

Titre: L'impact de l'automatisation sur la manutention : une approche conceptuelle
Title: Conceptual impact of automation on handling

Auteurs: Diane Riopel
Authors:

Date: 1992

Type: Rapport / Report

Référence: Riopel, D. (1992). L'impact de l'automatisation sur la manutention : une approche conceptuelle. (Technical Report n° EPM-RT-92-15).
Citation: <https://publications.polymtl.ca/9675/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/9675/>
PolyPublie URL:

Version: Version officielle de l'éditeur / Published version

Conditions d'utilisation: Tous droits réservés / All rights reserved
Terms of Use:

Document publié chez l'éditeur officiel

Document issued by the official publisher

Institution: École Polytechnique de Montréal

Numéro de rapport: EPM-RT-92-15
Report number:

URL officiel:
Official URL:

Mention légale:
Legal notice:

L'IMPACT DE L'AUTOMATISATION
SUR LA MANUTENTION:
UNE APPROCHE CONCEPTUELLE

Diane RIOPEL

ing., M.Sc.A., D.É.A., Docteure
professeure adjointe

Département de génie industriel
Section production
École Polytechnique

Rapport technique

Août 1992

Tous droits réservés. On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme que ce soit, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'auteur.

**Dépôt légal, 3^e trimestre 1992
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada**

Pour se procurer une copie de ce document, s'adresser:

**Les Éditions de l'École Polytechnique
École Polytechnique de Montréal
C.P. 6079, Succursale A
Montréal (Québec) H3C 3A7
Tél.: (514) 340-4473**

**Compter 0,10 \$ par page et ajouter 3,00 \$ pour la couverture, les frais de poste et la manutention.
Régler en dollars canadiens par chèque ou mandat-poste au nom de l'École Polytechnique de Montréal.**

Nous n'honoreronons que les commandes accompagnées d'un paiement, sauf s'il y a eu entente préalable dans le cas d'établissements d'enseignement, de sociétés ou d'organismes canadiens.

Résumé

Ce rapport technique propose de revoir le contexte général de sélection d'un système de manutention pour l'adapter à celui d'un atelier de sous-traitance en usinage. Il présente une méthode de sélection des équipements de manutention qui incorpore les facteurs influents de ce secteur industriel.

Le modèle proposé effectue le bilan des besoins spécifiques à l'aide d'une approche système. Cette approche met en évidence que les équipements de manutention se définissent à partir de leur futur environnement de fonctionnement et plus spécifiquement à partir des unités de production. Une analyse comparative des besoins de sept niveaux d'automatisation de machine-outil suggère des façons pour planifier la manutention qui doit offrir un service de qualité.

TABLE DES MATIÈRES

	page
Résumé	i
Table des matières	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
1 - Introduction	1
2 - Schématisation	2
3 - Conception d'un plan de manutention	4
3.1 Lien: Produits - Unités de charge	4
3.2 Lien: Équipement de production - Unités de charge	6
3.3 Lien: Produits - Équipements de production	7
3.4 Lien: Équipements de production - Implantation	8
3.5 Lien: Produits - Implantation	9
3.6 Lien: Implantation - Équipements de manutention	10
3.7 Lien: Unités de charge - Équipements de manutention	10
3.8 Lien: Équipements de production - Équipements de manutention	11
4 - Conclusion	29
Bibliographie	30

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1: Schéma traditionnel de conception d'un système de manutention	2
Figure 2: Nouveau schéma de conception d'un système de manutention adapté au secteur de la sous-traitance en usinage	3
Figure 3: Représentation à l'aide de CPM/PERT des tâches de changement de production pour une machine-outil conventionnelle	15

LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1: Sélection du type d'unité de charge	7
Tableau 2: Typologie d'automatisation des machines-outils	12
Tableau 3: Équation du temps de changement de production selon les niveaux d'automatisation des machines- outils	17
Tableau 4: Catégories d'équipements de manutention en fonction de leur degré d'automatisation et de leur besoin d'un conducteur avec exemples	25
Tableau 5: Proposition de classification des équipements de manutention en fonction de leurs aléas de fonctionnement	28

1 - INTRODUCTION

Ce rapport technique propose de revoir le contexte général de sélection d'un système de manutention pour l'adapter à celui d'un atelier de sous-traitance en usinage. Il présente une méthode de sélection des équipements de manutention qui incorpore les facteurs influents de ce secteur industriel.

Dans un premier temps, il est proposé une nouvelle schématisation du processus de sélection des équipements de manutention inspirée des modèles traditionnels. Cette nouvelle schématisation incorpore les exigences particulières des ateliers de sous-traitance en usinage.

Il est surprenant de constater que lors de la sélection des équipements de manutention, peu ou même aucune distinction n'est faite entre les divers degrés d'automatisation des machines-outils. L'objectif de ce rapport est de démontrer que l'automatisation des machines-outils a un effet significatif sur la manutention dépendant du niveau d'automatisation de ces machines et plus spécifiquement sur les tâches que le système de manutention doivent assurer. Dans un contexte de conduite en temps réel, comme il est préconisé dans les systèmes manufacturiers flexibles, ces tâches prennent de plus en plus d'importance (Pourbabai, 1988).

Il est présenté dans ce rapport, en détail, toutes les justifications de cette nouvelle schématisation et le processus de sélection qui en émerge.

