



HAL
open science

Conception de séquences pédagogiques immersives en Lean Manufacturing : proposition de méthode et retour d'expérience

Anthony Quenehen, Ana Sofia Jesus Gonçalves

► To cite this version:

Anthony Quenehen, Ana Sofia Jesus Gonçalves. Conception de séquences pédagogiques immersives en Lean Manufacturing : proposition de méthode et retour d'expérience. S-MART 2023 : 18ème Colloque national S.mart, Arts et Métiers Paristech ENSAM Aix-en-Provence, Université de Toulon [UTLN], Apr 2023, Carry-le-Rouet, France. hal-04278699

HAL Id: hal-04278699

<https://hal.science/hal-04278699v1>

Submitted on 10 Nov 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 séquences pédagogiques immersives en Lean Manufacturing : proposition de méthode et retour d'expérience

Anthony Quenehen^{a,*}, Ana Sofia Gonçalves^a

^a Arts et Métiers, LISPEN, 8 bvd Louis 14 – 59800 Lille

* anthony.quenehen@ensam.eu

1. INTRODUCTION ET OBJECTIF

Le Lean Manufacturing se repose sur un ensemble articulé de principes (ex : « juste à temps », flux pièce à pièce) méthodes (lissage de charge, élimination des inefficiences) et outils (travail standardisé, équilibrage de charge...), dont seule une mise en œuvre structurée permet d'obtenir une performance industrielle prolongée. En outre, une des composantes essentielles de son succès repose sur une posture managériale ouverte accompagnant les initiatives des opérateurs pour améliorer leur process. Aussi, il nous est apparu intéressant d'imaginer et de développer des séquences pédagogiques à même de rendre compte de ces mécanismes, en y incluant la dimension interpersonnelle. Ces séquences ont été créées autour d'un processus d'assemblage manuel d'un vérin pneumatique sur une ligne flexible.

2. STRATEGIE DE CONCEPTION

Nous nous sommes inspirés des méthodes de recherche orientée conception [1], dont la composante itérative des mises à l'essai semble utile pour bâtir des séquences où les étudiants pourront faire preuve d'autonomie [2] [3]. Ces processus présentent des similitudes avec ceux proposés dans le développement de 'Learning Game' (environnement et expérience où les connaissances à transmettre sont naturellement sous-jacentes et en cohérence avec l'attitude adoptée par les joueurs) [4]. Nous avons donc aussi cherché à intégrer certains ressorts ludiques afin de renforcer l'engagement des étudiants dans les séquences. Le processus de conception s'articule autour de 3 phases : cadrage, séquençage, **mise à l'essai**, cette dernière menant à la validation du projet (le détail est donné en Figure 1 :

présentation du processus général). Tout au long de ce processus, il est important de considérer simultanément le scénario pédagogique (qui sécurise l'atteinte des acquis d'apprentissage), et l'environnement qui permet sa mise en œuvre. Ce dernier élément comprend l'environnement physique avec lequel les étudiants vont interagir, mais aussi l'ensemble des règles et mécanismes qui le régissent. La vue d'ensemble est présentée dans le Tableau 1: Synthèse des éléments pédagogiques et leur implémentation.

2.1. Phase de cadrage

Il s'agit de définir, et vérifier la cohérence des éléments de lean manufacturing qui vont être mis en jeu avec l'environnement physique dans lequel les étudiants vont évoluer. Certains arbitrages peuvent intervenir en fonction des moyens disponibles (voir Figure 1: présentation du processus général).

