

La Conception d'équipements industriels Lean

Working Paper n°15
Projet Lean Entreprise, TELECOM ParisTech

Yves Mérel, Directeur Lean Manufacturing, Groupe FCI

This text is a *working paper*. Please do not cite, reproduce or distribute without the authorization of the author.

Dans l'exercice de mon métier d'animateur de démarche « Lean » dans l'industrie, depuis plusieurs années, j'ai été amené à visiter un très grand nombre d'usines. Je reste cependant toujours surpris de constater une très faible utilisation des équipements installés. Pour partager ce point de vue, je vous invite à faire le tour de votre usine en notant lors de votre passage les équipements en production et à l'arrêt. C'est ainsi que je constate rarement plus de 50% de taux d'utilisation des équipements. Bien évidemment, je fais ces observations instantanées en pleine journée quand l'activité est la plus soutenue. Alors que la nuit et les week-ends l'activité est moindre. Imaginez ce que pourrait être votre usine avec deux fois moins d'équipements mieux utilisés. Le capital investi et la surface utilisée en moindre quantité donneraient à votre entreprise un avantage compétitif énorme vis-à-vis de vos concurrents.

Les équipements ont trop souvent une capacité de production surdimensionnée et sont régulièrement interrompus par des problèmes techniques, qualités ou logistiques. Une démarche Lean d'amélioration permanente en usine permet de réduire ces gaspillages industriels. Cependant les options prises lors de la conception des équipements réduisent les perspectives d'amélioration. La « flexibilité », la « souplesse » et la recherche du « minimum technologique » sont trois principes du Lean insuffisamment pris en compte lors de la conception des équipements industriels.

1/ Les phases du cycle de vie d'un produit impactent les performances économiques

Le cycle de vie d'un produit industriel commence dès son lancement commercial par une phase de « montée en cadence ». Selon la maîtrise des technologies mises en œuvre sur le produit et sur ses nouveaux équipements industriels, cette phase peut être plus ou moins rapide. Les étapes de fabrication les moins bien maîtrisées ralentissent la montée en cadence de l'ensemble de la chaîne de production. Durant cette phase des coûts imprévus apparaissent pour forcer l'allure sur les opérations complexes, mais aussi du fait d'une production à allure réduite sur le reste de la chaîne de production.

Les problèmes de montée en cadence sont difficiles à anticiper, donc le risque encouru est de ne pas pouvoir respecter les engagements commerciaux pris à l'occasion du lancement du nouveau produit. Dans certains cas où plusieurs paris technologiques osés sont pris à l'occasion du lancement d'un produit, les coûts très importants associés à sa montée en cadence peuvent compromettre définitivement la rentabilité du produit et l'image de marque de l'entreprise.

Ensuite commence la seconde phase de production en « régime de croisière ». Le niveau des ventes du produit y est généralement inférieur à celui initialement prévu du fait d'un excès de confiance en son attractivité par rapport aux produits concurrents. De plus, pour ne prendre aucun risque sur les délais de livraison en cas de succès commercial on investit systématiquement dans des équipements industriels dimensionnés au delà des prévisions de ventes.

Ces équipements sur-capacitaires produisant à allure réduite ne permettent pas d'atteindre les performances économiques espérées dans cette phase, par manque d'absorption des coûts fixes engagés.

Une démarche d'amélioration permanente des performances de production tachera alors de limiter les surcoûts associés à ce régime de croisière. Mais l'efficacité de cette démarche dépend de la simplicité de modification des équipements.