2 - SCHÉMATISATION

En s'inspirant de l'équation de manutention de J.M. Apple (1977) et de la méthode SHA de R. Muther (1969), il est possible de schématiser les liens entre les cinq éléments-clés de la conception d'un système de manutention d'une usine (voir la figure 1). Cette représentation est conforme aussi aux autres méthodes de sélection des équipements de manutention qui utilisent les systèmes experts (Malmborg et al. 1989) (Fisher et al. 1988).

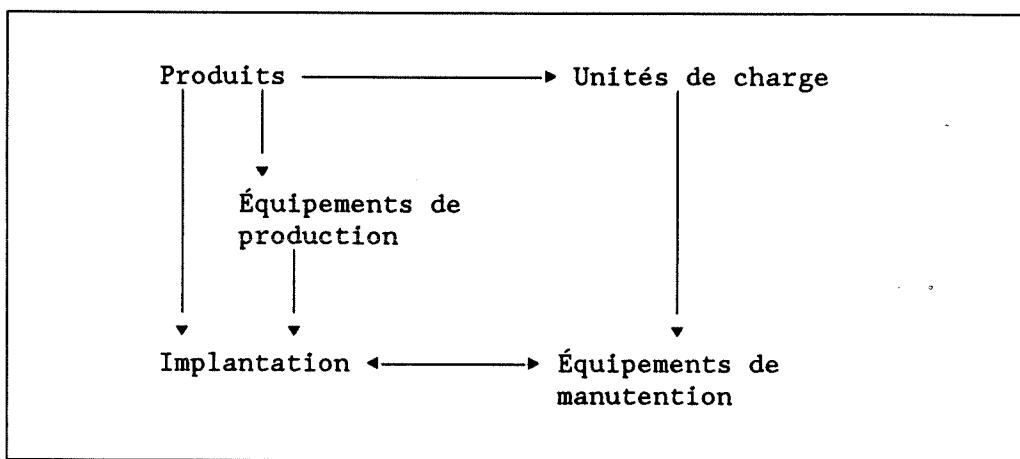


Figure 1: Schéma traditionnel de conception d'un système de manutention

Nous proposons d'ajouter deux liens à ce schéma pour le cas particulier de la sous-traitance en usinage lors de la conception d'un système de manutention (voir la figure 2). Ces additions originent:

- soit de la nature spécifique du secteur industriel de la sous-traitance en usinage;
- soit du degré d'automatisation des cellules de production.

Les nouveaux liens permettent de choisir adéquatement les équipements de la fonction manutention.

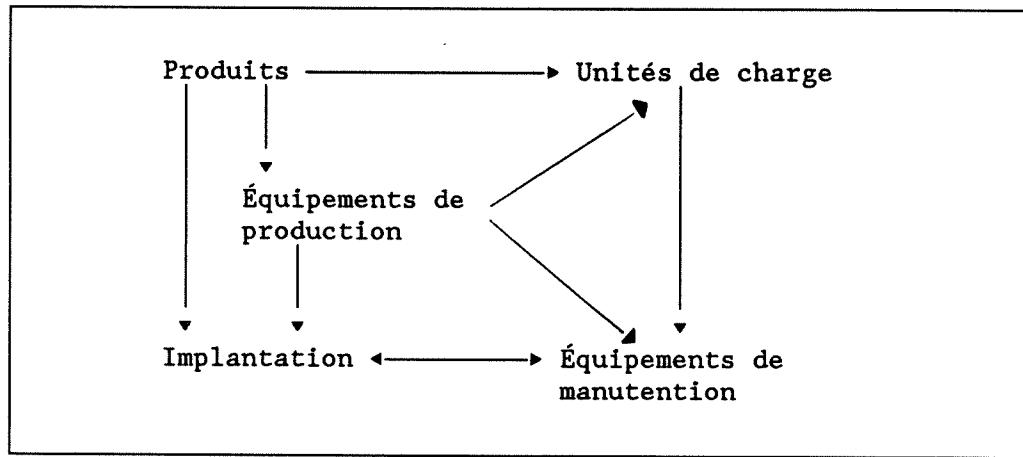


Figure 2: Nouveau schéma de conception d'un système de manutention adapté au secteur de la sous-traitance en usinage

3 - CONCEPTION D'UN PLAN DE MANUTENTION

La conception d'un plan de manutention consiste à sélectionner tous les équipements de manutention requis dans un atelier. Elle est influencée par un ensemble d'exigences que l'on peut exprimer en termes de liens. Ces exigences ou liens entre les cinq principaux éléments d'un système manufacturier dans lequel les équipements de manutention évolueront, sont justifiés, ci-après, un à un.

3.1 Lien : Produits - Unités de charge

L'unité de charge se décrit comme étant un produit ou un ensemble de produits déposés dans un contenant, sur un support ou arrimés entre eux pour fins de manutention ou d'entreposage. Elle est établie à partir des caractéristiques physiques des produits: leurs dimensions, leurs poids et le nombre de pièces à transformer par séries. Une analyse de sensibilité de la taille de l'unité de charge pour évaluer son effet considérant les temps de manutention, les temps de préparation des unités et les temps de transformation sur le temps total de réalisation de la série a été effectuée par Egbelu (1991).

Une unité de charge est à spécifier non seulement pour les produits à l'état de matières premières, de produits en cours et de produits finis mais aussi pour les outils et les outillages. Des unités de charge sont à définir pour tout ce qu'il y a à transporter dans l'usine.

