

MANAGEMENT DU CHANGEMENT TECHNIQUE

LE CAS DE L'INTRODUCTION DES LASERS

**D'USINAGE DANS LES PROCESSUS DE
PRODUCTION**

RÉGIS LARUE DE TOURNEMINE⁴

⁴ Maître de conférence à la Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Strasbourg.
Directeur du département "Logistique-Production" à l'E.M.E. (Ecole de Management Européen)
de Strasbourg.

RÉSUMÉ: Cette communication concerne le management de l'introduction des lasers d'usinage dans le processus de production et se fonde sur un travail de recherche et d'enquêtes réalisé (en 1993 et en France) par l'auteur dans diverses entreprises industrielles utilisatrices de lasers industriels pour des applications très diverses. Les problèmes de décisions d'investissement en machines lasers sont explicités selon la démarche suivante : Enjeux technico-économiques ; synthèse théorique concernant la problématique de la décision d'investissement en technologie flexible ; proposition d'une méthode en six phases de management du changement technique appliquée à l'introduction des machines lasers dans l'entreprise et présentation des outils de gestion pour la phase "d'évaluation technico-économique".

Le laser d'usinage, de par ses caractéristiques (flexibilité, automation et programmation des machines laser, possibilité d'intégration robotique-laser, etc...) fait partie des équipements de la productique. A ce titre, son introduction dans le processus de production exige une approche ad-hoc de management du changement technique, comme pour toutes les technologies flexibles.

La méthode de management proposée comporte six phases pour trouver des réponses à l'ensemble des problèmes soulevés par l'introduction des technologies flexibles dans l'entreprise. Une analyse plus détaillée d'une de ces phases "l'évaluation technico-économique" permet de proposer divers outils de gestion pour appréhender la majeure partie des bénéfices que l'on peut escompter en investissant dans les machines laser.

1. LASERS ET MACHINES LASERS : LES ENJEUX TECHNICO-ECONOMIQUES ET LES PROBLÈMES DE DÉCISION POUR LES ENTREPRISES

Le L.A.S.E.R. en tant que phénomène physique (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est à l'origine de l'invention des sources-laser (la multitude actuelle d'objets techniques ou cavités résonnantes) qui permettent de produire un rayonnement cohérent que l'on peut concentrer à l'aide d'un système optique pour obtenir des densités de puissance très élevées. Ces lasers sont susceptibles d'une grande diversité d'applications dans la quasi-totalité des secteurs économiques. Comme toutes les "nouvelles technologies" les technologies laser se sont progressivement constituées en une "Industrie" selon une dynamique du processus d'innovation caractéristique dans les "Industries Fondées sur la Science" et qui remonte historiquement au début des années 1960 (7). Le principe du laser repose sur le phénomène introduit en 1917 par EINSTEIN : l'émission stimulée. En 1957, un notaire du Bronx authentifie le cahier de recherche de Gordon GOULD, thésard à Columbia et employé des laboratoires BELL. Ce cahier intitulé "Quelques calculs préliminaires sur la faisabilité d'un laser" ouvre la voie aux multiples développements technologiques qui font actuellement des centaines de types de sources lasers fonctionnent à des longueurs d'ondes qui vont de l'infrarouge lointain jusqu'à l'ultraviolet selon le milieu actif (qui peut être solide, liquide ou gazeux) considéré. Pour ce qui concerne la démonstration de la faisabilité de l'usinage-laser, soulignons que le premier usinage (en laboratoire) date de 1962 et qu'il s'agit de perçage à l'aide d'un laser à rubis. La mise au point des deux catégories de sources (lasers à CO₂ et laser YAG) incorporées dans les machines-lasers existantes actuellement date de 1964. Depuis ces

premières sources, la technologie des sources a bien sûr évolué ainsi que les technologies associées (électronique de commande, table de déplacement, systèmes de transport et de focalisation du faisceau, systèmes de chargement et de déchargement des pièces à usiner, etc ...) pour donner lieu dans les années 80 à des combinaisons appelées "machines-lasers" utilisables en environnement industriel. Comme pour toute les "technologies nouvelles", l'industrie des lasers pour reprendre la terminologie de J. MORIN (12) est à l'origine des technologies "transversales", "combinatoires" et "contagieuse" qui donnent lieu à des "opportunités innovatrices" dans de multiples domaines : télécommunications, médical, usinage, etc ...

Ces "opportunités innovatrices" dans le domaine de l'usinage se concrétisent dans les années 1980 par l'existence de systèmes complets (sources lasers et technologies associées) pour la découpe, le perçage, le marquage, le soudage et le traitement de surface. La variété des sources et des configurations possibles de technologies associées a donné naissance à une offre diversifiée de machines-lasers. Si l'on prend l'exemple des seules machines pour la découpe laser, on peut ainsi distinguer trois grandes familles :

- Machine à faisceau fixe et pièce mobile soit en version "type poinçonneuse", soit "laser uniquement" avec table XY.
- Machine à faisceau mobile et pièce fixe soit en version "optique mobile" 2, 3, 4 ou 5 axes soit en version "robot" 3, 4 ou 5 axes.
- Machine à faisceau mobile et pièce mobile.

