



HAL
open science

Conception de situations instrumentées : étude de cas d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing

Alexandra Badets, Bernard Blandin, Vincent Havard, David Baudry

► To cite this version:

Alexandra Badets, Bernard Blandin, Vincent Havard, David Baudry. Conception de situations instrumentées : étude de cas d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing. NEO-SAI - Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées, CESI, Mar 2021, En ligne, France. hal-04110553

HAL Id: hal-04110553

<https://hal.science/hal-04110553>

Submitted on 30 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception de situations instrumentées : étude de cas d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing

Alexandra Badets, LINEACT CESI ; Bernard Blandin, LINEACT CESI ; Vincent Havard,
LINEACT CESI ; David Baudry, LINEACT CESI.

Mots clés : Situation instrumentée – Transposition didactique – Transposition numérique – Jumeau Numérique – Conception d'EVAH

Résumé : Comment les concepteurs de situations d'apprentissage instrumentées, aux problématiques pédagogiques régies par les objectifs d'apprentissage, et les chercheurs et développeurs en informatique, aux problématiques scientifiques et techniques, peuvent-ils coconstruire les étapes menant de la situation de travail à sa transposition informatique ? Cette communication relate une expérimentation autour d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing, d'une première étape où l'étude et le développement d'une preuve de concept d'un jumeau numérique d'un atelier de production pour des usages en recherche et formation a guidé la conception d'un unique environnement virtuel, à une seconde étape, en cours, où la coconstruction a mené à des transpositions dans différents environnements maillés entre eux.

1 Introduction : contexte et objectifs du projet

Dans le cadre des travaux du LINEACT CESI sur les environnements instrumentés et leurs impacts sur les apprentissages (Blandin & Guibert, 2019), une expérimentation a consisté à transposer dans un environnement virtuel pour l'apprentissage humain (EVAH) une situation didactique proposée à des apprenants de CESI (établissement d'enseignement supérieur et de formation professionnelle) dans le cadre de leur formation en Performance Industrielle (Badets et al, 2020). L'articulation entre concepteurs pédagogiques et développement informatique de l'EVAH a alors consisté en une demande émanant des premiers, de développer un environnement virtuel à la fois « le plus réaliste possible » et configurable. Dans la situation de formation d'origine, les apprenants sont amenés à découvrir, via l'immersion dans un atelier didactique de six postes manuels de montage de vélos pour enfants, les

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

principaux concepts du Lean Manufacturing (LM ou Lean), en situation d'opérateurs sur un atelier volontairement mal configuré. Le LM étant un mode d'organisation de la production visant à produire davantage de valeur ajoutée en gaspillant moins de ressources (Flauder, 2015), les apprenants, au travers du montage successif de trois vélos, doivent repérer les problèmes posés par la chaîne de montage, en termes de LM. L'EVAH conçu a été basé sur une preuve de concept du jumeau numérique de l'atelier de production sur postes manuels (Havard et al, 2019), jumeau qui visait à évaluer le modèle de conception et ses usages métiers (études d'implantation, d'ergonomie ; simulations de procédures d'assemblage). La fidélité fonctionnelle dans l'EVAH avait été privilégiée à la fidélité physique (pas de gravité des objets, ajustements automatiques des pièces entre elles sans temps de vissage par exemple, voir Badets et al. 2020 sur les choix de conception). L'EVAH a été inclus dans le module de formation, sur la première heure de la session d'immersion dans l'atelier de production, comme première étape de découverte du processus de montage, et proposée à une partie des apprenants seulement.

Le protocole de recherche adossé à cette mise en situation, mené après une coconstruction des outils de recueil de données entre équipe de recherche et concepteurs pédagogiques (Badets et al. 2020), a en effet consisté à diviser en deux groupes les apprenants, et comparer les problèmes de LM qu'ils étaient parvenus à détecter, et les solutions proposées, ainsi que leur vécu des situations (utilisabilité, satisfaction, sentiment de compétence), sur les postes manuels et dans l'EVAH. Dans cette première expérimentation, l'objectif d'apprentissage assigné à l'EVAH était double : découvrir le protocole d'assemblage et l'atelier, et pouvoir pointer les problèmes à résoudre. Le protocole de recherche a montré que :

- La fidélité des aspects sensorimoteurs n'a pas été essentielle pour découvrir le protocole d'assemblage (le phasage des actions, la configuration des postes de travail et l'ordre d'assemblage des pièces dans l'EVAH reproduisant la situation « physique »),
- La simplification des situations de référence (gravité, vissage...) dans l'EVAH a cependant eu un impact sur la perception par les apprenants des certains concepts, les manipulations des objets n'ayant posé problème que dans l'environnement « physique ».

En réponse à ces résultats et ce diagnostic (voir Badets et al., 2020, pour le détail des résultats et analyses), et en raison du déploiement prévu de la situation à plus grande échelle dans des centres de formation ne possédant pas d'atelier didactique, la 2nde phase expérimentale a été lancée. En cours de conception, elle a consisté à articuler plus finement ingénierie pédagogique et développement informatique, et à produire des transpositions plus en phase avec les objectifs d'apprentissage en termes de LM.

La présente communication relate les étapes et interactions de l'ingénierie du scénario pédagogique et des transpositions didactiques et informatiques, entre phase 1 et phase 2 de l'expérimentation, et se propose d'illustrer les problématiques suivantes :

- Comment concevoir des situations d'apprentissage instrumentées qui permettent, dans des environnements dotés de différents moyens et instruments (plateforme

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

physique, jumeau numérique avec ou sans EVAH), les mêmes apprentissages aux apprenants ?

- Quelles articulations entre concepteurs pédagogiques, développeurs de solutions technologiques, et chercheurs en pédagogie pour optimiser la conception de ces situations ?