Lors de la détermination des caractéristiques dimensionnelles des supports de transport dans les ateliers d'usinage, il doit être vérifié si une seule sorte de support au vu du système de manutention est possible, car toute la conception du système de manutention s'en trouve simplifiée. La recherche du nombre minimal de types de support offre les avantages de simplifier leur gestion, de réduire les spécifications du cahier des charges du système de transfert entre l'équipement de manutention et les unités de production et de maximiser leur disponibilité en minimisant les investissements requis. Ce sont les principaux avantages de la standardisation (Riopel et al. 1988).

En usinage, les trois types d'unités de charge les plus rencontrés pour la manutention des pièces sont:

- 1 - la caisse dans laquelle les pièces sont déposés en vrac;
- 2 - le plateau sur lequel sont déposés des pièces, sur une seule couche et en vrac;
- 3 - le plateau sur lequel sont déposées des pièces orientées sur une seule couche.

La sélection du type d'unités de charge parmi ces trois est imposée par la nature et les exigences technologiques des équipements de production comme il est vu au lien suivant.

Dans le cas de la sous-traitance, il a été constaté (Riopel, 1989) que les entreprises ont une connaissance limitée des produits qu'elles

réaliseront dans les mois à venir. Ainsi, ce n'est pas seulement à partir de l'analyse des produits que l'on peut définir parfaitement les caractéristiques des unités de charge nécessaires.

3.2 Lien : Équipements de production - Unités de charge

Dans une entreprise de sous-traitance en usinage, les services de fabrication et de mesure offerts sont limités par la précision et par l'enveloppe spatiale de l'aire de travail de chacun des équipements de production. Ainsi, les unités de charge ne doivent, en aucun cas, être en deça de l'enveloppe spatiale maximale de l'aire de travail des équipements constituant le parc machines pour ne pas imposer des limites supplémentaires aux services offerts par l'atelier.

Le degré d'automatisation des machines-outils impose lui aussi des contraintes sur les choix possibles parmi les trois types d'unités de charge les plus courants, décrits à la section précédente. Nous proposons, pour les différents degrés d'automatisation des machines-outils, un type particulier d'unité de charge. La proposition apparaît au tableau 1. La correspondance a été établie en considérant les contraintes technologiques de l'automatisation des tâches et la recherche du coût minimum. La difficulté technologique réside dans la saisie des pièces et elle impose actuellement un arrangement spatial des pièces dans le support de manutention. Il est à remarquer que la dernière technologie mentionnée, demandant un système de vision de très haute gamme, n'est pas

encore disponible commercialement.

Tableau 1: Sélection du type d'unité de charge

DESCRIPTION DE L'UNITÉ DE PRODUCTION	TYPE D'UNITÉ DE CHARGE
Machine-outil conventionnelle	Caisse de pièces en vrac
Machine-outil à commande numérique	Caisse de pièces en vrac
Machine-outil à commande numérique avec système de bridage automatique de pièces avec robot manipulateur	Plateau avec pièces orientées sur une seule couche
Machine-outil à commande numérique avec système de bridage automatique de pièces avec robot manipulateur et système de vision	Plateau avec une couche de pièces en vrac
Machine-outil à commande numérique avec système de bridage automatique de pièces avec robot manipulateur nanti d'un système de vision de très haute gamme	Caisse de pièces en vrac

3.3 Lien : Produits - Équipements de production

Les gammes de fabrication des produits, la taille des séries de pièces, leurs possibilités de répétition et leur niveau de précision permettent de déterminer la nature, le degré d'automatisation et le nombre de machines-outils et de machines à mesurer requises pour satisfaire la demande du marché visé. Le degré d'automatisation des machines-outils est souvent imposé aussi par le niveau de qualité souhaitée.

Pour une entreprise de sous-traitance, le marché visé permet

d'établir les paramètres de décision à l'achat du parc machines. Il est alors possible de s'assurer que les services offerts répondent aux besoins d'une clientèle suffisante à la rentabilité de l'atelier.

Spécifiquement pour les ateliers flexibles des modèles de choix de machines-outils ont été développés par Gharbi (1992). Ils prennent en compte les temps de réalisation des divers usinages, des taux de défaillance et des taux de rejets.

3.4 Lien : Équipements de production - Implantation

Une implantation d'atelier est le résultat de l'ordonnancement physique dans un certain espace des produits, de la main-d'œuvre, des équipements de production pour permettre de fabriquer aussi efficacement et économiquement que possible un produit fini de qualité voulue.

Pour mener à bien un mandat d'implantation d'atelier d'usinage, il est nécessaire de connaître les caractéristiques physiques des équipements de production. Elles permettent, entre autres, de calculer les espaces requis de l'atelier. Elles apportent des renseignements pour concevoir le modèle de circulation des matériaux d'où découle l'établissement des caractéristiques des routes empruntées par les outils, les outillages et les produits et plus spécifiquement l'arrangement spatial des entrées et des sorties des équipements de production.

Pour les ateliers flexibles, il a été inventorié par Heragu et Kusiak (1990) quatre formes d'implantation où les machines-outils sont placées : en ligne, en demi-cercle, en épine dorsale et en multi-rangées.

3.5 Lien : Produits - Implantation

Les gammes de fabrication des produits donnent la séquence de passage des produits sur les machines-outils. Cette information constitue l'élément de base pour concevoir l'implantation de l'atelier. Une implantation est jugée bonne si la circulation des produits, de l'entrée des matières premières à la sortie des produits finis se réalise de façon à ce que les coûts totaux soient minimisés sur une période de temps donné.