Pour chacune de ces familles de machines, il faut encore faire son choix entre les sources CO₂ et YAG et une fois le type de source choisie, évaluer la puissance de la source appropriée à l'application industrielle considérée. Les multiples machines-lasers existantes actuellement permettent de répondre à une multitude de besoins industriels mais posent aux entreprises le problème du choix technologique et économique approprié en fonction de l'application considérée. Il s'agit d'un problème de décision stratégique en production comme nous allons l'analyser par la suite.

L'essor des applications des lasers en usinage industriel obéit à une double logique⁵ : la logique de la substitution technologique pour des applications précises (la découpe ou le perçage ou le soudage ou le traitement de surface) et la logique globale de l'émergence d'un nouveau système de production (équipements flexibles et polyvalents).

*La logique de la substitution : si l'on envisage chaque opération séparément (découpe, perçage, soudage, traitement de surface), le laser peut être envisagé comme substitut à des techniques traditionnelles :

- En découpe par exemple, le laser se substitue aux technologies classiques pour des considérations de qualité (précision, qualité de surface, formes complexes) et pour des petites et moyennes séries (la rapidité de programmation améliore la productivité pour des productions flexibles de séries diversifiées).
- Si l'on prend le cas des applications de soudage, le laser se substitue de plus en plus aux technologies traditionnelles pour des raisons de vitesse et de qualité de la soudure.

⁵ Pour des exposés plus détaillés concernant la problématique des technologies lasers et de leurs applications cf. par exemple : R. LARUE DE TOURNEMINE "Les lasers d'usinage" publié par l'AREPIT, 1988. D. PRADIE " Le laser outil de développement des PME" publié par le SERAM, 1991.

- En matière de traitement de surface, le marché potentiel est important pour les sources de forte puissance et les surfaces localisées mais repose encore sur la réduction des incertitudes technologiques (développement des connaissances portant sur l'interaction lumière-matériau, homogénéisation du rayon, savoir-faire industriel).

*Logique plus globale de l'émergence d'un nouveau système productif : l'analyse des applications du laser serait incomplète si on n'y ajoutait pas une approche plus globale de ses possibilités.

- Polyvalence du laser : le même laser peut effectuer différentes opérations (découpe, soudure, traitement thermique) et usiner une multitude de matériaux divers dont les matériaux nouveaux et les composites. L'utilisation effective du laser doit tirer parti de cette double polyvalence. Pour certaines opérations d'usinage, le laser est la seule solution vraiment adaptée, sa polyvalence ouvre parfois de nombreux marchés parfois considérables.

- Le laser peut être un outil qui prépare et facilite le travail d'un outil d'usinage plus classique, c'est le cas de l'usinage assisté par laser pour les alliages difficiles à usiner.

- Le laser est une "technologie-clé" de la productique et du nouveau processus de production", dans un système économique dont la production est de plus en plus différenciée, diversifiée et rapidement renouvelée (production en petite série de biens différenciés dont le cycle de vie se raccourcit). C'est dans ce contexte plus global d'un nouveau système de production (à fort taux d'innovation et de différenciation du produit, par opposition au système de production à grande échelle de produits standardisés) que se situent les perspectives à venir du laser d'usinage en l'associant à d'autres technologies (robotique, informatique, automatisme, CFAO, fibre optique et guide d'onde, etc ...) et selon des critères de gestion et d'organisation nouveaux (critère combinant flexibilité et productivité, critère de qualité, de réduction des coûts et du cycle de production, etc ...).

En conclusion il convient donc de souligner que la décision d'investissement laser est complexe car elle doit tenir compte de multiples paramètres dont le poids varie selon l'application et le contexte industriel considéré. Une étude récente (6) sur la démarche d'investissement laser souligne d'ailleurs la diversité des cas possibles :

- La démarche laser aboutit à un investissement dans 75 % des cas mais le processus de décision est éminemment variable : dans 35 % des cas, l'investissement a lieu après validation technico-économique, dans 15 % des cas après prototype et pour les 15 % restant la décision effective implique la réalisation de pré-série et une aide à l'investissement.

Pour les 25 % de démarche "laser" n'ayant pas abouti, les raisons sont également diverses : économiques (60 %), techniques (15 %), autres raisons (15 %).

En d'autres termes le processus décisionnel en matière d'investissement laser peut varier du simple (seule solution possible, faisabilité établie) au très complexe (validation technico-économique difficile, incertitudes diverses). Cet état de fait se retrouve d'ailleurs dans la plupart des cas de décision d'investissement en technologie flexible comme le soulignent divers travaux de recherche en gestion dont il convient maintenant de rendre compte.