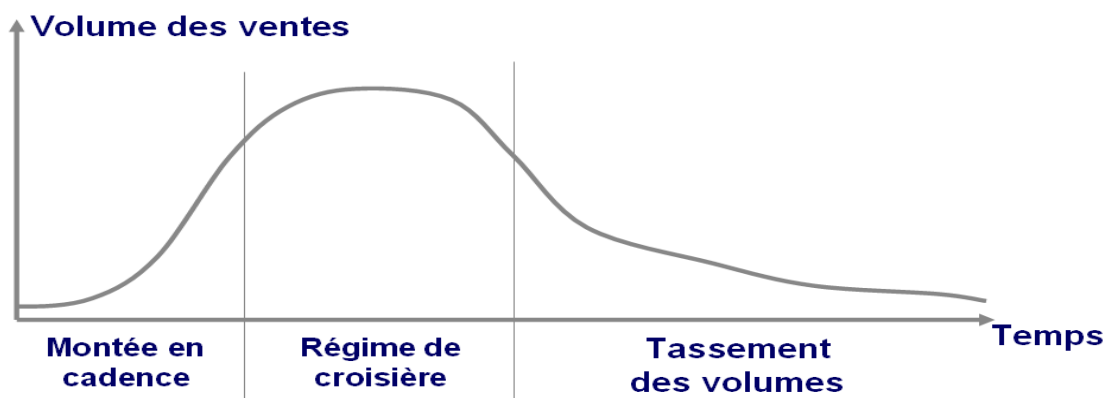
Et dans les rares cas où les ventes dépassent les prévisions initiales, les coûts de production peuvent être encore plus dégradés si les équipements industriels sont complexes à adapter pour produire à plus forte cadence.

Enfin ce produit est concurrencé par le lancement sur le marché d'autres produits plus innovants. C'est alors que commence la troisième phase de « tassement des volumes ». Elle débute souvent plus tôt qu'on ne l'espérait du fait de la réaction des concurrents. Et elle dure très longtemps jusqu'à l'arrêt total de la commercialisation du produit.

Bien que dans cette phase l'amortissement comptable des investissements n'apparaissent plus dans les calculs de rentabilité, en réalité les performances économiques se dégradent avec la baisse des quantités à produire. Il est difficile d'ajuster les coûts de fabrication proportionnellement aux quantités. On subit alors des hausses de prix d'achat des matières approvisionnées en petites quantités, des gaspillages d'énergie, des difficultés de maintenance, mais surtout des pertes de productivité car on ne fabrique plus ce produit qu'exceptionnellement.

Finalement on interrompt la commercialisation du produit quand les pertes financières perçues pendant le tassement des volumes deviennent vraiment trop grandes.

Ce sont sur les marchés les plus innovants où les cycles de vie des produits sont les plus courts que l'on subit le plus fort impact économique associé à ces trois phases.



2/ La flexibilité permet d'augmenter le taux d'utilisation d'un équipement industriel

La flexibilité d'un équipement industriel est sa capacité à fabriquer différents produits et à rapidement changer de séries.

Quand un équipement est dédié à la fabrication d'un seul produit, les effets dus à son cycle de vie se font pleinement ressentir sur les coûts de fabrication.

Par contre si l'équipement est flexible et peut fabriquer des séries de différents produits, les cycles de vie de chacun des produits se compensent mutuellement et leurs effets sont ainsi minimisés.

Prenons l'exemple d'un équipement industriel flexible fabriquant 5 produits dont aucun ne dépasse pas 30% de la production totale. Même si les ventes du 5^{ème} produit sont de moitié inférieure aux prévisions, l'impact sur la production totale reste faible et ne dépasse pas 15%. Lors du lancement d'un 6^{ème} produit sur cet équipement, sa phase de montée en cadence peut compenser le tassement de 70% du volume du 1^{er} produit et ainsi atténue les variations de

quantités totales à produire. Si l'incertitude des prévisions de ventes de ce 6^{ème} produit est forte, à plus ou moins 30%, il n'est pas nécessaire de sur-dimensionner de manière notable la capacité de production car le risque est faible sur les quantités totales à produire, il ne peut dépasser 9%.

Par contre avec des équipements dédiés, le 5^{ème} ne serait utilisé qu'à 50%, le 1^{er} qu'à 30% et le 6^{ème} qu'à 77%. Le taux d'utilisation globale des équipements serait donc très inférieur à celui de l'équipement flexible (76%).