2 Revue de littérature

2.1 Conception et usages de situations instrumentées : artefacts et schèmes au service des enjeux didactiques

S'appuyant entre autres sur les travaux de Rabardel, Peraya, ou Mangenot, et des travaux sur les théories de l'activité, les travaux de recherche sur les pédagogies et situations d'apprentissage instrumentées, ou médiatisées par les instruments, analysent les usages d'artefacts en situation de formation et leurs schèmes d'utilisation. Pour Rabardel, (1995) tout objet technique « dans son cadre instrumental » est « une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact », car artefact et schèmes « constituent l'instrument qui peut être inséré par le sujet dans son action » (p4). Cette intrication entre utilisateur, outil utilisé et usage, souligne l'importance du design informatique, et notamment des « caractéristiques des interfaces incitant l'utilisateur à faire appel à telle ou telle fonctionnalité » (Mangenot, 2008, p3). En effet, comme nous le rappelle Mangenot, la relation entre l'utilisateur et l'instrument « est à double sens : d'une part seules certaines caractéristiques sont perçues ("affordances perçues" versus "affordances cachées"), d'autre part l'utilisateur peut parfois entreprendre des actions non mises en avant par le concepteur » (2008, p3). A titre d'exemple, notons la possibilité de suspendre les objets dans le vide, qui fut une fonctionnalité de l'EVAH créé, très utilisée pour faciliter le montage, mais éloignant ainsi de la réelle difficulté de manipulation physique sur le poste. Dans le cas d'une « formation aux gestes où l'aspect sensorimoteur est primordial » (Fuchs, p 294), cette affordance serait problématique. Dans le cas d'une découverte de poste de montage, où l'objectif d'apprentissage (OA) est de comprendre l'enchaînement des tâches à réaliser, cette affordance n'est plus problématique. L'OA doit être au cœur de la conception de la situation instrumentée, et ressources à disposition et activités d'apprentissage ne doivent pas être confondues (Peraya, 2002). De cette interaction entre les différents acteurs de l'apprentissage, leurs activités, les environnements et ressources de la situation, (Pernin & Lejeune, 2004), émerge la nécessité d'un travail conjoint entre concepteurs pédagogiques et développeurs des environnements technologiques, afin que les fonctionnalités des artefacts et leurs schèmes d'utilisation soient au service des enjeux didactiques de la situation.

2.2 Contribuer à l'alignement des enjeux pédagogiques et des contraintes techniques dans les situations d'apprentissage

2.2.1 Conception d'une situation d'apprentissage professionnel simulée

En contexte de formation professionnelle, comme dans notre cas, l'objectif des situations d'apprentissage est de permettre aux apprenants de développer des compétences. Pour cela, le travail d'ingénierie des situations doit mener à transformer les situations professionnelles de travail, en situations didactiques, qui peuvent prendre la forme de simulations, comme

c'est le cas dans notre étude. Or, pour transformer un savoir « savant » en savoir « enseigné », il est nécessaire, (Rogalski, 2006, p3), de s'interroger sur « l'organisation du savoir », et sur la « temporalité de présentation du savoir ». Le schéma ci-dessous (figure 2) synthétise les étapes qui jalonnent le passage de savoirs de référence à une situation de formation qui permet leur appropriation, notamment au travers d'instruments.

Rogalski, J. (2006).

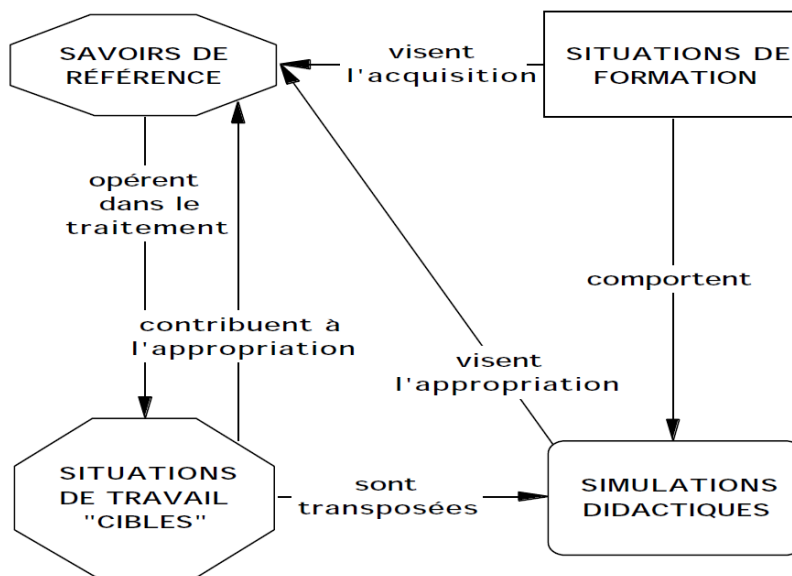


Figure 1 – Des situations de travail cibles aux simulations didactiques (Rogalski, 2006, p6)

Dans la conception de la situation instrumentée, concepteurs pédagogiques et développeurs des environnements technologiques doivent avoir réalisé une cartographie commune, et s'être accordés sur « les objets qui sont l'enjeu d'acquisition de savoirs », « les composantes de la compétence qui sont visées », et « la complexité de la situation de simulation », mais également « la médiation didactique » proposée (Rogalski, 2006, p7). Plusieurs difficultés peuvent être anticipées dans cette cartographie commune, qui furent en effet éprouvées en phase 1 de l'expérimentation :

- Les contraintes techniques posées par le développement d'environnements informatiques vont-elles nuire à la pertinence des situations proposées ? (Dans le cas de notre expérimentation, la non représentation de la gravité des objets) ;
- Les concepteurs pédagogiques sont-ils en mesure de décrire précisément et exhaustivement quels sont « les objets qui sont l'enjeu d'acquisition de savoirs » et « les composantes de la compétence qui sont visées » ?

Dans le cas du module LM concerné, les objectifs d'apprentissage identifiés en phase 1 étaient doubles, ce qui a posé problème et entravé l'atteinte d'une partie des objectifs dans la première version de la situation développée :

- La maîtrise de la procédure d'assemblage y était un savoir de référence comme objet d'instruction de la situation (Rogalski, 2006), avec sa composante « de médiation épistémique » (Rabardel, 2005, p254) ;

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

- Remédier aux problèmes posés par les sources de non qualité et non-valeur ajoutée était un objectif de pouvoir d'action dans la situation, aux « composantes de médiation pragmatiques », orientées vers l'action (Rabardel, 2005, p254).

Le maillage et l'articulation entre les différents objectifs doit être interrogé lors de la conception de la situation instrumentée : un même instrument pourra-t-il adresser les deux objectifs ? La situation doit-elle permettre à l'apprenant de disposer de différents artefacts, dont les caractéristiques techniques ou les fonctionnalités permettront chacun d'adresser une partie des objectifs ? Nous illustrerons ces interrogations au travers des changements opérés entre la première et la seconde version de la situation conçue.