Ici encore, il ne faut pas oublier les outils et les montages d'usinage et de mesure dans l'élaboration du modèle de circulation des ateliers flexibles de sous-traitance en usinage. Il est recommandé de développer des diagrammes de déroulement-matières des produits, des outils et des montages. Ces diagrammes permettent de tracer un premier modèle de circulation. Avec eux, il est facile d'inventorier toutes les routes à créer entre les cellules de production et les entrepôts lors de la conception de l'implantation du dit atelier.

3.6 Lien : Implantation - Équipements de manutention

Ce lien est à double sens : l'implantation générée impose des contraintes aux équipements de manutention, pour ne mentionner que les espaces disponibles au sol, les hauteurs libres; tout comme les équipements de manutention sélectionnés peuvent obliger des modifications au plan de l'implantation, par exemple : besoins d'élargir les allées de circulation pour faciliter les virages des chariots à cause de leurs rayons de braquage.

3.7 Lien : Unités de charge - Équipements de manutention

La nature et les caractéristiques physiques des unités de charge restreignent la sélection des équipements de manutention potentiels. Tous les équipements de manutention ne sont pas adaptés à manutentionner tous les types d'unités de charge. La sélection de l'unité de charge et la détermination des caractéristiques physiques du support de manutention doivent être antérieures à la sélection des équipements de manutention.

De plus, des travaux de Mahadevan et Narendran (1992) proposent une heuristique pour sélectionner un système automatique de chariots liée à la détermination de la taille de l'unité de charge. En effet, le nombre de chariots requis est fonction de la taille des unités de charge des produits à usiner.

3.8 Lien : Équipements de production - Équipements de manutention

Les équipements de manutention interagissent avec les équipements de production lors des changements de production. Les changements de production sont des tâches importantes dans les ateliers flexibles. Ils influencent l'indice de flexibilité qui caractérise les systèmes flexibles, aussi connu comme le "process flexibility" selon la classification d'Azzone et Bertèle (1989). Cette tâche est aussi un élément-clé pour réussir des systèmes de production juste-à-temps. (Mondem, 1983). Un examen détaillé des différents degrés d'automatisation de machines-outils permet de dégager leur influence sur les services de support nécessaires pour assurer les gains de productivité escomptés.

Pour définir ou évaluer un système manufacturier flexible, très peu de différence est faite entre les diverses configurations d'interfaces flexibles qu'offrent les constructeurs de machines-outils. Froment et Lesage (1984) et le Syndicat de la machine-outil, de l'assemblage et de la productique associée (Faidherbe, 1988) ont identifié quelques configurations types. Par contre, très peu d'essais ont été faits pour classifier les machines-outils en terme de leur degré d'automatisation ou de leur effet sur les besoins d'organisation des ateliers.

Une variété de magasins d'outils et de magasins de palettes avec système d'échange sont disponibles sur le marché (WMW-Export-Import (1985) Makino (1985) Oerlikon-Boehringer (1984) Werner (1985)). Nous proposons une typologie qui inclut sept niveaux d'automatisation de machines-outils.

Voir le tableau 2.

Tableau 2 : Typologie d'automatisation des machines-outils

NIVEAU	DESCRIPTION
1	Machine-outil conventionnelle
2	Machine-outil à commande numérique
3	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils
4	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils
5	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et magasin de palettes
6	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils et magasin de palettes
7	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils et magasin de palettes avec système automatique d'alimentation en pièces

Niveau 1 : Machine-outil conventionnelle

En appliquant la technique d'étude des temps et mouvements au changement de production pour les machines-outils de niveau 1, la relation suivante peut être faite:

$$TC = to + tm + tp + ti + tr + \epsilon \quad (1)$$

où:

TC: temps de changement de production

to: temps d'échange des outils
 tm: temps d'échange des montages
 tp: temps d'échange des pièces
 ti: temps de transfert des informations
 tr: temps de réglage
 ϵ : la somme de toutes les pertes de temps dues aux aléas de fonctionnement, $\epsilon > 0$.

Ce temps de changement de production peut prendre différentes valeurs selon la répartition des tâches entre les intervenants et le degré d'automatisation de la machine-outil. Les tâches de changement de production d'une machine-outil conventionnelle peuvent être facilement réparties entre deux individus : un opérateur et un manutentionnaire, pour accroître les taux d'utilisation de la machine-outil. Dans ce cas, les tâches de l'opérateur sont les suivantes :

to_{i-1} : démonter l'outil de la production précédente
 tm_{i-1} : démonter le montage de la production précédente
 to_i : installer l'outil de la prochaine production
 tm_i : installer le montage de la prochaine production
 ti : consulter le contrat de phase de la prochaine production
 tr : régler l'outil

Alors, le temps minimum requis pour effectuer un changement de production est donné par l'équation :

$$TC = to_{i-1} + tm_{i-1} + to_i + tm_i + ti + tr \quad (2)$$

Et, les tâches du manutentionnaire sont les suivantes :

- $t_{tp_{i-1}}$: aller porter au magasin la caisse des produits de la production précédente.
- t_{pp} : déplacer la caisse vide de l'entrée vers la sortie
- t_{tp_i} : aller chercher au magasin la caisse des produits de la prochaine production
- $t_{to_{i-1}}$: aller porter au magasin l'outil de la production précédente
- t_{to_i} : aller chercher au magasin l'outil de la prochaine production
- $t_{tm_{i-1}}$: aller porter au magasin le montage de la production précédente
- t_{tm_i} : aller chercher au magasin le montage de la prochaine production

Les tâches du manutentionnaire doivent être synchronisées avec celles de l'opérateur pour ne pas retarder ce dernier.