2.1.1. Cadrage pédagogique

Pour favoriser l'engagement des apprenants dans une séquence pédagogique ouverte, Brousseau [5] invite à maintenir des points d'équilibre sur les niveaux de contrôle (niveau d'incertitude à intégrer dans la prise de décision), l'ajustement entre la récompense-ici la performance économique obtenue- et les efforts consentis, ainsi que le rythme auquel ces récompenses sont obtenues. Ces principes nous ont poussé à imaginer une séquence ouverte basée sur une succession de campagnes de productions (appelées 'run') à réaliser par les apprenants. L'objectif fixé est en apparence simple : abaisser le coût de revient de l'assemblage d'un produit. Cet objectif doit être bien entendu inatteignable dès la situation de départ, mais il peut l'être (et même dépassé) une fois les différentes notions lean mises en œuvre dans

Processus General

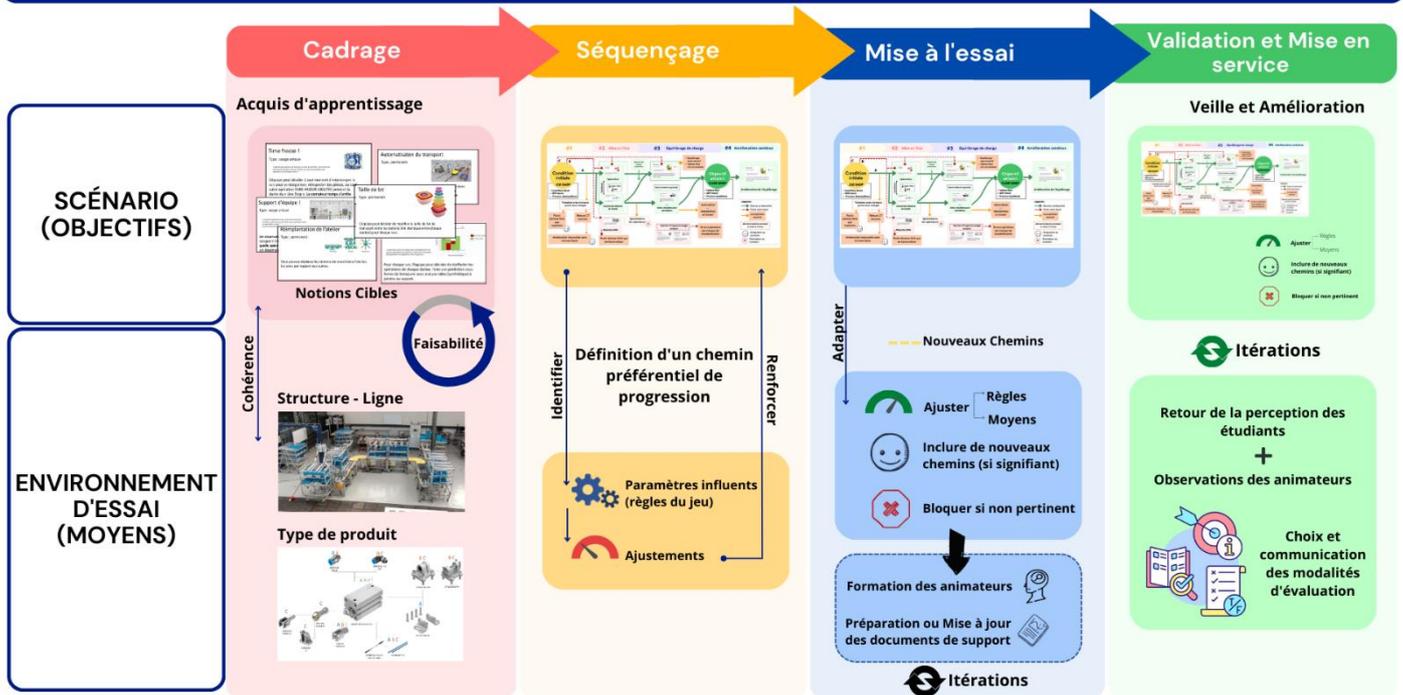


Figure 1: présentation du processus général

un ordre cohérent. Afin de respecter l'équilibre des niveaux de contrôle, il a été décidé de 'baliser' les chemins possibles par des cartes dites 'booster' (voir exemple en Figure 2: exemple de carte booster), qui permettent d'exploiter ces différentes notions en modifiant le système de production.