Samurçay et Rogalski (1998) évoquent le quiproquo récurrent entre "réalisme" et "efficacité" d'une situation de simulation : il ne s'agit pas de dupliquer un environnement instrumenté qui sera le plus réaliste possible, mais bien le plus efficace possible, au regard de l'objectif à atteindre, qui est « la transformation des compétences des sujets ».

2.2.2 Transpositions didactiques et informatiques des situations de référence

Les deux éléments clés pour concevoir une situation instrumentée aux composantes de médiation pragmatiques, sont donc :

- La transposition didactique des savoirs de référence en situations de formation,
- La transposition informatique des situations de formation, impliquant un choix dans le degré et la qualité de la fidélité (fonctionnelle ou physique) de l'environnement.

Le schéma ci-dessous (figure 2), représente le cheminement nécessaire pour passer de l'activité en situation de travail, à une situation didactique aux objectifs définis et aux transpositions adaptées à l'atteinte de ces objectifs, à une situation d'apprentissage instrumentée dont les artefacts, leur choix, les interfaces et métaphores dont ils disposent, et le maillage entre eux permettent d'atteindre plus efficacement les objectifs de la situation didactique conçue.

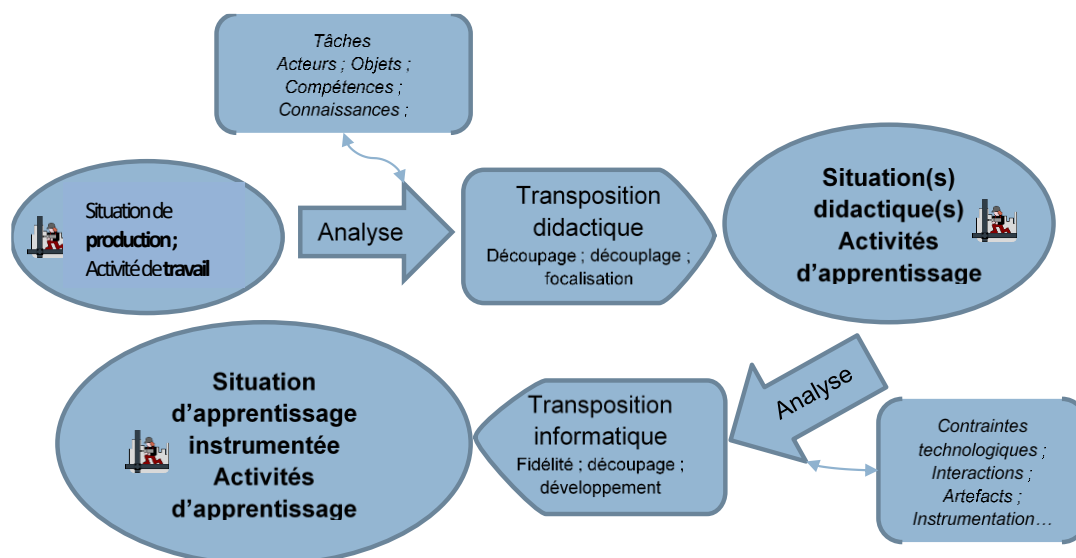


Figure 2 – Transpositions didactiques et informatiques des situations de production : des situations d'apprentissage instrumentées au service des apprentissages

La question du gain attendu de l'instrumentation (au regard d'une situation non instrumentée) mérite d'être posée : s'agit-il d'un gain en termes de temps d'apprentissage, de moyens déployés, d'accès à un public plus large ? Dans le cas de l'expérimentation mise en place, les gains attendus sont au moins trois :

- Éviter les coûts de déploiement d'une plateforme physique grâce à la situation instrumentée,
- Permettre un apprentissage équivalent (atteinte des objectifs d'apprentissage) quels que soient les instruments,
- Capitaliser sur les atouts didactiques des outils numériques pour optimiser certains apprentissages.

Comme l'identifie Balacheff (1994, p364), concevoir un environnement instrumenté ne consiste pas uniquement à dupliquer le réel, et requière une « transposition informatique », qui est une « transformation nouvelle » qui ajoute des contraintes supplémentaires de « modélisation computable », des « contraintes logicielles et matérielles des supports informatiques de réalisation ».

3 Transpositions didactiques et informatiques pour la conception de situations d'apprentissage instrumentées appliquées à un module de LM

3.1 De la situation de référence aux situations didactiques

La seconde étape de l'expérimentation, issue du diagnostic effectué en phase 1, a alors consisté à :

- S'appuyer d'avantage, lors de la conception de situations, sur la psychologie des apprentissages, afin de mieux découper les objectifs à atteindre,
- Repenser la transposition didactique du scénario pour différencier les situations permettant d'atteindre les objectifs distincts,
- Repenser les transpositions informatiques en capitalisant sur la pertinence de chaque artefact pour atteindre l'OA assigné aux nouvelles situations didactiques, et pas uniquement en tentant de limiter la déperdition suscitée par les contraintes techniques.

L'analyse préalable à cette nouvelle mouture du module a mené concepteurs pédagogiques, développeurs et chercheurs à revenir à la véritable situation de référence, situation de production, afin d'y repérer les différentes connaissances et compétences en œuvre qui devront être visées dans la ou les situations didactiques (voir en annexe de ce document, en Figure 6 : Analyse de la situation de travail avant transposition didactique, une proposition de schématisation de la situation de référence et du processus de reconception de la situation didactique).

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

Une fois l'analyse de la situation de travail de référence réalisée, l'étape suivante a été de mettre en œuvre les transpositions didactiques s'imposant afin que les situations proposées permettent aux apprenants d'atteindre chacune des connaissances et compétences listées, avec les deux enjeux ci-dessous :

- Que les situations proposées permettent de mettre en œuvre les principaux concepts et outils du « Lean »,
- Qu'elles permettent de prendre connaissance, si possible par la mise en situation, d'un exemple de processus d'assemblage, puis d'organiser ce processus en fonction des principes du « Lean ».

