodes**	découp	trad. primaire mise en forme		Fabrication additive	formation	assemblage	revêtement	modification des propriétés des matériaux	
3.11	**manufact. Technologie**	physique			chimique			biologique		

4.1	**environnement d'apprentissage**	purement physique (planification + exécution)	physique soutenu par une usine numérique (seeline "IT-Integration")	physique, étendu virtuellement	purement virtuel (planification + exécution)
4.2	**échelle de l'environnement**	échelle réduite		Grandeur nature	
4.3	**niveaux du système de travail**	lieu de travail	Système de travail	usine	réseau
4.4	**facteurs de changement**	mobilité	modularité	compatibilité	évolutivité	universalité

4.5	**changeability dimensions**	agencement et logistique	caractéristiques du produit	Conception du produit	technologie	Quantité des produits
4.6	**Intégration des technologies de l'information**	IT avant SOP (CAD, CAM, simulation)		IT après SOP (PPS, ERP, MES)	IT après la production (CRM, PLM…)	

5.1	**materialité**	matériel (produit physique)					Immatériel (service)
5.2	**forme du produit**	Marchandise générale			produits en vrac		produits e flux
5.3	**origine du produit**	development propre		development par les participants			Development externe
5.4	**qualité marchande du produit**	Disponible sur le marché		disponible sur le marché mais simplifié de manière didactique			Non disponible sur le marché
5.5	**Fonctionnalité du produit**	produits fonctionnel		produit adapté didactiquement avec une fonctionnalité limitée			sans fonction / application, pour démonstration uniquement
5.6	**nombre des différents produits**	1 produit	2 produits	3-4 produits	> 4 produits	flexible, développé par les participants	acceptation de commandes réelles
5.7	**nombre des variants**	1 variant	2-4 variants	4-20 variants	…	flexible, dependent des participants	Determine par les varies commandes
5.8	**Nombre de of composants**	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp.		21-50 comp.	51-100 comp.	> 100 comp.
5.9	**Utilisation ultérieure du produit**	re-utilisé / re-cyclé		exposition/présentation		give-away	vente	éliminaton

6.1	**classes de compétences**	compétences techniques et méthodologiques	compétences sociales et de communication	Compétences personelles	compétences orientées vers l'activité et la mise en œuvre
6.2	**Appentissage des dimensions cibles**	cognitive	affective	psychomotricité	
6.3	**stratégie de scénario d'apprentissage**	instruction	demonstration	scenario fermé	Scenario ouvert
6.4	**Type d' environment d'apprentissage**	greenfield (développement de l'environnement de l'usine)		brownfield (amélioration de l'environnement de l'usine existante)	

6.5	**canal de communication**	apprentissage sur place (dans l'environnement de l'usine)			connexion à distance (vers l'environnement de l'usine)	
6.6	**degré d'autonomie**	instruit		autoguidé / autorégulé	autodéterminé / auto-organisé	
6.7	**role du formateur**	presentateur	moderateur	coach	instructeur	
6.8	**type de formation**	tutorat	Cours pratique en lab	seminaire	atelier	Travail de projet
6.9	**Standardisation des formations**	formations standardisées			formations personnalisées	
6.10	**Base théorique**	prerequis	en avance (en bloc)	alternance avec des parties pratiques	en fonction de la demande	Par la suite
6.11	**Niveau d'évaluation**	Retour des participants	apprentissage des participants	transfert vers l'usine réelle	impact économique des formations	retour sur les formations / ROI
6.12	**évaluation du succès de l'apprentissage**	test de conaissances (written)	test des connaissances (oral)	Rapport écrit	presentation orale	examen pratique	aucun

Normes, critères, pour les modèles de LAB EXAM 4.0

Description standard pour les LABS de l'industrie 4.0

Une norme, un certificat, indiquant que certains critères sont remplis, serait bénéfique pour les LAB. Les critères pour les LAB éducatifs pourraient garantir que les bonnes aptitudes et compétences sont formées et apprises. De cette façon, nous pourrions avoir une éducation, une éducation LAB de l'industrie 4.0, dans toute l'Europe, formant et éduquant les mêmes aptitudes et compétences, même si elles n'ont pas été formées dans le même LAB. Si les certificats des LABs de l'industrie 4.0 étaient utilisés, nous pourrions garantir qu'un étudiant en Suède a appris les mêmes aptitudes et compétences et a eu le même contenu éducatif standard qu'un étudiant en Allemagne, par exemple. Un certificat standard pour l'éducation aiderait les entreprises à voir quelles aptitudes et compétences un étudiant a acquises, quel que soit l'endroit en Europe où il a obtenu son diplôme. La définition de nouveaux critères pertinents pour l'industrie 4.0 permettrait d'améliorer la qualité de l'enseignement dans toute l'Europe, ce qui augmenterait la compétitivité européenne dans le secteur industriel national.