2. SYNTHÈSE SUR LA PROBLÉMATIQUE DE LA DÉCISION D'INVESTISSEMENT EN TECHNOLOGIES FLEXIBLES

L'évaluation "a priori" des bénéfices attendus de la décision d'investissement en technologie flexible se heurte à trois difficultés majeures :

- Les doutes que l'on peut émettre à l'encontre de l'aptitude des systèmes d'information comptable notamment pour ce qui concerne les clés de répartition des charges fixes indirectes.
- La pertinence de l'application des critères d'investissement financiers classiques.
- L'existence d'incertitudes irréductibles et l'impact de la mise en oeuvre sur l'efficacité de l'investissement.

Une brève analyse de ces difficultés nous permettra de re-situer la problématique de la décision d'investissement en technologies flexibles dans les diverses orientations de recherches actuelles en gestion.

2.1. Les doutes concernant les systèmes d'information comptable et de contrôle des performances des entreprises

L'ensemble des doutes concernant les systèmes d'information comptable et les critères des entreprises ont été émis au début des années 1980 par Robert S. KAPLAN (4). Selon cet auteur, les efforts de management pour revitaliser les industries manufacturières sont voués à l'échec si l'on continue à utiliser des systèmes de comptabilité et de contrôle des performances "dépassés" par rapport au contexte technico-économique actuel. Ces systèmes de comptabilité (en particulier pour ce qui concerne l'évaluation des coûts) et de contrôle de performance ont été développés il y a plusieurs décennies mais restent en usage dans la plupart des entreprises, introduisant des distorsions graves au niveau de la perception que le management des entreprises peut avoir des performances réelles de leur propre système de production. KAPLAN critique en particulier les conventions comptables qui consistent à allouer les charges fixes en fonction des charges variables exprimés par le nombre d'heures de travail direct. De plus, il montre que dans le cadre actuel de concurrence globale, les critères de performance financiers et quantitatifs ne suffisent plus à rendre compte des performances du système de production et traduisent mal la compétitivité réelle des entreprises. KAPLAN propose de compléter les critères financiers quantitatifs par des critères qualitatifs qui mettent en évidence l'ensemble des performances du système de production (qualité, niveau des stocks, flexibilité, réactivité). Ces analyses mettent en particulier en évidence le fait que la rentabilité financière à court terme ne préjuge en aucun cas de la compétitivité à long terme qui dépend également de critères non-financiers. Les doutes de KAPLAN concernant les systèmes d'information comptable et de contrôle des performances des entreprises ont trouvé un écho à la fois auprès des entreprises et de divers auteurs auxquels il convient de faire référence pour ce qui concerne les publications spécifiques pour le cas de la France⁶.

- Du côté des entreprises un groupement international de firmes et de cabinet de consultants, le CAM-I (Computer Aided Manufacturing International) remet en cause les bases de la comptabilité analytique c'est-à-dire l'allocation des coûts indirects à partir des seuls coûts directs. Le projet CMS (Cost Management System) du CAM-I est à l'origine d'une nouvelle

⁶Cf. en particulier : ECOSIP "Gestion industrielle et mesure économique", Economica, Gestion 1990, Deuxième partie (le renouvellement de la comptabilité analytique et du contrôle de gestion). TARONDEAU J.C. "Stratégie industrielle", Vuibert, 1993, Chapitre II (les nouveaux systèmes d'information).

méthodologie d'évaluation des coûts et des performances susceptibles de mieux traduire la rentabilité d'une technologie ou d'un produit. Cette méthodologie constituera sans doute une norme pour l'avenir et sera à l'origine d'un redécoupage de l'entreprise qui permettra une comptabilité par "fonction" (achat, usinage, assemblage, contrôle, etc ...) apte à mieux rendre compte des effets de l'introduction des nouvelles technologies selon une approche qui rejoint celle de la "chaîne de valeur" de Michael PORTER.

- Du côté des auteurs qui en France s'attachent à expliciter et à propager ces travaux, l'analyse porte sur les démonstrations suivantes :

1) L'évolution technico-économique conduit à une diminution relative très forte du coût direct qui remet en cause les clés de répartition en usage dans la comptabilité classique (3).

2) Le projet CMS du CAM-I est à l'origine d'une méthodologie de découpage fonctionnelle de l'entreprise et d'un système d'allocation des coûts qui permet de réduire l'arbitraire et de rendre compte de la réalité des processus concrets mis en oeuvre à l'intérieur du système de transformation des entreprises de production (10).