3.2 Refonte de la transposition didactique

Dans cette étape de découpage et focalisations, les concepteurs pédagogiques ont dû composer avec les contraintes suivantes :

- Les conclusions de l'étape 1, qui soulignent l'importance de situations distinctes pour les deux OA séparés, et plaide pour une réorientation de l'usage de l'EVAH dans la session,
- Un déploiement prévisionnel du module dans des centres de formation non pourvus de postes manuel, et limités à deux casques de RV par centre,
- Un public mixé pour cette seconde implémentation du module, avec des apprenants en « qualité – sécurité – environnement » mélangés aux apprenants initiaux en « organisation et performance industrielle », permettant de mutualiser un module commun, et mettre les apprenants dans une situation de coopération entre services aux contraintes différentes, fidèle à la réalité en entreprise.

La transposition didactique a donc consisté en une hybridation des situations didactiques, et une conception par briques de compétences, représentées en annexe dans le Tableau 1 : Transposition didactique - hybridation et approche par compétences :

- L'absence des postes didactiques dans la majorité des centres, et la nécessité d'une mise en situation physique souhaitée par les concepteurs a été résolue en ajoutant une situation instrumentée différemment au module : la conception physique et la réalisation du processus d'industrialisation d'un panier pour le vélo, sur deux jours en amont, et qui permettra aux apprenants de se focaliser sur les compétences d'industrialisation de produit.
- Le repérage des non valeurs ajoutées, et les problématiques liées à la cartographie des flux et à l'ergonomie des postes de travail, seront traités par la mise en situation soit sur les postes physiques de la chaîne didactique, soit sur un environnement 3D PC basé sur le jumeau numérique (JN).
- Enfin, la phase d'amélioration des flux et de design et ergonomie des postes interviendra en mettant à disposition des apprenants une variété d'environnements possibles pour la réaliser, dont l'EVAH conçu basé sur le même JN.

En somme, cette transposition a consisté en :

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

- Un **découplage** des objectifs d'apprentissage à visée épistémique et à visée pragmatique,
- Un **découpage** des situations séparant l'acquisition du processus d'industrialisation de la cartographie des flux,
- Une **focalisation** sur l'industrialisation d'un panier.

La transposition fait ainsi intervenir **quatre environnements sur le scénario** : les environnements instrumentés physiquement (paniers et postes manuels réels), l'environnement 3D PC et l'EVAH.

3.3 Refonte de la transposition informatique : de la fidélité ou de la pertinence des instrumentations intégrées dans les situations pédagogiques

La place de l'EVAH dans l'ensemble de situations instrumentées qu'il était possible de proposer aux apprenants a ainsi été revue. Pour Fuchs (2018, p280), « la phase proprement dite de conception [d'un bien ou d'un processus] est (...) rarement réalisée in situ dans un environnement virtuel interactif ». En effet, « il sera toujours plus aisé d'exploiter les logiciels standards de la conception assistée par ordinateur (CAO) », car « tout concepteur préfère travailler assis en immersion extéroceptive, (...) devant un écran d'ordinateur, plutôt que debout en immersion proprioceptive ». Fuchs apporte une précision et évoque que la réalité virtuelle est « plus intéressante et efficace pour l'aide et l'évaluation à la conception qu'aux tâches intrinsèques de conception ». A la différence de la CAO, la RV permet de tester des caractéristiques « techniques et fonctionnelles dépendant d'un comportement humain », et pas seulement des caractéristiques régies par des « lois physiques ». Dans le cas de notre expérimentation, les notions d'ergonomie sont par exemple concernées, et susceptibles d'être testées dans l'environnement virtuel, plutôt qu'en CAO (Havard et al, 2019). Il a donc été décidé de modifier le rôle de la RV dans cette session, et de lui adjoindre d'autres outils, numériques ou non, et de réserver l'usage de l'EVAH au test de l'amélioration de l'ergonomie et du design des postes, en capitalisant sur son « configurateur ».

Pour résoudre la question des chronométrages de temps de montage dans l'EVAH, il a aussi été décidé de concevoir une échelle de conversion des temps (avec comparaison et calculs d'équivalence en phase de test), permettant de pouvoir évaluer les gains de temps réalisés en fin de session.

Pour la conception de l'environnement numérique de découverte de la chaîne didactique, un choix a été opéré par les concepteurs pédagogiques entre plusieurs instruments possibles :

- Une visite virtuelle de la chaîne au travers de l'assemblage de photos panoramique 360. Cette option a été écartée : les apprenants passant la quasi-totalité de la 1^{ère} journée de découverte des postes dans l'environnement, cette option a été jugée trop peu attractive, le rendu visuel étant trop figé et pas assez réaliste pour les concepteurs.
- Un environnement 3D de type jeu vidéo à la 1^{ère} personne, plus réaliste et plus attractif, et sans les inconvénients évoqués de la RV pour la découverte des notions du Lean se référant au matériel et à la matière. Le choix s'est porté sur l'adjonction à la maquette numérique utilisée dans l'EVAH et intégrée dans Unity, de vidéos des actions

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

réalisées par les opérateurs sur la chaîne « réelle », sur chaque poste (permettant une visualisation des difficultés de manipulation, des problématiques de poids et des variables temporelles des temps de vissage). Cette réplique de l'environnement physique a pu ainsi être réalisée, donnant la possibilité de se mouvoir entre les postes, avec un rendu des distances entre postes, de l'agencement de la ligne (goulots entre les postes) et permettant de chronométrer les temps de montage.

Un point d'échanges entre chercheurs et concepteurs du module a eu trait aux vidéos introduites dans le logiciel du jumeau numérique. Nous avons en effet soulevé la question de l'intérêt, dans ces vidéos, de proposer, en plus de vidéos en temps réel permettant le calcul des temps de production, de vidéos focalisant sur les principaux foyers d'amélioration. Le choix final a été fait de laisser les vidéos sans montage, sans arrêt, et sans discrimination de moments clés, afin de reproduire la situation vécue sur le montage réel. La pertinence de ce choix sera évaluée en phase d'analyse.

Parmi les autres ressources à disposition des apprenants, des outils de CAO peuvent leur permettre de travailler sur les fiches de postes. Le contexte du nouveau scénario d'apprentissage, permettant aux apprenants de réaliser leurs modifications directement sur l'atelier de production didactique, ou en utilisant des outils de CAO, ou avec l'outil RV, laisse les apprenants, en fonction de leurs appétences, approfondir comme ils le souhaitent le sujet, ce qui est bien le but, entre autres, des pédagogies actives, et de la mise à disposition de ressources, que les apprenants peuvent choisir d'exploiter ou non.