Un exemple montrant comment ces critères pourraient être appliqués :

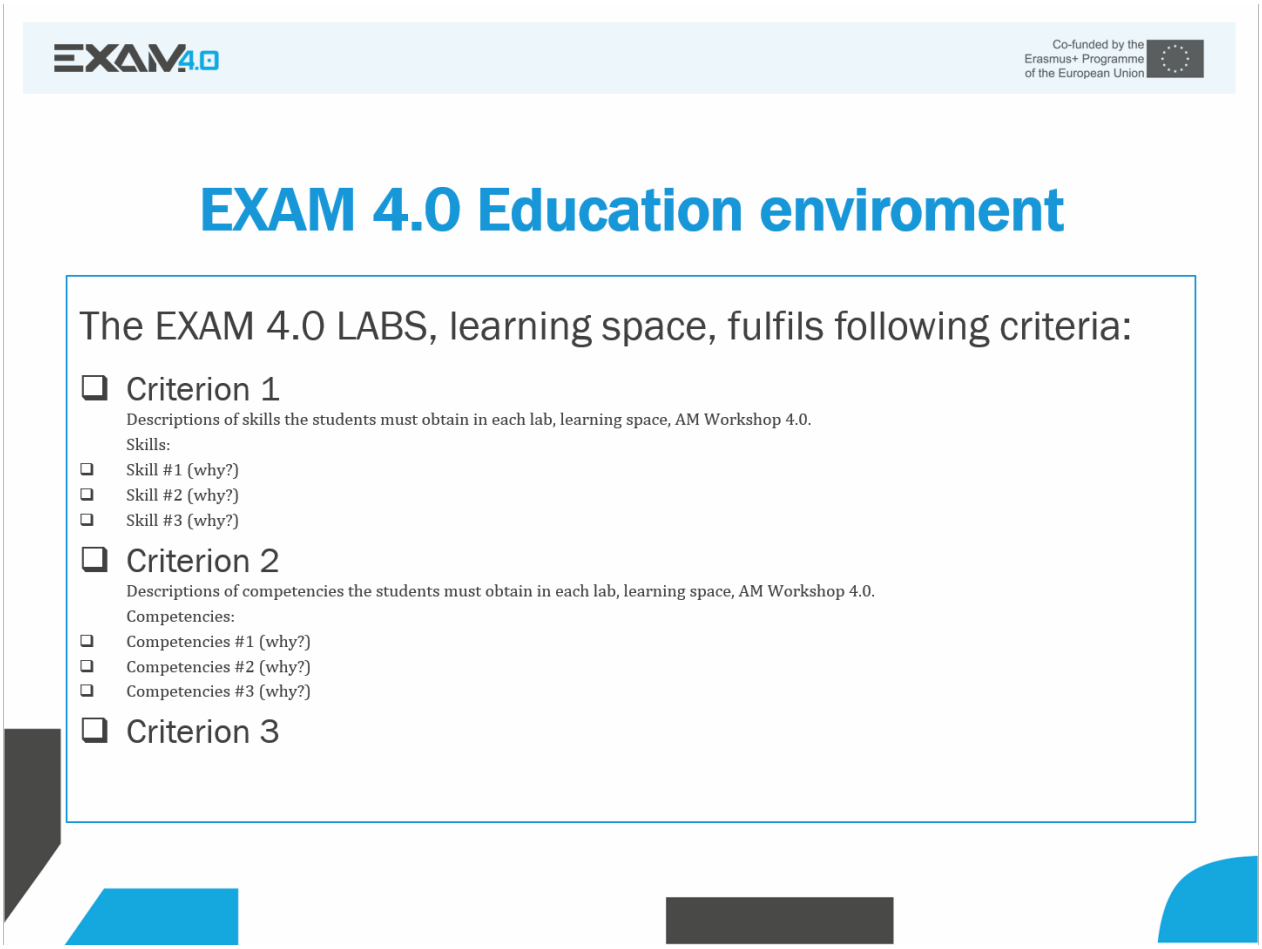


Figure 31 *Critètes pour les LABs* (EXAM 4.0)

- References

Abele, Eberhard; Chryssolouris, George; ElMaraghy, Hoda; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian; Sihn, Wilfried and Tısch, Michael. (2015a). Learning Factories for Research, Education, and Training. *5th Conference on Learning Factories*. Elsevier B.V, pp. 1-6. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187 (gathered 2020-09-10).