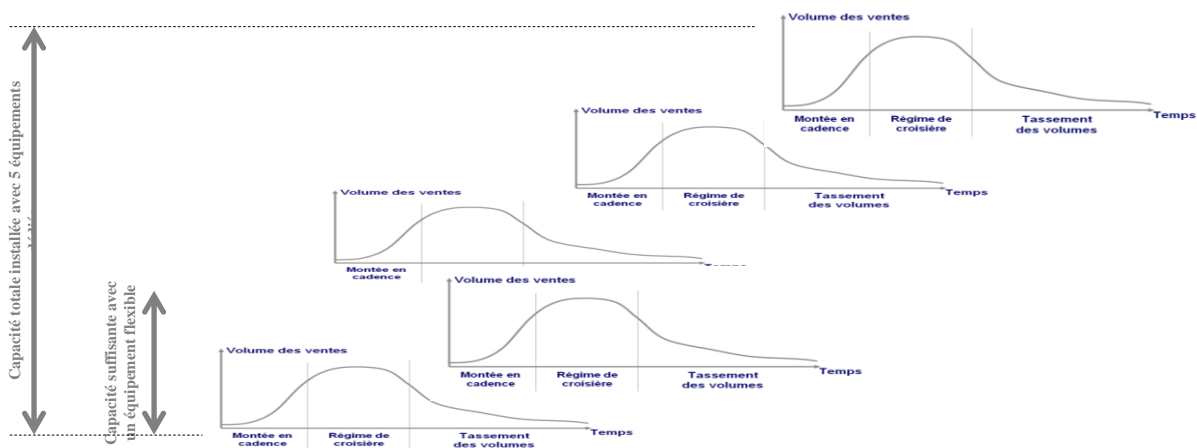
En observant les équipements industriels inutilisés dans une usine, on constate qu'ils sont très souvent dédiés à un produit unique soit en phase de tassement des volumes, soit en phase de montée en cadence, soit en régime de croisière inférieur aux prévisions de ventes. Alors qu'au contraire les équipements flexibles sont beaucoup plus régulièrement en fonctionnement. Les équipements dédiés consomment donc inutilement de la surface industrielle, créent des stocks les jours où ils produisent afin de couvrir leurs périodes d'arrêt, sont moins bien entretenus et les personnes perdent l'habitude d'y travailler et ainsi oublient les réflexes nécessaires et fabriquent une qualité médiocre.

Pour améliorer l'amortissement des équipements et éviter des gaspillages, quand c'est possible on préfère modifier des équipements existant pour les rendre plus flexible, plutôt que d'acheter des équipements dédiés supplémentaires. Quand il est malgré tout nécessaire d'investir dans un nouvel équipement, on veille à ce qu'il puisse être flexible même si son prix d'achat est légèrement supérieur à celui d'un équipement dédié.

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS) calculé sur un temps d'ouverture de 24 heures par jour permet de mesurer très simplement le taux d'utilisation d'un équipement industriel.

$$\text{TRS} = \text{Quantité fabriquée} / \text{Cadence machine} / \text{Temps d'ouverture}$$

Quand la quantité fabriquée en moyenne est très inférieure à la capacité de l'équipement, l'équipement investi a été surdimensionné. Un surdimensionnement léger peut être volontaire pour pouvoir compenser des aléas de fonctionnement, mais excessif il est la conséquence d'erreurs de prévisions de vente et de manque de flexibilité.



Quand les changements de série d'un équipement flexible sont trop longs et complexes à réaliser, les fabrications doivent être faites par campagnes de grandes quantités sur chaque

produit à tour de rôle. La perte de temps due aux changements de série est alors compensée par de longues périodes de production sans changement. Mais ces campagnes génèrent des stocks importants et nécessitent une planification rigoureuse.

Il est donc préférable de concevoir des équipements flexibles pouvant changer de série rapidement. Idéalement un changement de série doit pouvoir se faire dans le temps de cycle sans ralentissement. Mais si l'équipement en devient trop complexe, il peut être simplifié mais tout ceci ne doit pas excéder 10 minutes, afin de limiter la durée des campagnes.