4 Protocole de recherche

4.1 Une approche « spiralée », de type « design-based research »

La présente communication participe du processus global mis en œuvre tout au long de la première phase d'expérimentation et de la conception de la phase 2. Ce processus est une réflexion sur l'action, et ce que Barbier nomme « approche spiralée », qui prend en compte les multiples points de vue des acteurs du projet, sous différents angles, et à différents moments du processus, dans une optique de « multiréférentialité » (Barbier, 1983). Est-ce pour autant une « recherche-action » ? La limite de cette expérimentation, pour correspondre au périmètre de la recherche-action, est qu'aucun objectif commun n'a été contractualisé entre les différentes parties. Nous avons décrit les allers-retours et échanges réflexifs entre équipes, et entre étapes de conception, d'évaluation et d'ajustements, mais ces étapes ont été suivies sans que le mode opératoire n'ait été contractualisé. Il nous semble cependant que l'expérimentation réalisée et son approche « spiralée », répond à ce que Barbier nomme « effet de coformation » entre « praticiens-chercheurs » de terrain et « chercheurs professionnels » (Barbier 1983). Dans notre cas, nous pourrions plus précisément parler d'un effet de coformation entre praticiens de la formation, professionnels du développement informatique, et chercheurs dans les sciences du numérique et les sciences de l'éducation, « coformation » qu'il s'agira dans le protocole de recherche adossé à la phase 2, d'interroger, et de mesurer, directement auprès des acteurs.

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

Le processus a donné à voir le nécessaire dialogue entre expertise disciplinaire, expertise pédagogique, et expertise technologique. Knibbe (2016, p36) cite le « modèle des TPACK » de Koehler et al. (2007), qui « suggère que les enseignants ont besoin d'avoir des connaissances » à la fois technologiques, disciplinaires et pédagogiques, « mais qu'ils doivent également avoir des connaissances qui articulent technologie, pédagogie et contenu (TPACK) ». Dans la figure ci-dessous extraite de Knibbe, (figure 3), « les CK font référence aux objectifs des enseignants, les PCK sont relatives aux tâches d'apprentissage ».

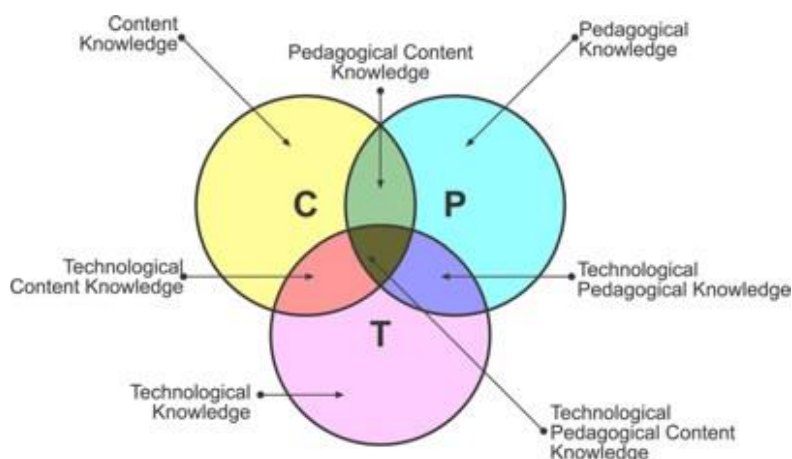


Figure 3 : Knibbe 2006, p36: Le modèle Technological Pedagogical Content Knowledge (Koehler, Mishra & Yahya, 2007, p. 3)

C'est bien cette articulation entre technologie, pédagogie et discipline qui nous semble rendue possible par une approche spiralée entre concepteurs disciplinaires et experts technologiques et pédagogiques, proche des « méthodes de type *Design-Based Research (DBR)* », qui tendent à faire collaborer chercheurs et formateurs « afin de concevoir, d'implémenter et d'évaluer » les dispositifs mis en œuvre « en situation de classe réelle » (Knibbe 2016, p43).

4.2 Observation de la refonte des transpositions didactique et informatique

Le recueil de données effectué lors de cette observation de la refonte a essentiellement consisté en une observation participante de la part des chercheurs en sciences de l'éducation impliqués, via des entretiens informels avec les concepteurs pédagogiques et les ingénieurs en informatique, via la participation et la contribution aux réunions de calage de la session, et en favorisant l'émergence de l'expression des besoins. La rédaction de cette communication a permis de cadrer ce qui peut être qualifié de journal de bord du processus de conception. Pourquoi ne pas avoir formalisé avec des outils de recueil et d'analyse plus cadrés cette activité réflexive informelle ? L'activité d'observation de la conception s'est présentée comme « effet secondaire » d'un protocole de recherche visant, lui, à observer les impacts des situations conçues sur les apprenants, objectif premier des expérimentations formalisées. Le choix a été fait de formaliser ces recueils et analyses des données des impacts sur les apprenants (voir paragraphe suivant), et de documenter, par l'observation participante, le processus de conception, et recueillir les étapes qui le jalonnent, « en l'état », pour être en mesure, en fin d'expérimentation, de modéliser ce qui serait le meilleur protocole formalisé de co-conception.

4.2.1 Analyse des impacts de la conception des situations sur les apprenants

La réalisation de l'action de formation sous sa nouvelle forme devrait avoir lieu en juin 2021.

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

Cette expérimentation vise, en termes de mesure d'impact sur les participants, à comparer :

- Leur compréhension des concepts du Lean dans les différents environnements (postes manuels réels et leur jumeau numérique intégrant environnement 3D et EVAH) et différentes situations (atelier de production complet ou brique « paniers »)
- L'utilisabilité des quatre environnements (en termes de confort, de satisfaction)
- La capacitation des quatre environnements (en termes de pouvoir d'agir en responsable Lean)

Comme pour l'expérimentation de 2019, il s'agit d'entrer « non par les intentions ou les discours des concepteurs et des prescripteurs des technologies (questionnaires ou autres), mais par l'analyse détaillée des outils et des effets dans ce qu'ils font effectivement » (Rabardel, 2005, p253) : nous souhaitons analyser les effets des situations conçues sur les apprentissages et le vécu des apprenants. Notre expérimentation devrait également nous amener à comprendre quel outil sera favorisé (et pourquoi) pour apporter des améliorations au processus d'assemblage, le choix étant laissé aux apprenants.