Ainsi :

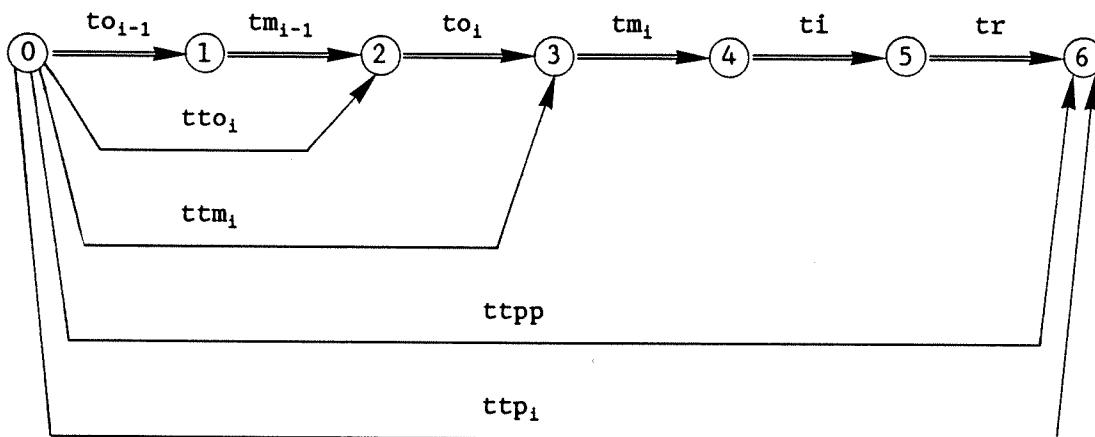
- t_{to_i} doit être complétée avant to_i
- t_{tm_i} doit être complétée avant tm_i
- $t_{pp}, t_{tp_i}, t_{tp_{i-1}}$ doivent être complétées avant la fin de TC.

Si aucun retard ne doit être engendré par le manutentionnaire et s'il est prévenu que la production est complétée à la fin réelle de celle-ci et si l'opérateur effectue les tâches dans la séquence décrite dans le TC, alors

$$t_{to_i} + t_{tm_i} + t_{pp} + t_{tp_i} \leq TC \quad (3)$$

Les autres tâches du manutentionnaire peuvent être faites après le TC sans

trop de retard pour ne pas déranger l'opérateur lors de la réalisation de la prochaine production et sans occuper trop d'espace autour de la machine-outil (espace occupé par la caisse des produits de la production précédente). La solution ne doit pas passer par la création de zones d'accumulation importantes aux abords de la machine-outil, lorsque les entreprises veulent abaisser leurs stocks d'en cours et leurs immobilisations. Les contraintes d'antériorités imposées durant un changement de production peuvent être représentées en utilisant la technique d'ordonnancement de projet CPM/PERT (voir la figure 3).



Légende : = tâches réalisées par l'opérateur
 — tâches réalisées par le manutentionnaire

Figure 3: Représentation à l'aide de CPM/PERT des tâches de changement de production pour une machine-outil conventionnelle

Niveau 2 : Machine-outil à commande numérique

La modification majeure des tâches de changement de production de ce type de machine-outil avec la machine-outil conventionnelle, réside dans la tâche de transfert d'informations. Il faut assurer le transport des rubans de programmation et la lecture de ceux-ci par la machine-outil en l'absence de liaison directe entre l'ordinateur et la commande numérique. Si la liaison directe existe, le temps de transmission t_i est réduit à une valeur infime ($t_i \rightarrow 0$). De plus, les tâches de réglage sont plus rapides à exécuter que sur une machine-outil conventionnelle.

Dans le cas de la présence d'un manutentionnaire, le TC étant réduit, les tâches associées aux tto_i , ttm_i , $ttpp$, $ttpl_i$ sont soumises à un temps disponible plus court si l'on ne veut pas engendrer aucune perte de temps. Ainsi le temps de changement de production minimum en présence d'un manutentionnaire devient égal à l'équation qui apparaît au tableau 3.

Tableau 3: Équation du temps de changement de production selon les niveaux d'automatisation des machines-outils

NIVEAU	DESCRIPTION	ÉQUATION
1	Machine-outil conventionnelle	$to_{i-1} + tm_{i-1} + to_i + tm_i + ti + tr$
2	Machine-outil à commande numérique	$to_{i-1} + tm_{i-1} + to_i + tm_i + tr$
3	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils	$to_{i-1} + tm_{i-1} + to_i + tm_i + tr$
4	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils	$tm_{i-1} + tm_i + tr$
5	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et magasin de palettes	$to_{i-1} + to_i + tep$
6	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils et magasin de palettes	$to_{i-1} + to_i + tep$
7	Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils et magasin de palettes avec système automatique d'alimentation en pièces	$to_{i-1} + to_i + tep$

Niveau 3 : Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outil

La taille du magasin local d'outils impose des exigences lors du choix de l'unité de charge pour leur manutention et, par conséquent, de l'équipement de manutention. Si tous les outils sont transportables en une seule unité de charge, alors l'agencement des tâches revient au cas précédent. Mais si le chargement du magasin d'outils ne peut être assuré en un seul voyage, le système de manutention sera sollicité au nombre de voyages nécessaires. Ainsi le t_{to_i} est multiplié par le nombre de voyages aller et retour entre le magasin d'outillage de l'atelier et la machine-outil.