Avec des équipements dédiés, une usine est généralement encombrée d'équipements inutilisés, alors qu'avec des équipements flexibles mais trop longs à changer de série elle est encombrée de stocks. Donc pour obtenir tous les bénéfices de la flexibilité, il est nécessaire d'investir dans des systèmes de changement rapide d'outillage. Ces systèmes ne coûtent jamais autant que le manque de flexibilité ou les surcoûts d'exploitations dus à l'excès de stock.

3/ La matrice produit / process est aussi un outil d'analyse de la flexibilité

La matrice produit / process est principalement utilisée pour l'analyse et la simplification des flux en usine. Elle permet d'identifier des regroupements de plusieurs équipements de travail en lignes de fabrication et de proposer une implantation d'usine simplifiant les flux.

Mais cette matrice est aussi un outil d'analyse très adapté au développement de la flexibilité lors de l'industrialisation d'un nouveau produit.

Produits finis			Equipements					Quantités					
Véhicules	Références	Désignations	Presse 200T	Soudeuse A	Soudeuse B	Soudeuse C	Assemblage			CMJ	Type d'UC	Pièces / UC	UC / jour
	1	Patte	2400	700						3200		200	16
	2	Support	2600	700	900		550			8500		55	155
	3	Flasque			500	200				1000		70	14
	4	Levier				600				4000		100	40
	5	Articulation				400	450			1000		30	33
	6	Serrure	2400				500			1200		10	120
Nombre maximum d'opérateurs			1	1	1	1	4						
Temps de changement de série moyen			75	20	20	30	10						
TRS			21%	70%	48%	59%	84%						

Les lignes de la matrice correspondent à tous les produits finis ayant des similitudes avec le nouveau produit à industrialiser. Les colonnes correspondent à tous les équipements utilisés pour la fabrication de cette famille de produits. A l'intersection des lignes et des colonnes est notée la cadence de fabrication du produit sur l'équipement. Dans la colonne de droite est notée la consommation moyenne des produits. Et dans la ligne du bas est calculé le TRS sur 24 heures des équipements, grâce aux consommations et aux cadences de tous les produits qu'ils fabriquent.

En permutant l'ordre des lignes et l'ordre des colonnes on crée des regroupements sur la diagonale de la matrice. Ces regroupements suggèrent d'implanter, proches les uns des autres, les équipements fabriquant les mêmes produits afin de simplifier les flux dans l'usine.

Les cases complétées dans chaque colonne indiquent les différents produits fabriqués par un équipement et donc synthétise son niveau de flexibilité.

Le calcul des TRS indique les taux d'utilisation de chacun des équipements, par conséquent leurs disponibilités résiduelles.

On veille donc pour l'industrialisation d'un nouveau produit à éviter d'investir dans de nouveaux équipements dédiés et à exploiter au maximum les disponibilités résiduelles des équipements existants. Quitte quand c'est possible à investir dans des modifications d'équipements existant pour les rendre flexibles, simplifier leurs changements d'outils et augmenter leurs cadences.

Il faut absolument s'assurer que les TRS prévus en ajoutant les consommations du nouveau produit ne dépassent pas le TRS maximum que l'organisation de l'usine sait atteindre sur ce type d'équipement. Le risque est de surestimer les capacités de production possible donc d'avoir de grandes difficultés à fournir les quantités demandées par les clients.

Il est donc indispensable d'analyser les causes d'arrêt d'équipements équivalents en service dans l'usine et de définir un TRS maximum réaliste à ne pas dépasser par l'ajout de nouvelles consommations.

Lors de la conception d'un produit innovant, on veille dans la mesure du possible à ce que les étapes nécessaires à sa fabrication soient similaires à une famille de produits existante. Ainsi on pourra plus facilement utiliser des disponibilités résiduelles d'équipements flexibles de l'usine afin de minimiser les investissements d'industrialisation et les risques économiques associés à son cycle de vie.

4/ La souplesse simplifie l'exploitation des équipements industriels

La souplesse d'un équipement industriel est sa capacité à produire à différents rythmes sans dégrader son coût d'exploitation. Ceci est particulièrement utile pour les équipements peu flexibles qui subissent pleinement les fluctuations de consommation client durant le cycle de vie du produit.