3) Les travaux de CAM-I fondés sur les concepts d'activité et de facteur de coût (13) débouchent sur une nouvelle méthode de détermination des coûts (ABC - Activity Based Costing) et de management (ABM - Activity Based Management) qui permettent respectivement l'affectation des coûts sur la base de liens de causalité (ABC) et de faire porter les efforts du management sur les facteurs "réels" de performance (ABM) dans une optique stratégique qui rejoint celle développée par PORTER.

En définitive la remise en cause des systèmes d'information comptable ouvre la voie à une meilleure "lisibilité" de l'entreprise qui permettront à terme de mieux fonder les décisions d'investissement en technologies flexibles.

2.2. L'inaptitude des critères d'investissement financier à rendre compte des décisions d'investissement en technologies flexibles

Si les doutes concernant la pertinence des critères d'investissement financier remontent au début des années 1980 aux États-Unis⁷, c'est encore KAPLAN qui en 1986 va pousser le plus loin la réflexion analytique sur les insuffisances de ces critères. KAPLAN tout en insistant sur l'importance de l'usage des techniques d'actualisation (T.I.R., V.A.N., etc ...) pour fonder les décisions d'investissement analyse dans quelle mesure ces techniques sont souvent appliquées de façon peu satisfaisante ("poor application of Discounted Cash Flow to investissement proposals") : fixation arbitraire de taux d'actualisation trop élevés ; mauvaise évaluation des alternatives à l'investissement en technologies flexibles projeté (optimisme exagéré des résultats obtenus en cas de non-investissement) ; biais en faveur des projets "incrémentaux" plutôt que "révolutionnaires" résultant de la complexité croissante des procédures de décision avec le volume des investissements ...

⁷Au début des années 1980 certains auteurs américains (Robert H. HAYES, William J. ABERNATHY, David A. GARVIN) "expliquent" le déclin économique américain par le sous-investissement dans les technologies de production induit par un mauvais usage des techniques d'évaluation financières et une vision à trop court terme de la compétitivité. Cf. Robert HAYES and William J. ABERNATHY "Managing our Way to Economic Decline" H.B.R. July-August 1980 ou bien Robert HAYES and David A. GARVIN "Managing as if tomorrow mattered" HBR May-June 1982.

KAPLAN propose au Managers d'améliorer le processus de décisions en matière d'investissement en technologies flexibles sur la base d'une approche conceptuelle et méthodologique qui repose en particulier sur :

- Une prise en compte de tous les bénéfices induits par les investissements en technologies flexibles. La distinction conceptuelle entre "bénéfices tangibles" (réduction des stocks, de la surface nécessaire pour la production, augmentation de la qualité) et "bénéfices intangibles" (plus grande flexibilité, réduction des délais, apprentissages nouveaux) comporte deux avantages. En premier lieu, elle permet de mieux définir a priori les bénéfices aisément quantifiables (tangibles) et ceux qui sont plus difficiles à quantifier (intangibles). En second lieu, elle oblige à une quantification plus exhaustive qui ne se limite pas aux seules économies de main d'oeuvre, de matières et d'énergie qui sont les variables les plus souvent privilégiées dans la pratique des entreprises.

- La méthodologie préconisée par KAPLAN a de plus le mérite de souligner combien il peut être arbitraire dans la pratique des entreprises de négliger les bénéfices intangibles même s'ils ne sont pas quantifiables.

En définitive KAPLAN remet en cause l'application trop stricte et étroite qui préside souvent à l'usage des critères financiers dans la pratique des entreprises. D'autres auteurs après lui prolongeront sa réflexion en préconisant de compléter la méthodologie financière "élargie" proposée par KAPLAN par la prise en considération des diverses dimensions stratégiques de l'investissement en technologies flexibles⁸. L'ensemble de ces réflexions concernant "l'applicabilité" des critères d'investissement financiers au cas des technologies flexibles peut ainsi être à l'origine d'une amélioration des décisions prises par les entreprises qui consiste à élargir la réflexion sur les divers avantages et opportunités qui peuvent résulter de ce type d'investissement.

2.3. L'impact de la mise en oeuvre sur l'efficience de l'investissement

Les diverses expériences en matière de décisions d'investissement en technologies flexibles montrent qu'il existe au moins deux raisons supplémentaires qui expliquent les difficultés impliquées par l'évaluation "a priori" de l'opportunité de ce type d'investissement :

- Les bénéfices attendus diffèrent souvent de ceux qui sont obtenus : des études détaillées portant sur l'usage effectif des systèmes de D.A.O. par exemple ont montré que ces systèmes ne sont pas utilisés de la manière attendue "a priori" par les firmes (9).

- En fait tout projet d'investissement en matière de technologies flexibles est un véritable projet d'innovation dont l'efficience "a posteriori" dépend de l'efficacité des méthodes de gestion de projet utilisées et des caractéristiques mêmes (expériences, rôles respectifs de chaque membre, etc ...) de l'équipe de projet considérée (1).

