

**Typologie des réseaux de manutention**

N. Marcoux, D. Riopel

A. Langevin

G-2002-63

Novembre 2002

Les textes publiés dans la série des rapports de recherche HEC n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. La publication de ces rapports de recherche bénéficie d'une subvention du Fonds F.C.A.R.

# **Typologie des réseaux de manutention**

**Nathalie Marcoux**

**Diane Riopel**

**André Langevin**

*GERAD et Département de mathématiques et de génie industriel  
École Polytechnique de Montréal  
C.P. 6079, Succ. Centre-ville, Montréal (Québec), Canada H3C 3A7  
{nathalie.marcoux,diane.riopel,andre.langevin}@polymtl.ca*

Novembre 2002

*Les Cahiers du GERAD*

G-2002-63

Copyright © 2002 GERAD

## Résumé

La majorité des auteurs traitant du problème de design d'implantation d'usine considèrent que la sélection de la configuration du réseau de manutention est faite a priori. Les configurations décrites dans la littérature sont principalement de type classique, c'est-à-dire I, L, T, H, U, X, O et 8. En contexte industriel, les configurations sont généralement plus complexes.

Nous proposons une typologie, basée sur le niveau de complexité, pour classifier les réseaux de manutention. La typologie permet de considérer l'ensemble des réseaux que l'on retrouve en entreprises et de les regrouper en fonction de caractéristiques communes. Ainsi, des modèles ou méthodes de design d'implantation d'usine pourront être judicieusement utilisés pour l'ensemble des configurations d'une même classe de réseaux. La problématique de la variabilité des réseaux de couloirs des entreprises s'en trouve donc minimisée.

D'autre part, nous présentons les résultats d'une enquête sur les réseaux de manutention d'entreprises françaises et québécoises, une première dans la recherche sur le sujet, qui valident la typologie proposée. Cette enquête montre, contre toute attente, qu'il n'y a pas de lien entre le type d'implantation et le type de configuration de réseau de manutention.

**Mots clés :** Implantation d'usine, Configuration du réseau, Réseau de manutention.

## Abstract

Most authors addressing the facility layout problem consider that the selection of the material handling network is done a priori. The material handling network layouts found in the literature are mainly of classical type, i.e. I, L, T, H, U, X, O and 8. In industrial settings, the layouts are usually more complex.

In this article, a typology, based on the level of complexity, is proposed to classify the material handling networks. The typology allows to consider all types of networks found in the industry and to classify them according to common characteristics. Thus, methods and models for facility layout design could be used for all the network layouts in the same class. Variability among the different industrial settings is thus minimized.

A survey on the material handling networks of manufacturers from France and Quebec has been conducted. The results are used to validate the proposed typology. The survey shows surprisingly that there are no links between the type of facility layout and the network layout.

**Key Words:** Facility layout, Material handling, Network design.

## **1. Introduction**

Le design d'implantation d'usine a été abondamment étudié. Celui-ci consiste en l'ordonnancement physique dans un certain espace des matériaux, équipements et personnel pour permettre de produire efficacement et selon les spécifications établies par le marché. Le positionnement relatif d'activités (ou départements ou cellules de travail) dans une usine est fonction des relations de proximité souhaitées (quantitatives, qualitatives, ou les deux) entre chaque paire d'activités. La démarche du concepteur d'une implantation est fortement influencée par la sélection du type d'implantation et la définition du réseau de manutention des matériaux et de circulation du personnel. La stratégie opérationnelle de l'entreprise va se traduire par la sélection du type d'implantation à préconiser. Par la suite, l'aménagement physique de l'implantation nécessite la définition du réseau de manutention et de circulation. Les contraintes et besoins du système de production à élaborer impliquent nécessairement des compromis entre ces deux décisions.