Si le temps total des tâches critiques du manutentionnaire est supérieur au temps de changement de production minimum (somme des tâches réalisées par l'opérateur), c'est-à-dire que :

$$(t_{to_i} + t_{tm_i} + t_{tpp} + t_{tp_i}) > (t_{o_{i-1}} + t_{m_{i-1}} + t_{o_i} + t_{m_i} + t_r)$$

le temps associé à la tâche d'aller chercher au magasin les outils pour la prochaine production (t_{to_i}) peut être réduit au vu de la machine-outil en multipliant le nombre de manutentionnaires (limité par le nombre maximal de voyages nécessaires) pour ne pas la faire attendre inutilement. Mais si le TC minimum est plus court que les temps requis par les manutentionnaires, les missions devront débuter avant la fin de la production en cours.

Niveau 4 : Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils ou par échange de magasin local d'outils

Pour ce qui est du magasin local d'outils, les commentaires du niveau précédent s'appliquent. Mais pour le régénérateur du stock d'outils, il peut être apporté et installé même si la production est redémarrée. La mise en place des outils, dans ce magasin auxiliaire, se réalise alors en temps masqué. Dans le cas contraire, les tâches de changement de production s'apparentent au cas du niveau précédent où plus d'un voyage est requis.

Niveau 5 : Machines-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et magasin de palettes

À cause du poids d'un montage d'usinage ou d'une palette porte-pièce nantie d'un montage d'usinage (si les palettes sont détachables du magasin), il est fort probable que le nombre de voyages nécessaires soit égal au nombre de palettes porte-pièces contenues dans le magasin.

Le temps associé à la tâche d'aller chercher au magasin les montages pour la prochaine production (ttm_i) se trouve multiplié par le nombre de places du magasin de palettes. Ici aussi le ttm_i peut être réduit, au vu de la machine-outil, en augmentant le nombre de manutentionnaires. Mais à la différence que la production peut démarrer lorsqu'une palette est prête. Un seul manutentionnaire peut être affecté à cette machine-outil

si le temps pour échanger une palette (démontage de la palette de la production précédente, manutention aller-retour au magasin d'outillage, montage de la palette de la prochaine production) est inférieur au temps d'usinage des "x" palettes du magasin prêtes à être usinées.

Il est à remarquer que les tâches d'échange de palettes peuvent débuter avant la fin réelle d'une production si plus d'un montage identique est installé dans le magasin.

Si les temps de démontage et de montage sur une nouvelle palette sont inférieurs au temps d'usinage de la palette en cours, alors le temps de changement de production est égal à l'équation qui apparaît au tableau 3.

Dans cette équation, il faut noter que le temps de réglage est disparu car cette tâche peut être exécutée sur un banc de réglage extérieur à la machine-outil. Le temps tep représente le temps associé aux mouvements des palettes porte-pièces pour leur sortie et leur entrée dans l'aire de travail de la machine-outil.

Dans l'équation du temps de changement de production qui apparaît au tableau 3, il faut noter que les deux premières tâches sont effectuées par l'opérateur et la troisième par la machine-outil.

Niveau 6 : Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils ou par échange de magasin d'outils et magasin de palettes

Ce type de machine-outil permet la mise en place des outils et des palettes porte-pièces en temps masqué comme pour les machines-outils vues aux deux niveaux précédents. Le nombre de voyages nécessaires dépend du nombre d'outils et du nombre de palettes porte-pièces pouvant être manutentionnés à chaque voyage. Voir l'équation du changement de production au tableau 3.

Les trois tâches de l'équation du changement de production (voir le tableau 3) sont effectuées par la machine-outil.

Niveau 7 : Machine-outil à commande numérique avec magasin local d'outils et avec régénérateur automatique de stock d'outils ou par échange de magasin d'outils et magasin de palettes avec système d'alimentation en pièces.

Avec un tel système d'alimentation en pièces, il n'existe plus d'opérateur sur le site d'usinage. Le manutentionnaire doit assurer la livraison d'outils, des palettes porte-pièces et des pièces. L'échange le plus contraignant est celui des pièces, car seul cet échange ne peut être effectué qu'à la fin complète de la présente série. C'est le plateau avec pièces orientées en une seule couche qui est utilisé au lieu d'une caisse avec pièces en vrac.

L'examen de l'activité de changement de production sur la proposition de typologie de machines-outils nous permet de mettre en évidence que :

- plus le niveau d'automatisation des machines-outils est élevé, plus il y a de tâches élémentaires pouvant être réalisées en temps masqué et si elles sont réparties entre plusieurs intervenants cela réduit d'autant le temps total d'un changement de production;
- plus le niveau d'automatisation des machines-outils est élevé, plus le temps machine de changement de production est court, ce qui réduit de fait le temps masqué disponible et qu'il faut même, dans certain cas, anticiper la fin effective d'une production pour lancer les missions de manutention pour conserver le temps de changement de production égal au temps machine de changement de production.

Ainsi pour juger de la qualité de service d'équipement de manutention, il faudrait connaître le temps de mission de chaque équipement.

Le temps de mission s'exprime comme suit:

$$t_{mission} = tt + \epsilon_t$$

où

tt : le temps de déplacement de l'origine à la destination
(incluant le temps de prise et de dépose de la charge)

ϵ_t : la somme de tous les temps qui augmentent le temps de mission à une valeur supérieure à tt .