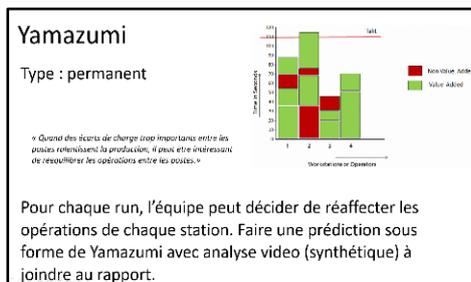


Figure 2: exemple de carte booster

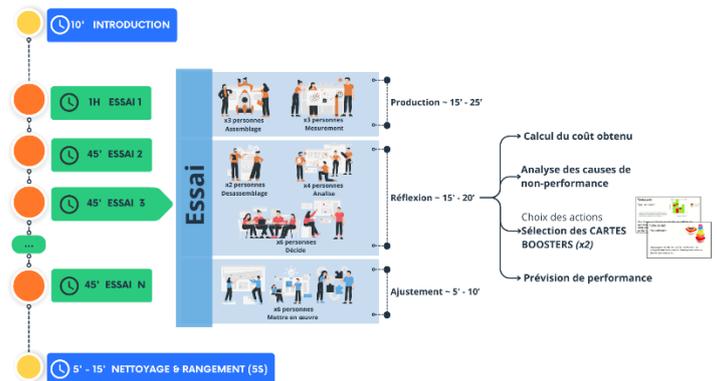


Figure 3: déroulement de la séquence

2.1.2. Cadrage de l'environnement

Afin d'établir une progressivité dans la transformation du système, le nombre de cartes booster est limité pour chaque run (certaines cartes apportant des améliorations ponctuelles sont même à usage unique), représentant ainsi une capacité d'investissement limitée. Cette progressivité permet aussi de mettre en jeu la notion d'amélioration continue, avec une structure de type PDCA (Plan Do Check Act), comme présenté aux étudiants en début de séquence (voir Figure 3: déroulement de la séquence. Enfin, il a été aussi décidé que 2 équipes seraient mises en compétition, ce qui offre le double avantage de fournir un ressort ludique supplémentaire et de pouvoir croiser les expériences de chacune pour élargir les notions abordées.

Un système à échelle 1 nous est apparu nécessaire pour susciter l'engagement, aussi nous avons conçu et fait réaliser des postes de travail manuels reconfigurables formant une ligne flexible (visible sur la partie 'cadrage', Figure 1: présentation du processus général). Un arbitrage majeur a dû être fait sur le système de déplacement des produits : jouer la notion de Takt Time (production au rythme du client) nécessite pour plus de clarté d'avoir une ligne entraînée par un convoyeur. Pour des considérations de sécurité, de coût et de modularité (besoin de pouvoir regrouper ou désolidariser les postes).

Tableau 1: Synthèse des éléments pédagogiques et leur implémentation

Eléments pédagogiques	Scénarisation	Environnement	Phase		Commentaires	KPI associé
			Cadrage	Séquençage		
1-piece-flow	Passage job shop -> flow shop	Stations reconfigurables mobiles	✓			Lead Time Work in Process
Elimination Muda (inefficacités) : stagnation, attente, transport	Caractériser la part de Muda dans la performance	Distance entre les postes Déséquilibrer la charge de travail		✓		Taux occupation Cycle Time (CT) Lead Time
Production au rythme du client (Takt Time -TT)	Performance via économie de ressources	Produit entraîné par convoyeur réglable	✓		/ \ Sécurité, coût et modularité	TT Taux de charge
Amélioration (kaizen) via PDCA (Plan Do check Act) - éviter l'amélioration de la perf. par l'accélération de la cadence.	Processus réflexif sur la performance obtenue : itération de campagnes de production avec prédiction	Forcer la rotation des opérateurs Atteinte rapide de temps opératoires optimaux	✓	✓	Produit avec peu de pièces déformables pour un apprentissage rapide	
Interactions managériales, recherche de cause systémique Promotion des initiatives des opérateurs	Rôles superviseur/opérateur Temps de résolution collégial entre chaque campagne	Alterner les rôles Intégrer un document de remontées de kaizen	✓	✓		
Sécuriser la qualité comme socle d'amélioration des coûts		Le produit doit permettre des erreurs d'assemblage	✓		Le coût de l'erreur empêche d'atteindre l'objectif visé	Pénalité et coût de réparation
Privilégier l'amélioration globale à l'amélioration locale Piloter par objectif	Introduire des cartes 'booster' qui symbolisent des investissements industriels	La performance économique est une fonction de la qualité, l'utilisation de la main d'œuvre et du WIP	✓	✓	Etablir ce principe dès l'introduction de la séquence	Coût interne unitaire du produit