⁸Cf. par exemple M. BROMWICH and A. BHIMAMI "Strategic Investment Appraisal" *Management Accounting*, March 1991 ou John K. SHANK and Vijay GOVINDARA-JAM "Strategic Cost Analysis of Technological Investments" *Sloan Management Review*, Fall 1992.

3. LE MANAGEMENT DU CHANGEMENT TECHNIQUE LORS DE L'INTRODUCTION DU LASER D'USINAGE

La complexité et la diversité des décisions d'investissement laser exige une approche globale de management du changement technique lors de l'introduction du laser d'usinage et des procédures spécifiques d'évaluation technico-économique. Les diverses étapes de ce management du changement technique exposées ci-dessous constituent une méthode globale pour trouver des réponses aux problèmes soulevés par l'introduction des technologies flexibles dans les entreprises. Une analyse détaillée d'une de ces étapes "l'évaluation technico-économique" permettra de détailler plus en avant les outils nécessaires pour appréhender la majeure partie des bénéfices que l'on peut escompter en investissant dans les machines laser.

3.1. La complexité et la diversité des décisions d'investissement laser : constat et étude par enquêtes

Le nombre des applications connues et distinctes des machines laser est très élevé (8). Les types de machines laser sont également très différents : pour les machines laser YAG, selon la complexité du système et la puissance de la source, le coût d'investissement va de moins de 500 KF à plus de 1,3 MF, pour les machines laser CO₂ de moins de 1 MF à plus de 5 MF. La problématique de la décision d'investissement diffère fortement selon l'application et la machine considérée.

- Selon l'application, on peut distinguer au niveau "macroscopique" : les cas en découpe, perçage et marquage pour lesquels les paramètres technico-économiques de bon nombre d'applications sont bien identifiés. Les applications en soudage comportent des incertitudes technico-économiques plus élevées. Pour le traitement de surface, de nombreuses indéterminations doivent être résolues.

- Selon le type de machine laser et en prenant le cas relativement simple des machines laser YAG, on peut très globalement distinguer trois logiques d'investissement différentes : machine YAG de 400 à 500 KF, investissements réalisés par les PME pour des applications qui relèvent d'un calcul relativement simple de rentabilité ; machines YAG de 500 KF à 1,3 MF, investissements réalisés par des entreprises de plus de 500 salariés et dont les paramètres technico-économiques sont plus complexes et par conséquent la rentabilité souvent moins évidente. Machines YAG de plus de 1,3 MF, utilisées en laboratoire ou par quelques grands groupes industriels au niveau international.

En d'autres termes, il serait illusoire d'établir un schéma indifférencié des paramètres technico-économiques de la décision d'investissement laser. Dans le cadre d'une étude récente (6), neuf entreprises ayant réalisé un investissement laser ont été enquêtées par voie de questionnaire postal et par interview semi-directif réalisé dans l'entreprise auprès des responsables et acteurs de cette décision d'investissement. Le but de ce travail consistait à analyser le processus de décision qui a conduit à l'investissement laser et d'évaluer si ce processus permet de rendre compte des effets (sur la production, le(s) produit(s), la flexibilité, la productivité, etc ...) de cet investissement pour chaque entreprise considérée isolément. Il s'agissait également d'évaluer la pertinence respective de la démarche d'investissement pour chaque entreprise, d'identifier les "succès" et les "dysfonctionnements" majeurs pour chaque cas afin de proposer "in fine" une méthode globale d'évaluation et de décision d'investissement en système laser. La méthode proposée ci-dessous s'inspire de cette étude et de ces enquêtes.

3.2. Les étapes de la méthode de décision

L'étude de la littérature concernant les technologies laser et les enquêtes réalisées en milieu industriels permettent de fonder la méthode sur les hypothèses suivantes :

- La rentabilité d'une machine laser ne peut être évaluée sans une prise en compte globale de ses potentialités (flexibilité opérationnelle et stratégique par exemple au sens de REIX⁹), de ses performances (aspects productivité, qualité, fiabilité) de ses possibilités nouvelles (nouvelle fonctionnalité : dans le cas du laser, des usinages impossibles par les moyens conventionnels sont désormais possibles ce qui induit l'ouverture de nouveaux marchés parfois considérables) et de ses incidences sur la conception (aspect analyse de la valeur) et la fabrication (changement du processus et diminution du nombre d'opérations ou intégration de phases) des produits.

- L'investissement laser comporte un aspect stratégique. Il doit donc être resitué dans la stratégie industrielle de l'entreprise au sens de J. C. TARONDEAU.

- Le calcul d'investissement doit être "initialisé" par une démarche de veille "technologique" qui permettra de déceler à quel moment (il s'agit d'un problème de "Timing" en management des technologies dans l'optique de l'approche de FOSTER (2) la technologie peut être considérée comme prometteuse pour l'application et le secteur d'activité de l'entreprise considérée.