La congestion des circuits ne peut pas être considérée à ce stade. Tous les équipements n'étant pas encore connus, il n'est pas possible d'évaluer l'effet du trafic. La présence de plusieurs équipements de manutention sur la route ou la portion de route à l'étude à un instant donné peut engendrer des retards au temps de déplacement calculé (Groover 1987).

L'équation générale de ϵ_t est:

$$\epsilon_t = \sum_{i=1}^n p_i d_i$$

où:

p_i : probabilité de l'élément perturbateur i

d_i : durée de l'élément perturbateur i

Lors de l'avènement d'un élément perturbateur, telle une panne mécanique qui implique une interruption de service assez importante, il y aura remplacement de l'équipement par un autre identique ou par un équipement de dépannage. Alors l'équation devient:

$$\epsilon_t = \sum_{i=1}^n p_i d_i + c$$

où:

c : le temps de remplacement de l'équipement de manutention en panne.

À défaut de pouvoir calculer tous les temps de mission, il faudrait avoir accès à un indice d'évaluation de la fiabilité du temps de mission de tous les équipements de manutention pour la route ou le regroupement de routes considérées.

Pour concevoir un indice, il est nécessaire d'avoir accès à un champ expérimental très vaste ainsi qu'à un parc imposant d'équipements. Mais à défaut d'avoir une valeur réelle, il est souhaitable de développer un indice qui représente l'ordre de grandeur de la valeur de ϵ_t , élément sur lequel il est souhaitable d'avoir un certain contrôle.

Dans un premier temps, il est possible d'établir un certain ordonnancement à caractère qualitatif avant l'obtention de données chiffrées plus précises. Ce classement peut se réaliser par une estimation d'après le nombre et l'importance relative des éléments potentiellement perturbateurs inclus dans la définition du temps de mission.

Nous proposons, au tableau 4, un essai d'établissement de sept catégories d'équipements de manutention basées sur leur degré d'automatisation et leur besoin d'un conducteur.

Nous avons relevé que, pour ces sept catégories, il y a quatre principales sources d'aléas de fonctionnement: l'augmentation du coefficient de friction des surfaces de contact lorsque la gravité est utilisée comme énergie de déplacement, les défaillances des éléments

Tableau 4 : Catégories d'équipements de manutention en fonction de leur degré d'automatisation et de leur besoin d'un conducteur avec exemples

Catégories	Exemples
Équipement sans aucune partie mobile	toboggan
Équipement avec partie mobile, non motorisé, non accompagné	convoyeur à rouleaux, ou à galets par gravité
Équipement avec partie mobile, non motorisé, conducteur à pied	socle roulant, transpalette manuel
Équipement motorisé, non accompagné	convoyeur aérien à simple voie
Équipement motorisé, conducteur à pied	transpalette motorisé
Équipement motorisé, conducteur porté	chariot élévateur à fourche
Équipement motorisé, automatique, programmable, non accompagné	système automatique de chariots

mobiles des équipements non motorisés, les défaillances mécaniques des équipements motorisés, les défaillances logicielles imputables tant aux automates programmables, aux micro-processeurs, aux ordinateurs centraux qu'aux logiciels des équipements programmables et les différents aléas associables au personnel accompagnant.

Lorsque les équipements doivent être dirigés par un conducteur, il est nécessaire de différencier le cas où le conducteur accompagne l'équipement à pied de celui où il est porté debout ou assis. Les vitesses de déplacements ne peuvent être imposées et contrôlées de la même façon. Si l'équipement de manutention est non motorisé, le temps d'exécution peut varier du temps estimé à cause de la force physique du manutentionnaire. Pour ce qui est de la vitesse de déplacement, lorsqu'un manutentionnaire accompagne un équipement à pied, «il n'est pas rare d'obtenir une précision supérieure à 5% (écart entre temps prévu et temps d'exécution, inférieur à 5%) pour autant que le temps alloué ait été communiqué au manutentionnaire avant exécution de la tâche, car dans le cas contraire, il n'aurait aucune raison de se presser» (Jabot 1977).

L'ordonnancement des sept catégories proposées au tableau 4 est établi d'après le degré d'automatisation des équipements. Mais un ordonnancement, d'après le temps de retard total que peuvent engendrer les aléas de fonctionnement pouvant survenir, serait tout autre. Avec l'hypothèse que les équipements de manutention sont très bien suivis par un programme d'entretien préventif, la probabilité que surviennent des défaillances au niveau des éléments mobiles est très faible et la

probabilité que surviennent des défaillances mécaniques est, elle aussi, très faible. L'augmentation du coefficient de friction est lui aussi contrôlable par des nettoyages appropriés en fonction du taux de salissure de l'environnement de travail. Pour ce qui est des défaillances logicielles, leur prévention est plus complexe à assurer. C'est le type de pannes le moins contrôlable, mais un constructeur prétend qu'une flotte composée de quinze véhicules automoteurs sans conducteur devrait tomber en panne une seule fois dans l'année à cause d'une défaillance de son système de contrôle (MHH 1984). Il a été vu plus haut que la fiabilité humaine, si les temps alloués étaient connus, est de l'ordre de 5%. Cette valeur peut croître rapidement si la fonction manutention n'est pas organisée et si les manutentionnaires ne reçoivent pas de directives précises.