Le choix s'est reporté sur un convoyeur passif, et l'économie de ressource a été illustrée par le 'makespan' (durée totale de mobilisation des opérateurs). Concernant le produit, le choix s'est porté sur un vérin pneumatique.

Les avantages principaux étant d'avoir essentiellement des pièces rigides (peu d'effet de la dextérité sur l'amélioration de la cadence d'assemblage), et la possibilité d'intervenir ou de mal positionner certains de ses composants, générant donc des défauts (une vue éclatée du vérin est présente sur la partie 'cadrage', Figure 1: présentation du processus général).

2.2. Phase de séquençage

Le cadre établi, il reste à dessiner la progression des étudiants. Le choix pédagogique initial impose d'avoir plusieurs chemins possibles. L'objectif de cette phase est de les tracer d'un point de vue pédagogique, et d'aménager l'environnement (à ce stade l'ensemble des règles et mécanismes régissant le système) pour qu'ils apparaissent plus ou moins évidents aux étudiants.

2.2.1. Séquençage pédagogique

L'objectif pédagogique est que les apprenants perçoivent l'intérêt de la mise en place de méthodes lean en termes de performance, ainsi que l'ordre à respecter et les points d'attention pour une implémentation efficace. La première étape consiste à définir un chemin dit 'préférentiel', ou idéal. Le point de départ est un système peu efficace dans notre cas : un job shop travaillant par lot, dont les 3 postes de travail possèdent des charges de travail disparates. L'objectif de l'activité est de le transformer **en flow shop**, organisé en '**one-piece-flow**' (flux pièce à pièce), dont la **charge de travail est répartie de façon homogène**. La séquence est constituée

de deux phases principales, représentées par le chemin A (voir Figure 4: cartographie de la séquence) :

1. Mise en flux du système (connexion des postes et taille de lot = 1)
2. Sur la base de ce système plus observable (moins de stagnation), rééquilibrage de la charge de travail.

Le dilemme sous-jacent est que ces 3 transformations disponibles sous forme de carte 'booster' nécessitent 2 runs de production (2 cartes par run autorisées), d'où une priorisation à effectuer. Un des objectifs de notre développement est que les 'voies sans issues' (qui améliorent trop peu la performance) aient aussi un intérêt pédagogique. Il a donc été nécessaire de les rendre suffisamment 'tentantes' pour les apprenants, bien qu'une analyse plus fine de la situation permette de les éviter. Ces chemins alternatifs (chemins B et C, Figure 4: cartographie de la séquence) sont donc aussi liés à des notions lean. D'autre part l'environnement a aussi été adapté pour qu'un choix peu judicieux ne soit pas rédhibitoire, et que la performance finale puisse être obtenue au prix d'un effort de préparation supplémentaire pour le run suivant.

2.2.2. Ajustement de l'environnement

A ce stade, les mécanismes ludiques jouent un rôle prépondérant pour accompagner la progression des étudiants, sur deux composantes :

1. Le chemin parcouru vers l'objectif global de performance
2. L'orientation à prendre pour le prochain run

Sur le premier point, une formule de calcul est partagée pour que chaque groupe évalue lui-même sa performance. Il est important que la cible finale ne puisse être atteinte si les critères pédagogiques ne sont pas

va compromettre le rééquilibrage à venir), consommation anticipée de composants (déséquilibre du flux d'approvisionnement), encombrement du poste de travail et possible confusion en cas de rotation d'opérateur... D'où la possibilité, par l'expérience vécue, de renforcer un enseignement du lean qui pousse à éliminer les causes des inefficiences (ici l'attente due au déséquilibre), plutôt que de composer avec.