Les Instruments de mesure déployés seront similaires à ceux de la première étape (Badets et al., 2020) :

- Un questionnaire d'entrée (autoévaluation) portant sur les dispositions des apprenants (disciplinaires, technologiques, et motivationnelles)
- Un questionnaire de sortie de session, permettant de mesurer via une échelle dite « UX » l'expérience vécue par les apprenants (utilisabilité des instruments, et satisfaction)
- Une évaluation et une quotation par les experts disciplinaires des problèmes détectés et solutions proposées, selon l'environnement utilisé
- Une mesure du pouvoir d'agir des apprenants dans les environnements utilisés (entretiens d'auto confrontation en sortie de session).

4.2.2 Impact sur les concepteurs, développeurs et chercheurs

Les impacts de cette coconception sur les différentes parties prenantes pourront être mesurés par :

- Des entretiens formels et une analyse du discours,
- Un focus group élargi à la direction des études, aux autres chercheurs de la thématique du laboratoire et des laboratoires partenaires, afin de capitaliser sur les éléments saillants de cette expérimentation.

En effet, les résultats obtenus devront permettre de modéliser un processus de coconception transférable à d'autres programmes pédagogiques, et de générer des échanges au sein de la communauté scientifique, au-delà de l'ingénierie propre à l'école terrain de l'expérimentation.

5 Retour sur une expérience en cours, et discussion

Si la phase de réalisation de la formation de cette expérimentation et donc la mesure des impacts sur les apprenants reste à réaliser, l'observation de la conception jusque-là a permis de poser les bases d'une discussion sur la conception de situations instrumentées de manière générique.

5.1 Métadesign et design based research

L'observation participante menée a révélé que les temps et les objectifs des différentes équipes d'une telle action collective ne sont pas les mêmes, c'est pourquoi l'élaboration d'un outillage commun paraît nécessaire comme préalable à toute coconception de situations instrumentées, afin d'éviter les malentendus évoqués sur la primauté éventuelle de la fidélité sur la pertinence, ou d'un OA au détriment d'un autre, en raison de contraintes techniques d'un instrument particulier. Comment aligner les temps et objectifs de l'ingénierie pédagogique, du développement informatique et de la recherche ? Il semble nécessaire de formaliser un objectif commun aux différents acteurs impliqués, au-delà des objectifs de leur périmètre propre, ce qui n'a pas été le cas dans le fonctionnement « informel » choisi à ce jour.

Nous avons pu confirmer, comme l'évoquent également Vermeulen et al. (2019), que les méthodologies de « métadesign » ne sont pas encore très présentes dans les conceptions de situations qui demandent pourtant une articulation entre compétences pédagogiques, disciplinaires et technologiques. En effet, si pour Vermeulen et al., « sans modèle prédéfini, les enseignants éprouvent des difficultés à penser les objets à mettre en place dans la phase de conception », nous pourrions ajouter que sans méthodologie contractualisée, et sans protocole de méta-design en place, développeurs informatiques et professionnels disciplinaires vont pouvoir produire des situations d'apprentissage instrumentées, mais sans cadres conceptuels communs, qui sont pourtant le ciment d'une méthodologie efficace de ce que B. Charlier nomme la « démarche de recherche-évaluation » (2005). Comment formaliser un tel protocole de coconception, basé sur le méta-design ?

5.2 Conception participative

Vermeulen et al. (2018) vont plus loin qu'une contractualisation entre chercheur, développeur, et expert disciplinaire pour garantir l'efficacité des situations conçues. Ils évoquent la méthode THEDRE, issues des travaux de Mandran et al. (2017), qui consiste, dans une démarche de constructivisme pragmatique, à associer « le chercheur, le développeur, le méthodologue et l'utilisateur » (p7), et donc l'apprenant, dans un processus piloté par le chercheur, basé sur la roue de Deming et ses jalons de Planification, d'Expérimentation, de Contrôle et d'Ajustements (PDCA en version anglaise), avec des indicateurs de performance et une démarche « centrée utilisateur (DCU) ». Cette multiréférentialité, qui intègre l'utilisateur principal de la situation conçue, est représentée dans la figure 4 ci-dessous.

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

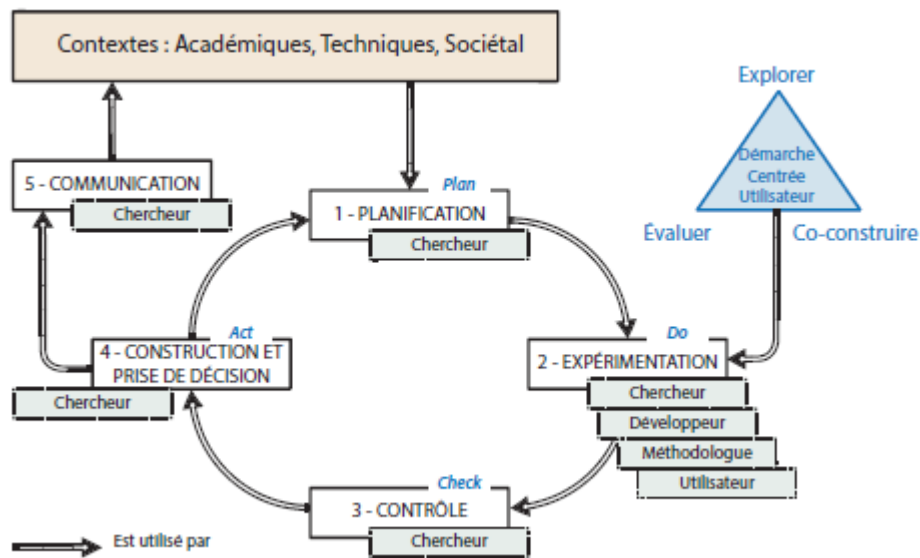


Figure 4 : Méthode THEDRE dans Vermeulen et al 2019, p8, issue des travaux de Mandran et Dupuy-Chessa, 2017

La place centrale dans le processus est donnée au chercheur, pour le pilotage, et à l’usager, dans les indicateurs d’efficacité. Il nous semble intéressant de proposer un modèle qui diffère un peu, et qui placerait chaque acteur en position de pilotage de l’équipe conceptrice à des moments stratégiques où son expertise doit être valorisée. Nous proposons donc, en figure 5, le modèle suivant de co-construction participative des situations instrumentées.