Abele, Eberhard; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian and Tısch, Michael. (2015b). *Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain*. The Turkish Online Journal of Educational Technology. https://www.researchgate.net/publication/281344323_Learning_Factory_Morphology_-_Study_Of_Form_And_Structure_Of_An_Innovative_Learning_Approach_In_The_Manufacturing_Domain (gathered 2020-09-07).

Abele, Eberhard; Metternich, Joachim; and Tisch, Michael. (2019). *Learning Factories Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4 (gathered 2020-08-28).

Alves, A.C; Pereira, A.C and Lopes Nunes, M. (2017). *Smart products development approaches for Industry 4.0*. *https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035* (gathered 2020-10-17).

AM FIELD GUIDE COMPACT. (2020). *Formnext magazine fon extra.* (gathered 2020-10-05).

Aventis Learning Group. (2019). *Skills You Must Have To Stay Relevant In Industry 4.0*. https://aventislearning.com/skills-you-must-have-to-stay-relevant-in-industry-4-0/ (gathered 2020-09-14).

Barro, R. J. (1996). Determinants of economic growth: *A cross-country empirical study. NBER working paper series: Vol. 5698.* Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

Bilberg, A; Bogers, M; Madsen, E.S and Radziwon, A. (2014). Procedia Eng., 69 1184–1190 (gathered 2020-10-17).

Buchner, Tilman; Knizek, Claudio; Kuhlmann, Kristian; Küpper, Daniel; Lorenz, Markus; Lässig, Ralph and Maue, Andreas. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future.* BCG Innovation Center, Germany. https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future (gathered 2020-10-17).

Buck Institute for Education. (n.d). *What is PBL?*. https://www.pblworks.org/what-is-pbl (gathered 2020-09-28).

Burnaby schools. (2020). *RESPONSIBILITIES OF STUDENT. https://burnabyschools.ca/responsibilities-of-students/.* (gathered 2020-10-15).

CECIMO. (2013) The European machine tool industry's Manifesto on skills.

CEDEFOP. (2010). *Skills supply and demand in Europe: Medium-term forecast up to 2020.* Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Cherry, Kendra. (2020). *The Experiential Learning Theory of David Kolb*. https://www.verywellmind.com/experiential-learning-2795154 (gathered 2020-09-29).

Duch, B. J., Groh, S. E and Allen, D. E. (Eds.). (2001). The power of problem-based learning. Sterling

Epicor. n.d. *What is Industry 4.0—the Industrial Internet of Things (IIoT)?* https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/. (gathered 2020-10-15).

Eurostat. (2016). Manufacturing statistics - NACE Rev. 2: Relative importance of manufacturing (NACE Section C), 2013 (% share of value added and employment in the non-financial business economy total). Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Man ufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2.

FESTO (n.d). *Industry 4.0 User's Guide: Educator Edition*. https://www.festo-didactic.com/us-en/news/industry-4.0-user-s-guide-educator-edition.htm?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjE2LjU4MjA (gathered 2020-09-08).

Fitsilis, Panos; Gerogiannis, Vassilis and Tsoutsa, Paraskevi. (2018). INDUSTRY 4.0: REQUIRED PERSONNEL COMPETENCES. *INDUSTRY 4.0*. Vol. 3, Issue 3. Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering, pp. 130-133. https://stumejournals.com/journals/i4/2018/3/130 (gathered 2020-08-26).

Gewerbliche Schule Crailsheim. (n.d). *WAS IST EINE LERNFABRIK 4.0*. https://www.gscr.de/index.php?id=203 (gathered 2020-09-09).

Growth Engineering. (2017). *WHAT IS THE EXPERIENTIAL LEARNING CYCLE?* https://www.growthengineering.co.uk/what-is-experiential-learning/ (gathered 2020-09-29).