Si une ligne de fabrication ne peut produire qu'avec un nombre fixe d'opérateurs, quand la consommation client réduit, il devient indispensable d'adapter la durée de fabrication de la ligne en déplaçant régulièrement les opérateurs sur d'autres activités. Cette nécessité de déplacement des personnes représente une très forte contrainte d'exploitation en usine et génère des surcoûts importants.

Par contre avec une ligne souple, on sait réduire le nombre d'opérateurs travaillant sur la ligne en ralentissant sa cadence. On peut ainsi adapter la fabrication au rythme de la consommation des clients sans surcoût d'exploitation.

Prenons l'exemple d'une ligne rigide pouvant fabriquer 300 produits par journée de travail (300 p/j) d'une équipe de 5 personnes.

Lorsque la consommation client est de 900 p/j, on organise la fabrication en 3 équipes, donc avec 15 personnes au total. Pour une consommation de 600 p/j on fabrique en 2 équipes, donc avec 10 personnes. Enfin pour 300 p/j, il suffit d'une seule équipe de 5 personnes. Nous disposons donc de 3 allures de production en ajustant le nombre d'équipes sur la ligne.

Cependant quand la consommation client n'est pas exactement à 300, 600 ou 900 p/j, on est contraint à fabriquer plus que nécessaire et à stocker le surplus.

Par exemple pour une consommation à 500 p/j, on s'organise en 2 équipes et fabrique 100 p/j de trop. Le stock ainsi constitué, après quelques jours voire quelques semaines, devient très important et génère des contraintes excessives de gestion. On décide alors de stopper la 2^{ème} équipe et de déplacer les 5 personnes sur une autre activité, afin de ne plus produire que 300 p/j et de consommer progressivement le stock. Un peu avant l'épuisement total du stock on récupère les 5 personnes de la 2^{ème} équipe pour revenir à une production de 600 p/j, et ainsi de suite.

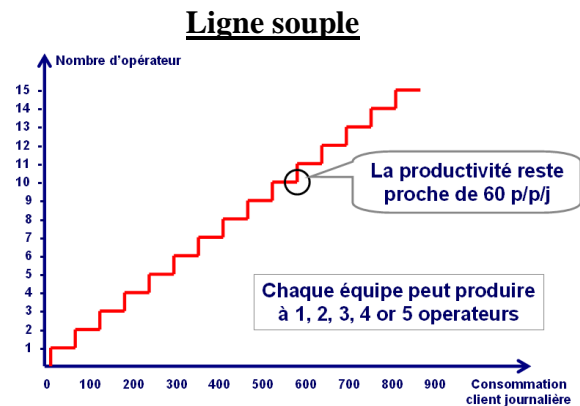
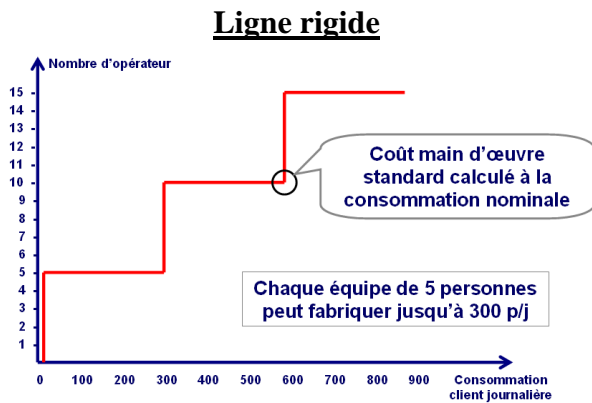
A part les rares cas où le rythme de la consommation client correspond à la cadence de fabrication, on est contraint à déplacer régulièrement des équipes d'une activité à l'autre.

Certaines usines sont fortement contraintes sur leur niveau de stock par manque de place de stockage, par saturation du personnel de manutention ou bien tout simplement par manque de trésorerie financière. Dans ce cas on exige de l'encadrement de production et de logistique de vérifier plusieurs fois par jour le niveau des stocks, afin de corriger le planning de production et de déplacer des équipes en cours de journée.