Avec ces renseignements, il nous est maintenant possible de proposer la classification qui apparaît au tableau 5. La probabilité de rencontrer le temps alloué à une mission spécifique décroît en progressant dans cette liste. Il faut remarquer que si l'on choisit un équipement appartenant aux quatre premières catégories, la fonction manutention est organisée, car toutes les routes se trouvent déterminées et les vitesses de déplacements sous contrôle. Pour les trois dernières catégories, la fiabilité de la fonction manutention dépend beaucoup de la nature des directives transmises au personnel accompagnant et au respect qu'il y porte.

Tableau 5 : Proposition de classification des équipements de manutention en fonction de leurs aléas de fonctionnement

Catégories	Aléas de fonctionnement
Équipement sans aucune partie mobile	augmentation du coefficient de friction
Équipement avec partie mobile, non motorisé, non accompagné	augmentation du coefficient de friction défaillance des éléments mobiles
Équipement motorisé, non accompagné	défaillance mécanique
Équipement motorisé, automatique, programmable, non accompagné	défaillance mécanique défaillance logicielle
Équipement avec partie mobile, non motorisé, conducteur à pied	fiabilité humaine défaillance des éléments mobiles
Équipement motorisé, conducteur à pied	fiabilité humaine défaillance mécanique
Équipement motorisé, conducteur porté	fiabilité humaine défaillance mécanique

4 - CONCLUSION

L'approche système qui a servi à faire le bilan des facteurs influents, a mis en évidence que les équipements de manutention se définissent à partir de leur futur environnement de fonctionnement et plus spécifiquement à partir des besoins des unités de production. La manutention est une fonction de service dérivée de la fonction de production de qui son paramétrage dépend. Elle ne peut être traitée comme une entité en soi.

Le contexte particulier de la sous-traitance en usinage oblige de sélectionner le système de manutention et d'entreposage à partir des services que l'entreprise peut offrir aux donneurs d'ordres limités par son parc de machines-outils et de machines à mesurer. Cette sélection ne peut être réalisée sans qu'une analyse détaillée des activités des changements de production soit faite pour assurer une parfaite adéquation entre les équipements de manutention retenus et les unités de production.

BIBLIOGRAPHIE

Apple, J.M., 1977, "Plant Layout and Material Handling", Éditions John Wiley & Sons, 448 pages.

Azzone, G., Bertèle, U., 1989, "Measuring the economic effectiveness of flexible automation a new approach", Int. J. Prod. Res., vol. 27, pp.735-746.

Egbelu, P.J., 1991, "Batch production time in a multi-stage system with material-handling consideration", Int. J. Prod. Res., 30(4) : 695 - 712.

Faidherbe, G., 1988, "MOCN aide au choix et à l'achat", CETIM, Paris.

Fisher, E.L., Farber, J.B., Kay, M.G., 1988, "MATHES: A expert system for material handling equipment selection", Engineering Costs and Production Economics, no. 14, pp. 297-310.

Froment, B., Lesage, J.J., 1984, "La productique: les techniques de l'usinage flexible", Dunod, Paris.

Gharbi, A., 1992, "Méthodologie et modèles de design d'atelier flexible d'usinage", thèse de doctorat, Département de génie industriel, École polytechnique, Montréal, 364 pages.

Groover, M.P., 1987, "Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing", Éditions Prentice-Hall, 810 pages.

Heragu, S.S., Kusiak, A., 1990, "Machine layout: an optimization and knowledge-based approach", Int. J. Prod. Res., 28 (4) : 615 -635.

Jabot, R., 1977, "Implantation et manutentions dans les ateliers", Éditions Hommes et Techniques, 268 pages.

Mahadevan, B., Narendran, T.T., 1992, "Determination of unit load sizes in an AGV-based material handling system for an FMS", Int. J. Prod. Res., 30(4) : 909 - 922.

Malmborg, C.J., Krishakumar, B., Simons, G.R., Agee, M.H., 1989, "Exit: a PC-based expert system for industrial truck selection", Int. J. Prod. Res., 27(6) : 927 - 941.

Makino, 1985, "Fabrication flexible en pratique", 6.EMO Hanovre.

MMH, 1984, "AGVS - the capabilities continue to grow", Modern Materials Handling", 9 janvier, p. 56-61.

Mondem, Y., 1983, "Toyota Production System", Industrial Engineering and Management Press, Atlanta.

Muther, R., Haganäs, K., 1969, "Systematic Handling Analysis", Management and Industrial Research Publications, 214 pages.

Oerlikon-Boehringer, 1984, "Cellule de tournage VCF 180 CA et VDF 250 CA, un système flexible d'automatisation Oerlikon-Boehringer", Boe TI 8f/5.84.

Pourbabai, B., 1988, "Analysis and design of an integrated material handling system", Int. J. Prod. Res., 27 : 735 - 746.

Riopel, D., Bassal, F., Villeneuve, L., 1988, "Problématique d'un système de véhicules pour un atelier automatisé flexible iconique", In : Comptes rendus du Neuvième Symposium sur les applications techniques de la mécanique, University of Western Ontario, London, Ontario, 29 au 31 mai 1988, pp. 506-512.

Riopel, D., 1989, "Conception d'atelier automatisé flexible de sous-traitance; fonctions manutention et entreposage", Thèse de doctorat, École Centrale de Paris, France, 260 pages.

Werner, Kolb, 1985, "Flexible automation for drilling and milling".

WMW-Export-Import, 1985, "Flexible Manufacturing Systems from WMW", Nr. 7762/eAg09/190/85.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



3 9334 00289797 1