Grzybowska, Katarzyna, and Łupicka, Anna. (2017). Key competencies for Industry 4.0. *Economics & Management Innovations* 1(1): pp. 250-253. https://www.researchgate.net/publication/322981337_Key_competencies_for_Industry_40 (gathered 2020-08-27).

Gylfason, Thorvaldur. (2001). Natural resources, education, and economic development. *European Economic Review*: EER, 45, 847–859.

Hanushek, E. A., and Woessmann, L. (2007). *The role of education quality in economic growth. Policy research working paper: Vol. 4122.* Washington, DC: World Bank Human Development Network Education Team.

Helbig, J; Kagermann, H and Wahlster, W. (2013). Securing the Future of German Manufacturing Industry: *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, München, 2013 (gathered 2020-10-17).

Heron, Chris. (2019). *What is a Transversal Competency?* Vivagogy. http://vivagogy.com/2019/03/04/transversal-competencies-2/ (gathered 2020-10-17).

Härting, R.-C; Jozinović, P; Möhring, M; Neumaier, P; Reichstein, C and Schmidt, R. (2015). International Conference on Business Information Systems. 16–27. (gathered 2020-10-17).

Impuls Foundation (2019) “Impuls compact: Engineers for Industrie 4.0”, VDMA (The Mechanical Engineering Industry Association).

i-SCOOP. (n.d). *Logistics 4.0 and smart supply chain management in Industry 4.0*. https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/supply-chain-management-scm-logistics/ (gathered 2020-10-15).

Karukapadath Haffees, Rasim and Parekattil, Aswin Kumar. (2019). *A literature review on learning factory*. Diss, Chalmers University of Technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/256553 (gathered 2020-09-09).

Kienegger, Harald; Knigge, Marlene; Krcmar, Helmut and Prifti, Loina. (2017). *A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees: 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*. St. Gallen, Switzerland February12-15,2017. https://www.researchgate.net/publication/314391765_A_Competency_Model_for_Industrie_40_Employees (gathered 2020-09-14).

Knezic, Kruno. (2017). *Creativity is the key to design for additive manufacturing.* LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-kruno-knezic/ (gathered 2020-09-02).

Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey: Prentice-Hall.

Koo, Jenna. (2020). *What is a Smart Factory? (And what it means for you)*. Tulip. https://tulip.co/blog/digital-transformation/what-is-a-smart-factory-and-what-it-means-for-you/ (gathered 2020-10-08).

Kirchner, Matthew D. (2017). *Teaching the Industrial Internet of Things*. Mequon. https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2017/09/Teaching-IIoT-Preparing-Students-and-Learners-for-Industry-4.0-2.pdf (gathered 2020-10-15).

Kreimeier, Dieter. (2016). *Die LPS Lernfabrik Qualifizierung in einem realitätsnahen Fabrikumfeld*. Ruhr-Universität Bochum. [PowerPoint slides]. https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115_lps_lernfabrik_praesentation_kreimeier.pdf (gathered 2020-09-10).

K3 Syspro. (n.d). *What's the Difference Between 3D Printing and Additive Manufacturing*? https://www.k3syspro.com/advice-centre/erp-advice/whats-the-difference-between-3d-printing-and-additive-manufacturing/. (gathered 2020-10-1).

LAB Midwest. (2020). *How to Teach Industry 4.0 in 2020. https://www.youtube.com/watch?v=OhbDfAZ6JUc* (gathered 2020-10-16).

Lead The Change Community. (2019). *KEY COMPETENCIES FOR INDUSTRY 4.0 — NEGOTIATION AND CREATIVITY*. Medium. https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f (gathered 2020-09-14).

Lee, Hee Jang and Shvetsova A. Olga. (2019). *The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes.*https://www.researchgate.net/publication/332386448_The_Impact_of_VR_Application_on_Student's_Competency_Development_A_Comparative_Study_of_Regular_and_VR_Engineering_Classes_with_Similar_Competency_Scopes. (gathered 2020-09-02).

Leinweber S. Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert MT, editor. Strategische Personalentwicklung - Ein Programmem in acht Etappen. 3rd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2013

Linke, Rebecca. (2017). *Additive manufacturing, explained.* MIT management. https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained. (gathered 2020-10-1).

Loughborough University. (n.d). *About Additive Manufacturing.* https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/ (gathered 2020-10-02).

Marr, Bernard. (2018). *What is Industry 4.0?* Forbes. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=4acd83579788. (gathered 2020-10-15).