Ces déplacements réguliers nécessitent, de disposer d'activités de délestage disponible à tout moment et en nombre équivalent aux activités principales. Mais ces activités de délestage ne peuvent pas fabriquer selon la consommation de leur client, mais selon la disponibilité des personnes. Les stocks associés à ce type d'activités sont donc énormes et difficiles à gérer. On ne peut jamais prévoir quand et pour combien de temps les personnes y travaillent. Il est indispensable que les personnes de toutes les équipes aient une formation régulière au travail sur ces activités de délestage afin que la qualité produite y soit correct malgré le manque d'habitude. Quand les déplacements sont très fréquents, le temps perdu en transition devient considérable. On compte en moyenne une demi-heure gaspillée pour arrêter une production et démarrer une activité de délestage. Mais il ne faut pas négliger un facteur essentiel : l'humain. Une personne habituée à une tâche n'apprécie pas d'être déstabilisée par d'incessants changements en cours de journée.

Bref, le délestage est difficile pour l'encadrement, perturbe les opérateurs, dégrade la qualité, fait perdre du temps et génère des stocks. Par conséquent les équipes adaptent naturellement leur allure afin de ne pas produire beaucoup plus que la consommation client afin d'avoir le moins possible à se déplacer. Dans l'exemple cité plus haut où la consommation est de 500 p/j, les deux équipes s'adaptent à 250 p/j au lieu des 300 p/j possibles. La perte de productivité due à l'adaptation des équipes au rythme de la consommation client est très difficile à éviter sans stock excessif. Les conséquences du manque de souplesse sont généralement sous-estimées. C'est dans beaucoup d'usine une cause majeure de perte de productivité, d'excès de stock, de surcharge de l'encadrement et de mauvaise qualité des produits.

Alors qu'avec une ligne souple en complément des 300 p/j fabriquées à 5 personnes, on sait aussi fabriquer 240 p/j à 4 personnes, 180 p/j à 3 personnes, 120 p/j à 2 personnes et 60 p/j seul. Ceci sur 1, 2 ou 3 équipes selon la consommation client. On dispose alors d'une « boîte de vitesse » permettant d'ajuster la production à 15 allures différentes. La productivité est ainsi maintenue proche de son niveau nominal de 60 produits par personnes et par jour (comme à 300 p/j à 5 personnes) sans déplacement régulièrement les personnes.



5/ L'animation de chantiers d'ingénierie carton aide à la conception de lignes souples

La souplesse n'est possible sans perte de productivité qu'à condition que la conception des équipements et leur implantation en ligne permette aux opérateurs de travailler sur plusieurs équipements à la fois.

Généralement quand une ligne souple est aussi productive à un seul opérateur qu'au nombre maximum d'opérateur, elle l'est aussi à tous les effectifs intermédiaires. On s'attache donc lors de la conception d'une ligne à optimiser la productivité à un seul opérateur.

Quand on doit travailler seul sur 5 équipements, il est habituel de travailler chaque jour de la semaine sur un équipement différent. La seconde alternative est de travailler chaque jour une heure et demie sur chacun des équipements. Mais dans ces deux organisations, on retrouve les inconvénients associés aux déplacements des personnes d'une activité à l'autre. Comme par manque de souplesse on génère des stocks, de la manutention, des contraintes de planification et une qualité médiocre.

La solution plus difficile à mettre en œuvre mais ne créant pas ces inconvénients est la fabrication en « pièce à pièce » entre les équipements de la ligne. Cela consiste à ne jamais stocker plus d'un produit en cours de fabrication entre chaque poste de fabrication de la ligne. L'opérateur seul doit donc travailler à chaque cycle de travail sur tous les équipements de la ligne afin de réaliser un produit fini complet. Cela n'est possible sans perte de productivité que si les distances entre les équipements de la ligne sont réduites et peuvent être parcourues en temps masqué pendant le travail des équipements.

Pour chacun des effectifs possibles sur la ligne, on définit des points de passage de relais où les personnes s'échangeront les produits en cours de fabrication afin que tous aient le même temps de travail et ne s'attendent pas les uns les autres. Elles peuvent s'échanger le produit de main en main ou bien le laisser à disposition du suivant à une position prédéfinie sur l'équipement. Mais elles ne doivent surtout pas accumuler plusieurs produits en cours dans la ligne, cela illustrerait un défaut d'équilibrage et générerait des pertes de temps.