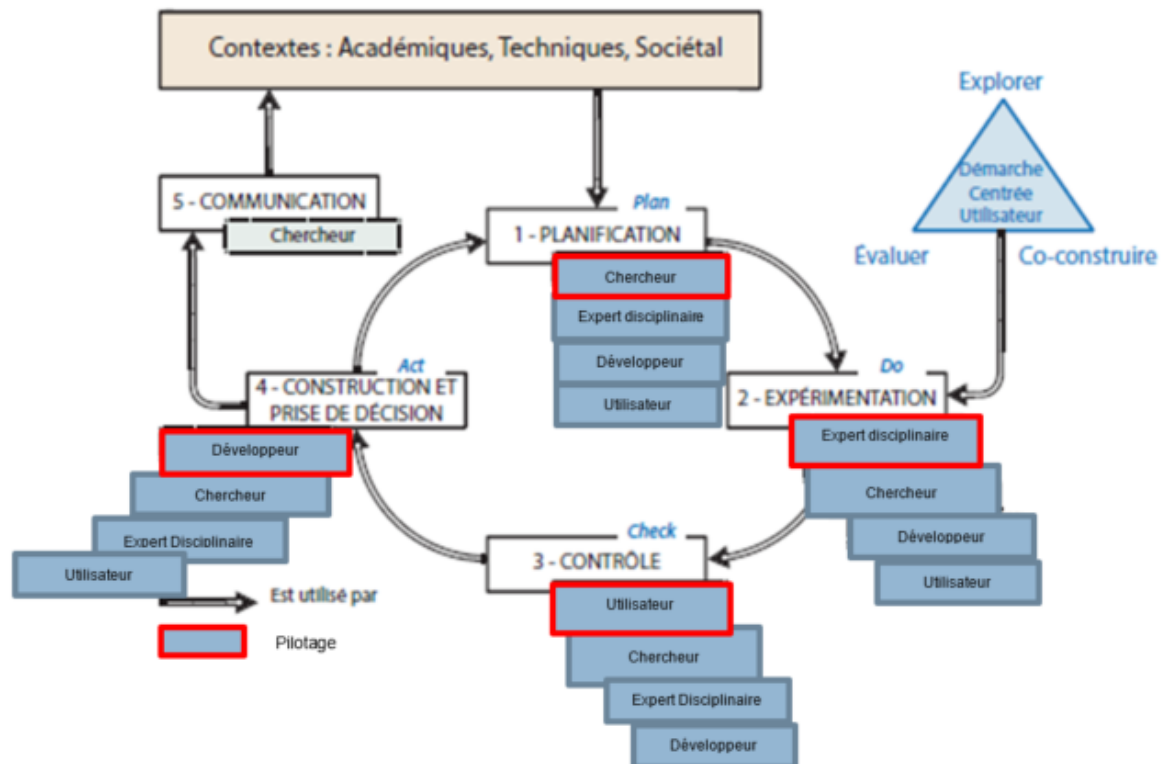


Figure 5 : Co-construction participative des situations instrumentées

Les premières observations participantes ont en effet fait émerger cette nécessité de valoriser le rôle de chaque acteur de la conception sur son pôle d'expertise, ce qu'une telle organisation d'animation tournante de l'équipe pourrait favoriser.

B. Charlier propose, pour faire émerger cette communauté de pratique, d'utiliser comme outils de « connaissances pour l'action » communs, ce qu'elle nomme « outils de passage », ou « bridging tools ». Et ce sont bien les outils de la recherche, comme les auto-confrontations ou auto-confrontations croisées, qui nous semblent pouvoir amener l'équipe de conception du niveau réflexif individuel à la communauté de pratique, en donnant à voir à chacun le cheminement des prises de décision de tous.

5.3 Retour à la philosophie de la conception de situations instrumentées

Aux questions à l'origine de cet appel à communication, à savoir si une plateforme physique et son jumeau numérique permettent le même apprentissage, ou bien quel degré de fidélité (et de quelle type) est nécessaire pour atteindre les OA, il nous semble possible de répondre, à ce stade, que cela dépend amplement du processus de conception mis en œuvre pour les situations concernées. Et par cela, s'entend que les objectifs assignés à cette conception, ses parties prenantes et leur capacité à collaborer, à partager un cadre commun, sont au cœur de la réponse à ces problématiques, en s'appuyant sur les outils de la « design-based research » évoqués.

6 Remerciements

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du projet DEFI&Co, projet qui a été retenu dans le cadre de l'appel à projets « Partenariat pour la Formation Professionnelle et l'Emploi » et fait l'objet d'un soutien du programme Investissements d'Avenir.

7 Références

Badets, A., Havard V., Baudry D., Richard K., (2020). Using collaborative VR technology for Lean Manufacturing Training: a case study, *VRIC ConVRgence 2020: 22nd Virtual Reality International Conference - Laval Virtual At: Laval, France*

Balacheff N. (1994) « La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique » in Artigues M. & alii (eds) Actes du colloque "Vingt ans de didactique des mathématiques en France", 15-17 juin 1993, Paris, France, p. 364-370.

Barbier, R. (1983). La recherche-action existentielle. *La recherche-action, Paris, 27*.

Blandin, B., & Guibert, S. (2019) Projet de recherche sur les situations instrumentées. <https://recherche.cesi.fr/wp-content/uploads/2017/08/DEFICo-Projet-de-recherche-sur-les-situations-instrument%C3%A9es-V3.pdf>

Charlier, B. (2005). Parcours de recherche-action-formation. *Revue des sciences de l'éducation, 31 (2), 259–272*

Flauder, J. (2015). *Déploiement du Lean Management dans un atelier de conditionnement et conduite du changement (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, université de Bordeaux)*.

**Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations
d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021**

Fuchs, P. (2018). *Théorie de la réalité virtuelle: les véritables usages*. Presses des Mines-Transvalor.

Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., & Baudry, D. (2019). Digital twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 472–489.

Koehler, M. J., Mishra, P., & Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology. *Computers & Education*, 49(3), 740-762.