- La formalisation du problème technique et l'exécution du calcul d'investissement exige une forme de "partenariat" avec des centres d'applications lasers (organismes intermédiaires entre l'offre et la demande qui ont des activités de recherche, d'études de faisabilité, de formation) et des producteurs de sources.

- Les principales erreurs d'évaluation "a priori" des effets de l'investissement laser et les causes majeures de dysfonctionnements observés (écarts évitables entre les résultats attendus et ceux qui sont effectivement obtenus) sont les suivantes :

- Formulation insuffisante au niveau de la stratégie industrielle.
- Etudes techniques insuffisantes en cas de décision trop rapide imposée par la direction.
- Evaluation technico-économique trop restrictive.
- Erreurs organisationnelles ou insuffisance du management en matière de mise en oeuvre.
- Inexistence de procédures de suivi, de contrôle et d'amélioration qualité "ex post".

Compte tenu de ces diverses conclusions, la méthode de décision proposée pour un investissement en machine laser doit comporter les phases suivantes :

Phase préalable : La veille technologique

La diffusion des technologies laser a été un processus lent qui au niveau industriel a débuté dans les années 1970 pour s'accélérer dans les années 1980. Cette diffusion dépend de multiples paramètres : progrès des sources lasers, progrès des technologies associés, développement des connaissances concernant l'interaction lumière-matériau, essais d'applications, nouvelles générations de machines plus performantes, etc ...

⁹La "flexibilité statique ou opérationnelle" est l'aptitude de l'entreprise, dans un environnement relativement stable, à s'adapter à une demande différenciée. C'est donc la capacité à produire en petites séries. La "flexibilité" dynamique ou stratégique est l'aptitude de l'entreprise, dans un environnement plus perturbé à s'adapter à une demande changeante. C'est donc la capacité à innover. Cf. REIX R. "La flexibilité de l'entreprise", Edit. Cujas, 1979.

Selon le secteur et l'application considérée, les connaissances disponibles et les machines lasers offertes sur le marché contribuent à rendre l'utilisation du laser plus ou moins opportune. Il s'agit donc de déterminer "quand" se lancer dans l'aventure ... La veille technologique aura pour objectif de déterminer cette date en fonction des informations collectées (principalement par les départements R & D et production) dans le cadre des colloques, expositions de matériel et par une recherche documentaire ciblée (publications spécialisées, démarches auprès des centres d'applications laser et des fournisseurs de machines lasers). Le département production devra diffuser ces informations auprès de la Direction pour la sensibiliser et préparer les phases ultérieures.

Phase 1 : Etude de stratégie industrielle.

Les objectifs de stratégie industrielle (diminution des délais, flexibilité, réduction des coûts, etc ...) varient avec l'évolution de la demande et avec la stratégie générale de l'entreprise. Cette phase associe donc la Direction générale, le département R & D, le département production et le département Marketing. Les autres fonctions de l'entreprise seront également associées (le département Finance pour les aspects critères d'investissement, le département G.R.H. pour les aspects recrutement et/ou formation). Il s'agit dans cette phase de déterminer les objectifs poursuivis à long terme au niveau des processus et des produits (13).

Phase 2 : Analyse technique.

Dans cette phase, il s'agit de savoir si le recours à la machine est susceptible de mieux servir les objectifs industriels que les technologies concurrentes. L'évaluation technique des performances des machines lasers (par rapport aux technologies concurrentes) implique un partenariat avec les centres d'applications lasers et avec les fournisseurs de machines lasers.

Phase 3 : Evaluation technico-économique.

Dans cette phase l'opportunité de l'investissement laser fait l'objet d'une évaluation "a priori" concernant les aspects quantifiables et non quantifiables selon l'approche préconisée par KAPLAN et par les auteurs qui recommandent d'associer approche stratégique et approche financière comme nous l'avons analysé précédemment. Cette phase associe la Direction et l'ensemble des fonctions de l'entreprise. Les procédures et outils d'analyse de cette phase seront explicités plus en détail par la suite.

Phase 4 : Mise en oeuvre.

Il s'agit dans cette phase de concevoir l'implantation du laser selon les préceptes de gestion de projet adopté en matière d'innovation technologique¹⁰.

Phase finale : Suivi, contrôle et amélioration de la qualité.

L'efficacité effective de l'investissement laser doit être suivie, contrôlée. Il s'agit de faire un bilan des résultats obtenus et d'assurer la gestion des paramètres susceptibles d'améliorer ces résultats :

1) La 1ère étape consistera à faire un bilan des résultats obtenus (bénéfices tangibles et intangibles) après montée en cadence (3 mois à 1 an).