A contrario, certains éléments apparaissent du fait des limites de l'environnement pédagogique : par exemple les temps d'exécution des opérations s'améliorent continuellement pendant la séance, du fait de la durée limitée des runs de production, la courbe d'apprentissage n'est pas encore dans sa partie stabilisée. Ceci n'étant pas un facteur d'amélioration recherché, il a fallu introduire des mécanismes pour l'éviter : une période de rodage avant les premiers runs, puis une contrainte de rotation régulière sur les postes (justifiée auprès des étudiants par un souci d'ergonomie en vie réelle).

Cette étape sert aussi donc à ajuster la posture des encadrants, voire sert même de base de formation. Des évaluations formatives sont réalisées conjointement par les encadrants et étudiants, notamment pour obtenir leur ressenti sur l'intérêt de la séquence, l'engagement étant une des clés de son succès. Lors d'une de ces évaluations, il a été décidé par exemple de réduire la quantité de pièce à produire par run pour atténuer un sentiment de répétitivité (les étudiants doivent aussi démonter chaque pièce assemblée entre les runs), même si cet élément reste signifiant pour le sujet abordé. Une fois la séquence jugée suffisamment robuste et à même de permettre aux étudiants d'atteindre les objectifs, le déploiement peut prendre place.

2.4. Validation et mise en service

Cette phase comprend la finalisation des documents nécessaires (support de compte rendu, gammes de travail, feuilles de calculs...), mais aussi la préparation d'une présentation de lancement de la séquence qui va 'planter le décor' pour renforcer l'appropriation des objectifs. Les modalités d'évaluation sont aussi définies, même si elles évolueront encore pendant quelques séances, le temps d'obtenir une image plus complète de la progression d'un ensemble de groupes représentatifs. Dans tous les cas, elles sont données en début de session, pour soutenir la volonté de pilotage par objectif qui caractérise ce travail. Cela peut être l'occasion aussi de figer le travail préparatoire que les étudiants réaliseront en autonomie, soit pour couvrir des points qui ne peuvent être joués lors de la séance (dans notre cas une ligne entraînée par un convoyeur, régie par un Takt Time), ou pour décharger la séquence d'un ensemble de tâches qui peuvent être faites en amont.

Il peut être aussi nécessaire de former de nouveaux encadrants, non seulement sur les notions pédagogiques cibles, mais aussi sur la posture à tenir face aux étudiants pour les accompagner via un questionnement pertinent, en dosant la quantité d'apport pour favoriser leur succès tout en leur laissant suffisamment de libre arbitre pour

que la séance reste engageante. Dans une recherche d'amélioration continue de la séquence, des retours de perception sont aussi sollicités, créant ainsi une continuité entre la séquence elle-même et son contenu auprès des étudiants.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Cette séquence est maintenant en place depuis 3 semestres, sous forme de de Travaux Pratiques en première année de cycle ingénieur sur le campus Arts et Métiers de Lille (voir Figure 5 : Séance de Travaux Pratiques en cours). Les ajustements effectués dans les différentes phases permettent d'obtenir un taux de réussite légèrement supérieur à 90%. Concernant le choix entre les chemins A et C (voir Figure 4: cartographie de la séquence), un élément pédagogique important, le chemin préférentiel (A) est emprunté par environ 40% des groupes, ce qui est satisfaisant. En termes d'engagement, ces travaux pratiques sont cités spontanément par 65% des étudiants comme un point positif de l'unité d'enseignement dont ils font partie (panel d'un tiers des étudiants). Les verbatim soulignent l'aspect immersif, dynamique et enrichissant de la séquence.



Figure 5 : Séance de Travaux Pratiques en cours

Outre ces résultats encourageants, nous pouvons tirer plusieurs éléments de ce type de développement. Tout d'abord, il permet à l'enseignant d'adopter une posture d'accompagnant vis-à-vis des étudiants, les incitant à développer une attitude réflexive, soit pour rechercher les causes d'un échec ou structurer explicitement les facteurs de succès mis en jeu.