Knibbe C. (2016) *Concevoir avec des technologies émergentes pour la construction conjointe des pratiques et des artefacts : apports d'une méthodologie participative à l'innovation technologique et pédagogique*. Education. Conservatoire national des arts et métiers – CNAM.

Mandran, N. et Dupuy-Chessa, S. (2017). THEDRE: A Traceable process for high quality in human centred computer science research. Dans N. Paspallis, M. Raspopoulos, C. Barry, M. Lang, H. Linger et C. Schneider (dir.), *Proceedings of the 26th International Conference on Information Systems Development (ISD 2017)*. Larnaca: University of Central Lancashire Cyprus.

Mangenot F., *Pratiques pédagogiques instrumentées et propriétés des outils : le cas des forums*. STICEF (*Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*), ATIEF, 2008, 15, 20 p.

Peraya, D. (2002). Enseignement et nouvelles technologies: une plate-forme pour l'utilisation éducative des technologies d'Internet. In: Perrig-Chiello, P. & Darbellay, F. Qu'est-ce que l'interdisciplinarité ? Les nouveaux défis de l'enseignement. Lausanne : *Réalités sociales*, p. 115-139

Pernin, J. P., & Lejeune, A. (2004, Octobre). *Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies: vers une ingénierie centrée sur les scénarios*

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin

Rabardel, P. (2005). Instrument, activité et développement du pouvoir d'agir. *Entre connaissance et organisation: l'activité collective*, 251-265.

Rogalski J. (2006) *Cours 2 Fondements ergonomiques et didactiques – 2.3 Transposition didactique*, Quatrième Ecole thématique du CNRS sur les EIAH : simulation, réalité virtuelle et augmentée pour les apprentissages professionnels. La Grande Motte, 2-7 juillet 2006.

Samurçay R., & Rogalski J. (1998) « Exploitation didactique des situations de simulation ». *Le Travail Humain*, 61(4), 333-359 [en ligne] présenté en annexe <http://www.lirmm.fr/eiah2006/cours/cours2.3.pdf>

Vermeulen, M., Mandran, N., Labat, J. M., & Guigon, G. (2018). Vers une approche Meta-Design des Learning Games avec le modèle DISC: de la conception à l'analyse des traces

Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021

d'usage des étudiants par les enseignants. *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, ATIEF, 2018, 25 (1).

8 Annexes

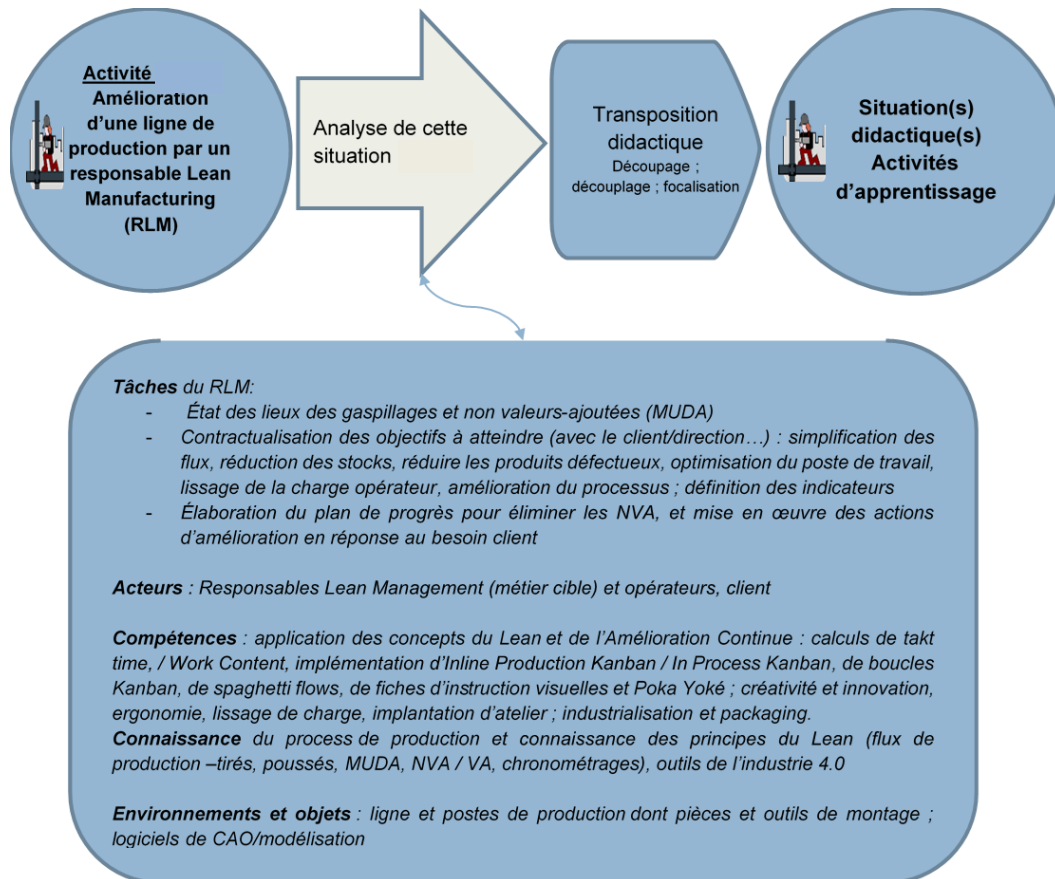


Figure 6 : Analyse de la situation de travail avant transposition didactique

**Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations
d'apprentissage instrumentées – En ligne – 31 mars et 1^{er} avril 2021**

CONNAISSANCES COMPETENCES	LIGNE DIDACTIQUE (postes manuel)	AUTRE ENVIRONNEMENT NON NUMERIQUE	ENVIRONNEMENTS NUMERQUES
<i>Compréhension des flux de production</i>	X		X
<i>Compréhension du process d'industrialisation</i>		X	
<i>Repérage MUDA, NVA sur les postes</i>	X		X
<i>Calculs de takt time</i>	X	X	X
<i>Spaghetti flow</i>	X		X
<i>Management visuel/Poka Yoké/ IPK</i>	X	X	X
<i>Améliorer l'ergonomie de postes</i>	X		X
<i>Améliorer des flux de production par l'implantation des postes</i>	X		X
<i>Cartes de contrôle</i>		X	

Tableau 1 : Transposition didactique - hybridation et approche par compétences