Afin d'obtenir la meilleure productivité sur une ligne souple, voici quelques exemples de recommandations de conception :

- préférer les postes de travail debout plutôt qu'assis
- réduire au minimum la largeur des équipements quitte à augmenter leur profondeur
- installer les armoires électriques à l'arrière plutôt que sur le côté
- installer les pupitres de commande en façade et en hauteur plutôt que sur le côté

- préférer pour le départ cycle des contacteurs à tige flexible plutôt que des boutons poussoir
- protéger l'accès aux parties en mouvement plutôt qu'installer des boutons bi-manuels
- protéger mécaniquement l'accès aux mouvements à inertie plutôt qu'avec des barrières immatérielles
- éjecter automatiquement les produits finis de leur posage plutôt qu'alimenter automatiquement les composants
- ne laisser aucun espace libre permettant l'accumulation de plusieurs produits en cours
- conditionner les composants en petites boîtes manipulables sans engin de manutention.
- approvisionner et évacuer les boîtes par des racks à rouleau de la main de l'opérateur à l'arrière du poste
- prévoir les changements d'outils par l'arrière des équipements
- implanter les postes côte à côte en deux lignes parallèles face à face avec les personnes à l'intérieur, des allées tout autour et le flux en pièce à pièce selon un circuit U.

Ainsi, n'étant jamais certain d'avoir suffisamment optimisé la conception d'une ligne souple, il est très efficace d'organiser un chantier « ingénierie carton » avec un groupe de personnes habituées à produire sur des lignes similaires. Le groupe réalisera avec des cartons scotchés entre eux, comme avec les cubes d'un jeu d'enfant, une ligne factice en grandeur nature. Ceci afin de visualiser les volumes et les distances, puis de simuler les cycles de travail pour optimiser l'ergonomie et la souplesse de la ligne.



6/ La recherche du minimum technologique développe la Qualité au meilleur prix

La conception d'un équipement industriel nécessite toujours des compromis entre un idéal de performances recherché et un minimum de capital investi.

Généralement le donneur d'ordre commence par présenter au concepteur de l'équipement une liste la plus exhaustive possible des exigences de performance souhaitées en terme de qualité et de productivité. Le concepteur étudie alors un avant projet répondant point par point à toutes ces exigences. Mais contraint par le temps, il propose une solution complexe à un prix exorbitant.

Etudier des solutions technologiques simples et astucieuses est beaucoup plus difficile que d'accumuler des éléments technologiques distincts répondant à chacune des exigences. Le donneur d'ordre ne peut pas compter sur l'aide du concepteur pour rechercher la simplicité dès le début car cela lui demande plus de travail. Le donneur d'ordre ne doit donc pas se contenter de l'avant projet. Il doit exiger la recherche de solutions technologiques plus

simples pour ne pas subir par la suite les conséquences industrielles dues à une trop grande complexité.

Contraint par un prix d'équipement trop élevé, créant une rentabilité insuffisante ou des difficultés de financement, des compromis sont faits qui remettent en cause les performances exigées. Le plus facile face à un tel dilemme est de prendre des risques sur des critères qualité sans remettre en cause le degré d'automatisation pour la productivité.