En termes de contenu, la quantité de notions abordées est supérieure, et pour certaines la qualité est supérieure car elle passe par une expérience sensible (avec parfois un engagement émotionnel) plutôt qu'une explication théorique, même illustrée. Cela est réalisable au prix d'un effort sur la maquette pédagogique, car la transformation en Travaux Pratiques a nécessité un doublement des heures allouées.

Cette expérience vécue présente aussi l'avantage de servir de socle de référence pour les enseignements ultérieurs, et peut être régulièrement citée pour des problématiques de logistique interne par exemple.

Des points de retour d'expérience ont aussi mis en évidence sur le processus de conception. Concernant l'environnement physique, le plus réaliste possible est à

privilegier, malgré l'investissement financier qu'il peut représenter. En effet, dans les premières phases de conceptions, certains choix peuvent paraître incertains et coûteux, mais ils se révèlent pertinents ensuite car ils permettent de provoquer et d'intégrer un grand nombre de phénomènes signifiants lors des phases d'essais. Une recommandation pourrait être de se faire éventuellement accompagner par un partenaire industriel en cas de doute.

L'implication des étudiants peut encore être anticipée dès les phases de cadrage et séquençage, avec un groupe projet permanent, dans l'idée de ne pas avoir à préjuger de leur réaction dans un milieu ouvert. Ceci a été mis en place dans un nouveau projet analogue, et ils sont à l'origine de plusieurs éléments scénaristiques majeurs de la séquence en construction.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article présente un retour d'expérience sur une construction de séquence pédagogique immersive, et tente d'établir un processus de conception qui permette d'atteindre des objectifs ambitieux de qualité de transmission et d'engagement des étudiants. Les aspects expérimentaux et incrémentaux apparaissent essentiels dans le succès de cette démarche. Mettre les encadrants en posture d'accompagnant doit pouvoir permettre, en ajustant leur niveau d'intervention, d'accueillir des publics de différents niveaux.

La sélection d'un environnement réaliste permet aussi d'enrichir les expérimentations, et de croiser les thématiques. Aujourd'hui des travaux en cours visent à intégrer des robots collaboratifs sur certains postes, ce qui étend l'utilisation de l'environnement à d'autres unités d'enseignement, et renforce la continuité du cursus.

Cette communication a pour objectif de partager cette pratique avec des collègues intéressés par des projets similaires en Gestion Industrielle, dans un but d'enrichissement mutuel, mais aussi à d'autres domaines d'enseignement pour tester le processus de conception et en développer sa transposabilité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Fondation Arts et Métiers, pour la confiance qui leur ont accordé en finançant l'achat des moyens pédagogiques, et leur engagement continu de ce projet de développer des séquences pédagogiques innovantes. Notre reconnaissance va aussi à l'équipe enseignante de Gestion Industrielle du campus Arts et Métiers d'Aix en Provence, dont le soutien et le partage d'expérience nous ont fait gagner un temps précieux dans le déroulement de ce projet.

RÉFÉRENCES

- [1] S. & L. J. Harvey, «Proposition d'un modèle de recherche développement.» *Recherches qualitatives*, vol. 28, pp. p. 95-117, 2009.
- [2] D. Euler, «Design Research-a paradigm under development.» (2014)..
- [3] S. N. N. & v. d. A. J. .. McKenney, «Design research from a curriculum perspective. In Educational design research.» chez *Educational design research*, Routledge, 2006, pp. pp. 79-102.
- [4] M. M. N. L. J. M. & G. G. Vermeulen, «Vers une approche Meta-Design des Learning Games avec le modèle DISC: de la conception à l'analyse des traces d'usage des étudiants par les enseignants.» *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, vol. 25, 2018.
- [5] B. G., «BROUSSEAU, Guy. Le contrat didactique: le milieu.» *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. vol. 9, pp. p. 309-336, 1990.