¹⁰Le management de l'innovation technologique est une approche globale et interactive de l'efficacité dynamique de la firme articulé sur les spécificités des différentes phases du processus d'innovation. Cette approche d'origine anglo-saxonne est prônée par divers auteurs tels que E.B. ROBERTS, A.R. FUSFELD, M.A. MAIDIQUE, etc ... cf. à ce sujet R. LARUE DE TOURNEMINE "Stratégies technologiques et processus d'innovation", Chapitre 3, Opus cité.

2) Puis contrôle entre résultats obtenus/résultats effectifs, analyse des écarts, source des écarts, actions correctives (au niveau stratégique et global de la conception du processus et des produits en particulier).

3) Enfin maintenance et amélioration de la qualité et de la productivité impliquent une analyse des origines des pannes et des défauts de fabrication. La mise en place de "fiche rebut" par exemple aura pour objet d'initier un apprentissage des causes de la différence entre la vitesse réelle (en production) et la vitesse affichée (par le constructeur de la machine laser) souvent observée.

Cette dernière phase doit s'inspirer des concepts, démarches et outils de la "nouvelle gestion industrielle" telle qu'elle a été définie par Hugues MOLET (11) et qui consiste à remettre sans cesse en cause les contraintes.

3. 3. La phase d'évaluation technico-économique

La phase d'évaluation technico-économique a pour objet d'estimer (quantitativement et qualitativement) tous les bénéfices induits par l'investissement en technologie-laser. Ces bénéfices sont les suivants :

- Les bénéfices classiques estimés dans les études financières habituelles (V.A.N., T.R.I, temps de retour) c'est-à-dire économies de main d'oeuvre, d'énergie et de main d'oeuvre.
- Les bénéfices tangibles au sens de KAPLAN : diminution des stocks, de surface, augmentation de la qualité.
- Les bénéfices intangibles toujours au sens de KAPLAN : plus grande flexibilité, diminution des délais, apprentissage nouveaux.

Cette phase consiste à simuler (par une maquette théorique) les caractéristiques du nouveau process et à le quantifier par des paramètres physiques (vitesse d'usinage, nombre d'opérations, volume des stocks en amont et en cours, effets sur les opérations situées en aval). Cette simulation des paramètres réels en production constitue le "module physique" de l'évaluation technico-économique. Puis le module financier consiste à quantifier en termes monétaires les bénéfices monétaires par rapport à la technologie utilisée ou à une technologie alternative d'investissement.

- Le module physique comporte cinq étapes lorsque la conception du produit n'est pas affectée :

1) Graphique des temps comparatifs entre la machine-laser et les technologies alternatives. Le calcul se fait habituellement sur un échantillon représentatif des types de pièces fabriqués par l'entreprise. Ces calculs sont généralement réalisés en partenariat avec les centres d'application laser et/ou les producteurs de machine-laser

2) Récapitulatif des différences de matières, de temps d'usinage et de préparation.

3) "Analyse de déroulement" pour chaque technologie possible et pour le laser.

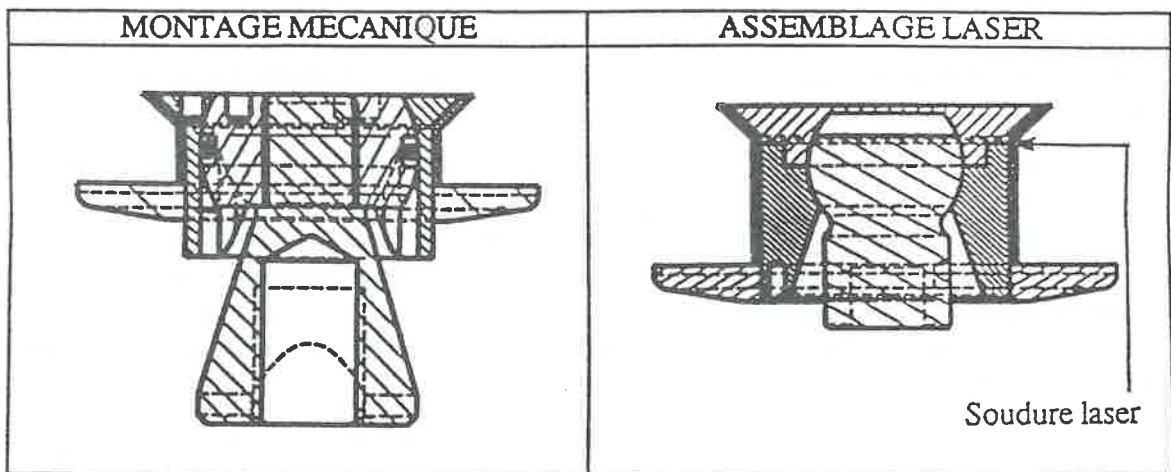
L'analyse de déroulement se présente sous forme d'un tableau où figure en ligne la dénomination des différentes opérations (les différentes opérations sur machine, les transports entre machines, les stockages en machines). Ce tableau permet de simuler l'intégration de phase (diminution des opérations d'usinage) et les diminutions d'opérations physiques qui en résultent (contrôle, transport, stockage).