Depuis quelques années, la recherche sur le design d'implantation d'usine a permis d'élaborer de nouveaux types d'implantation comme l'implantation cellulaire décrite dans *New layout configurations for manufacturing facilities* (1998) et les implantations holographique et fractale (micro-usine) décrites par Montreuil et al (1999). Ces implantations s'ajoutent aux implantations dites classiques, c'est-à-dire par produits, par processus opératoires, par familles de produits et par postes fixes décrites par Tompkins et al (1996). Le design du réseau passe par la définition de l'ensemble des segments d'allée pour la manutention des matériaux (incluant la circulation des équipements de manutention) et la circulation du personnel. Cet ensemble comprend tous les circuits utilisés par les équipements mobiles et fixes de manutention (par exemple convoyeurs et transporteurs), qu'ils soient au sol ou non. Tompkins et White (1984) présentent les configurations de réseau I (ou épine dorsale), T et X. En contexte industriel, ces configurations se retrouvent rarement telles quelles; elles sont plutôt combinées entre elles, créant des réseaux plus complexes. Pour leur part, les travaux de Montreuil et Ratliff (1989) mènent à la conception simultanée de l'implantation et du réseau de couloirs de circulation. Cependant, dans un contexte industriel, il peut être préconisé de garder le réseau de couloirs actuel lors d'un réaménagement. Des contraintes physiques comme la hauteur des plafonds ou des portes, la localisation des portes, l'emplacement des colonnes du bâtiment, des contraintes reliées aux équipements de production et de manutention utilisés ou les services longeant les allées actuelles (par exemple, un système de conduits pour la distribution de liquide, gaz ou air comprimé), ont un impact sur le réalisme et l'applicabilité des modèles ou méthodes pour le design d'implantation d'usine. Ces éléments de complexité du réseau et ces contraintes lors d'un réaménagement illustrent la variabilité de la topologie des réseaux de couloirs.

À notre connaissance, il n'existe dans la littérature aucune typologie pour la classification des configurations de réseau. Cette typologie est d'autant plus difficile à établir que les réseaux varient énormément d'une entreprise à l'autre. Le principal objectif de ce travail est l'élaboration d'une typologie associée aux réseaux de manutention. Une telle typologie amène à une standardisation du descriptif des configurations traitées par un modèle ou une méthode de design

d'implantation d'usine. Cette standardisation permet d'étiqueter tout réseau - observé lors d'une étude en entreprise ou défini en recherche - et par la suite, d'établir une relation entre ce réseau et le potentiel d'application de modèles et méthodes spécifiques de design d'implantation d'usine. Ainsi, la génération d'une implantation pour une configuration particulière passe par l'utilisation de modèles ou méthodes dédiés à une configuration de même typologie que la configuration à l'étude, avec possiblement des changements mineurs à apporter aux résultats pour satisfaire les contraintes du système de production à élaborer. Pour valider la typologie proposée, nous avons mené une enquête sur les réseaux de manutention de 52 entreprises de la France et du Québec.

Une hypothèse inhérente à la majorité des modèles ou méthodes de design d'implantation d'usine est la sélection a priori d'une configuration de réseau. Cependant, on ne trouve nulle part de discussion sur ce choix en fonction du type d'implantation préconisé pour le système de production à élaborer. Par exemple, Abdou et Dutta (1990) ont élaboré un système expert dans un contexte d'atelier flexible. Celui-ci permet de sélectionner la configuration du réseau de couloirs sur la base de 4 types d'implantation (quadrillé, épine dorsale simple ou double, et circulaire) et d'autres paramètres, mais la réalité industrielle peut être tout autre. Un deuxième objectif de notre enquête est d'identifier les liens entre le type d'implantation et le type de configuration de réseau de manutention. Les résultats de l'enquête ont été analysés, entre autre, en fonction de la taille des entreprises.

La suite de l'article est divisée en 4 sections. À la section 2, nous présentons la typologie en incluant la définition d'une terminologie associée aux configurations. À la section 3, nous identifions les paramètres à l'étude et nous présentons le profil des entreprises observées : 21 françaises et 31 québécoises. Les résultats de l'enquête sont présentés à la section 4 : d'abord la validation de la typologie proposée, puis une série d'observations, incluant une analyse des liens entre les types d'implantation et les configurations de réseau, ainsi qu'un comparatif France-Québec. Suit la conclusion qui identifie différentes voies de recherche à explorer à partir de ces premiers constats.