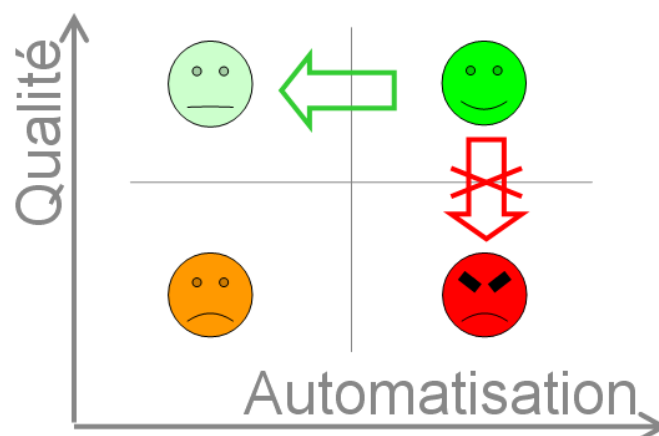
Mais cette solution de facilité apparente est extrêmement dangereuse. Sur la base de composants de mauvaise qualité on risque de ne pas savoir produire du tout avec un équipement très automatisé. L'automatisation intensive tolère très peu de variabilité sur la qualité des composants. Dans de nombreuses cas d'automatisation intensive sur la base d'une qualité médiocre, la productivité est très fortement dégradée par des opérations de tries, retouches et rebuts imprévues.

Alors que l'autre alternative face à ce dilemme consiste à renoncer à une partie de l'automatisation en ne faisant aucun compromis sur la qualité. Autant que possible l'investissement est maintenu sur les opérations de transformation du produit et de contrôle, afin de préserver la capacité du processus. Mais les opérations de transfert et de stockage peuvent elles être réalisées astucieusement avec un minimum de technologie. La productivité peut en être légèrement dégradée, mais sans générer les surcoûts énormes que provoquerait une qualité médiocre.

Les solutions à minimum technologique augmentent la consommation de main d'œuvre et réduisent l'investissement. La structure de coût des produits évolue alors vers plus de coûts variables (main d'œuvre) et moins de coûts fixes (amortissement). Cette nouvelle structure de coût réduit la sensibilité économique du projet aux variations de quantités durant les phases des cycles de vie du produit.

Et si bien qu'aucun compromis n'ait été fait sur la qualité, des difficultés apparaissent, il est préférable d'avoir très peu automatisé les équipements. Les opérations manuelles de fabrication tolèrent bien plus de variabilité sur la qualité des composants.

Le choix de solutions à minimum technologique lors de la conception d'un équipement facilite également sa mise au point, sa maintenance et surtout ses modifications ultérieures.



L'animation de groupe de travail facilite la conception des équipements industriels Lean

Durant ces 8 dernières années où j'ai animé des démarches « Lean » sur 3 groupes industriels internationaux, j'ai eu l'occasion d'analyser en détail plus de 100 usines entre l'Europe, les Amériques et l'Asie. Cela m'a permis de constater des approches très différentes dans la conception des équipements : Dans les pays à bas coût de main d'œuvre comme par exemple le Mexique, l'Inde et la Tchéquie, la recherche du minimum technologique est systématique ; En Allemagne, au Japon et au Canada par contre j'ai eu beaucoup plus de réticence mais j'y ai développé plus facilement la flexibilité, les solutions technologiques sont généralement mieux maîtrisées mais l'absorption des coûts fixes est fortement pénalisée par les cycles de vie. Enfin en France comme dans beaucoup d'autres pays d'Europe de l'ouest et aux Etats-Unis, la prise en compte de ces trois principes Lean en conception m'a permis d'économiser des montants importants d'investissement et d'éviter beaucoup de difficultés d'exploitation prévisibles.

En tant que donneur d'ordre de nouveaux équipements industriels, autant que possible j'anime des groupes de travail pluridisciplinaires sur la réalisation de matrices produit / process, de chantiers d'ingénierie carton et de cartographies des processus. Cela me permet en très peu de temps de réunir une longue liste de critiques constructives sur un avant projet insuffisant en flexibilité, en souplesse et en minimum technologique. Puis à force de pratiquer régulièrement ces méthodes d'analyse avec les concepteurs habituels d'équipements, ils conçoivent plus naturellement des avant projets qui intègrent directement ces principes Lean.

Ces groupes de travail sont aussi un moyen pour structurer la collaboration entre les concepteurs et les exploitants des équipements. Le personnel de Production accueille bien plus favorablement les nouveaux équipements ainsi conçus. Ils contribuent plus volontiers aux efforts nécessaires pour faire face aux difficultés inhérentes à la phase de montée en cadence. En dehors des trois aspects techniques cet aspect humain est certainement le plus important pour la réussite des projets d'industrialisation.