4) "Diagramme de circulation" pour chaque technologie possible et pour le laser. Ce diagramme est la traduction sous forme de plan (à une échelle déterminée du tableau réalisé lors de "l'analyse de déroulement"). Les diagrammes de circulation visualisant les différentes configurations d'atelier pour chaque technologie et les surfaces correspondantes.

5) Effets en amont et en aval : cette étape a pour objet de quantifier en valeur physique les effets probables de l'utilisation du laser en amont et en aval de l'atelier concerné par l'introduction du laser. Par exemple pour les machines laser de découpe par rapport au poinçonnage-grignotage, il y a en amont diminution du nombre de tôles stockées (un seul format de tôle nécessaire avec le laser) et gain de temps au niveau des opérations de pliage et de soudage situées en aval (gains dus à la qualité laser).

- Le module physique sera modifié lorsque la "conception" du produit est modifiée du fait de l'utilisation du laser. Dans ce cas, on procède à l'étude de la modification du process d'une manière analogue mais en ajoutant une étape supplémentaire "d'analyse de la valeur" du "nouveau produit" comme indiqué dans la figure suivante.

PROCEDES



BILAN

TECHNIQUE	
<ul style="list-style-type: none"> — nécessité d'un joint torique pour assurer l'étanchéité de l'ensemble, — fixation par clefs à ergots en face avant 	<ul style="list-style-type: none"> — meilleur esthétique, aucun perçage et aucune aspérité n'apparaît sur la façade extérieure, — inviolabilité parfaite, les dispositifs de fixation sont accessibles de l'intérieur du bâtiment — soudage dans les tolérances, sans échauffement et déformation de pièces graissées à vie. — résistance à l'arrachement : 22 800 N
ELEMENTS D'ANALYSE DE LA VALEUR	
<ul style="list-style-type: none"> — 6 pièces + un joint torique, — usinage d'une gorge, fraisage pour le montage de la rotule mâle et perçage de 2 trous sur celle-ci. 	<ul style="list-style-type: none"> — 6 pièces, — soudage

- Le module financier consiste à affecter des valeurs monétaires aux grandeurs physiques calculées précédemment.

Ces grandeurs physiques sont représentatives du processus réel. Le calcul de rentabilité comparatif entre technologie laser et autres technologies possibles repose donc sur une évaluation des différences (physiques) entre les processus réellement en oeuvre pour chaque technologie. La procédure de calcul de rentabilité comparative est donc issue d'une procédure comptable analogue à celle préconisée par le CAM-I.

En conclusion il convient de souligner que la méthode de management du changement technique proposée ainsi que les outils "d'évaluation technico-économique" doivent être adaptés à la complexité de l'application et de la machine laser considérée. Dans les cas les plus simples (application connue, rentabilité économique évidente, machine laser simple et répandue dans l'industrie), l'application de la méthode et les calculs d'évaluation seront eux-mêmes simplifiés.

4. BIBLIOGRAPHIE

(1) BEATTY C.A., "Implementing Advanced Manufacturing Technologies : Rules of the Road" Sloan Management Review, Summer 1992.

(2) FOSTER R., "L'innovation : avantage à l'attaquant" Interéditions, 1986.

(3) GIARD V., "Une comptabilité de gestion en crise" in ECOSIP, opus cité.

(4) KAPLAN R.S., "Yesterday's accounting undermines production" Harvard Business Review, 1984.

(5) KAPLAN R.S., "Must CIM be justified by faith alone" Harvard Business Review, March-April 1986.

(6) LAMBERT G., LARUE DE TOURNEMINE R., NANOPOULOS P., "Economie et Gestion dans l'insertion de l'outil laser" in Etude MRE "Insertion de l'outil laser dans les entreprises", Avril 1993.

(7) LARUE DE TOURNEMINE R., "Stratégies technologiques et processus d'innovation" Les Editions d'Organisation, Collection Campus-Entreprise-Université, 1991.

(8) LARUE DE TOURNEMINE R., "Les lasers d'usinage : Etude d'économie industrielle, de prospective et des stratégies industrielles" publié par l'AREPIT, 1988.

(9) LIKER J.K., FLEISCHER M., ARNSDORF D. "Fulfilling the promises of CAD" Sloan Management Review, Spring 1992.

(10) LORINO Ph., "Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements" in ECOSIP, opus cité.

(11) MOLET H., "Une nouvelle gestion industrielle" Ed. HERMES, 1993.

(12) MORIN J., "L'excellence technologique" Ed. J. Picollec, 1985.

(13) TARONDEAU J.C., "Stratégie industrielle", opus cité.