McNeill, Jane. (2019). *SKILLS VS. COMPETENCIES – WHAT'S THE DIFFERENCE, AND WHY SHOULD YOU CARE*. Hays. https://social.hays.com/2019/10/04/skills-competencies-whats-the-difference/ (gathered 2020-10-09).

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. (2019). *Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg*. https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schluesseltechnologien/industrie-40/lernfabrik-40/ (gathered 2020-09-10).

O'Sullivan, D., Rolstadås, A., and Filos, E. (2011). Global education in manufacturing strategy. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(5), 663–674. https://doi.org/10.1007/s10845-009-03 26-2.

OTTO Motors. (2019). *What Is the Smart Factory and Its Impact on Manufacturing?.* https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing. (gathered 2020-10-15).

Pappas, Christopher. (2014). *Instructional Design Models and Theories: The Discovery Learning Model*. https://elearningindustry.com/discovery-learning-model (gathered 2020-09-29)

Prince J. Michael and Felder M Richard. (2006). *Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases.* Journal of Engineering Education. American Society for Engineering Education. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x (gathered 2020-10-17).

PwC. (2016). *Skills for Key Enabling Technologies in Europe State-of-Play, Supply and Demand, Strategy, Recommendations and Sectoral Pilot*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission). https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0_en (gathered 2020-08-26).

PwC. (2020). *Skills for Industry Curriculum Guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe*. Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (European Commission). https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1 (gathered 2020-09-05).

QEC. (n.d). *Duties and Responsibilities of a Teacher.* https://ntu.edu.pk/qec/duties-and-responsibilities-of-a-teacher/ (gathered 2020-10-15).

Raji, R.S. (1994). IEEE Spectr. 31 (6) 49–55 (gathered 2020-10-17).

Rotherham A.J. and Willingham D. (2009) “21st Century Skills: The Challenges Ahead”.

Serhat, Kurt. (2020). Problem-Based Learning (PBL). Educational technology. https://educationaltechnology.net/problem-based-learning-pbl/ (gathered 2020-09-25).

Smith, A. (2001). *Return on investment in training: Research readings.* Leabrook, S. Aust.: NCVER

Spectral Engines. (2018). *Industry 4.0 and how smart sensors make the difference.* https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference (gathered 2020-10-01).

Tether, B., Mina, A., Consoli, D., and Gagliardi, D. (2005). *A literature review on skills and innovation: How does successful innovation impact on the demand for skills and how do skills drive innovation? A CRIC report for the department of trade and industry.* Manchester, England: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition.

Thames, L., and Schaefer, D. (2016). *Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. Procedia CIRP, 52, 12–17.* https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041.

The Challenge Institute. (2018). *Challenge based learning*. https://www.challengebasedlearning.org/ (gathered 2020-09-28).

Throughput. (2019). *Smart Supply Chain Management: Why it is Important to Implement?* https://throughput.world/blog/smart-supply-chain-management/ (gathered 2020-10-17).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *JUST-IN-TIME TEACHING.* https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/just-in-time-teaching (gathered 2020-09-25).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *PROBLEM-BASED LEARNING (PBL).* https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/problem-based-learning-(pbl) (gathered 2020-09-25).

Vieweg, H.-G. (2011). *Study on the competitiveness of the EU mechanical engineering industry.* Munich: Ifo Institute

Vulkov, Volen. N.d. 3d Printing Skills: *Example Usage on Resumes, Skill Ser & Top Keywords in 2020.* Enhacv. https://enhancv.com/resume-skills/3d-printing/. (gathered 2020-09-02).

Whitton, Nicola. (2012). *Games-Based Learning*. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6_437 (gathered 2020-09-29).

Wirtschaft digital Baden-Württemberg. (2020). *Lernfabriken*. https://www.wirtschaft-digital-bw.de/zielgruppen/produzierendes-gewerbe/lernfabriken-industrie-40/ (gathered 2020-09-10).

Zamboni, Jon. (2018). *What Are Examples of Technical Competencies?* Leaf Group Media. https://careertrend.com/how-5867853-write-competency-based-resume.html (gathered 2020-10-17).

Zhong, R. Y; Xu, X; Klotz, E; and Newman, S. T. (2017*). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. Engineering, 3(5), 616–630*. https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015

EXAM 4.0

THE EXCELLENT ADVANCED MANUFACTURING 4.0