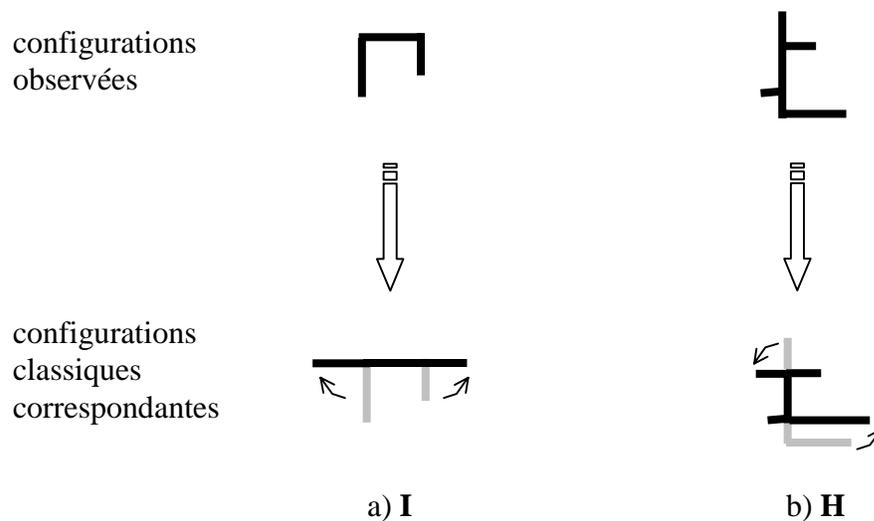
## 2. Typologie

Un réseau de manutention et de circulation est composé de segments d'allée reliés entre eux et dont l'agencement correspond à une configuration particulière. Les segments d'allée qui sont utilisés uniquement par le personnel, comme une passerelle au-dessus d'un équipement de manutention fixe au sol, ne sont pas pris en compte dans ce travail.

La majorité des auteurs proposant des algorithmes pour le problème de design d'implantation d'usine utilisent l'approche d'implantation par blocs. La particularité de cette approche est que les problématiques relatives aux réseaux de manutention et de circulation ne sont pas considérées lors de la génération de l'implantation. Depuis le milieu des années 70, certains travaux associés au design d'implantation d'usine ont considéré une configuration particulière de réseau (souvent l'épine dorsale simple ou double), voir par exemple les travaux d'Adolphson et Hu (1973), Love

et Wong (1976), Houshyar (1991), Picard et Queyranne (1981), Beghin-Picavet et Hansen (1982), Heragu et Kusiak (1988), Langevin et Riopel (1991), Langevin et al (1994) et Kouvelis et al (1995). Plus récemment, Cheng et al (1996) et Delmaire et al (1997) ont étudié d'autres configurations comme le O et le T. Les configurations que l'on retrouve dans la littérature, c'est-à-dire I, L, T, H, U, X, O et 8, sont dites de type classique.

Dans notre définition d'une typologie de configurations de réseaux, nous avons dû prendre en compte les similarités topologiques de certains types de réseaux. Pour toute implantation réelle, les contraintes physiques et dimensionnelles imposent souvent d'adapter une configuration classique. La subdivision, la réorientation et la variation de la longueur de segments d'allée sont des exemples d'adaptation d'une configuration. Basé sur ce principe d'adaptabilité, les configurations classiques U et L peuvent être considérées comme des configurations I auxquelles des contraintes physiques ou dimensionnelles sont imposées. Aussi, compte tenu des similarités topologiques entre les configurations T et X, seule la configuration X est retenue dans la typologie proposée. Le T peut être considéré comme une variante dégénérée du X. La figure 1 présente deux configurations observées en entreprise où les réseaux de couloirs sont respectivement assimilables à une configuration I et à une configuration H. Ce principe d'adaptabilité est aussi applicable pour le problème d'aménagement cellulaire lorsque la manutention intracellulaire est canalisée. Heragu et Kusiak (1988), et plus récemment Wang et al (1998), étudient ce cas.



**Figure 1. Similarité topologique des configurations**

Le premier élément de classification sur lequel repose la typologie est le **type de configuration**. Nous identifions 3 types de configuration :

- Les configurations **élémentaires** : règle générale, les modèles et méthodes de design d'implantation d'usine utilisent l'une ou l'autre des configurations classiques. Basé sur les principes d'adaptabilité et de similarité topologiques, les configurations classiques retenues pour notre typologie sont les configurations H (configuration de réseau comportant 2 intersections), O, X (configuration de réseau comportant 1 intersection) et I.
- Les configurations **quadrillées** : elles ont, par définition, un grand nombre de segments d'allée reliés entre eux et formant des boucles adjacentes. Ce type de configuration comprend entre autres la configuration classique 8 et est assimilable à un réseau rectilinéaire.
- Les configurations **hybrides** : le réseau est constitué de plusieurs configurations élémentaires ou quadrillées.

Le deuxième élément de classification est associé à la **topologie du réseau**. Un réseau est dit **bouclé** s'il existe plusieurs trajets possibles entre la majorité des paires d'activités; sinon, le réseau est dit **ouvert**.

Un troisième élément de la typologie est l'**étiquette** que l'on attribue à une configuration pour la décrire. Ces étiquettes sont définies comme suit.

- Pour les configurations élémentaires :  $x$ , où  $x = H, O, X$ , ou  $I$ .
- Pour les configurations quadrillées :  $q^i$ , où  $i = 1, 2, \dots$  quantifie le nombre de boucles adjacentes définissant la configuration.
- Pour les configurations hybrides :  $h(y_1^j, y_2^j, \dots)$ , où  $(y_1^j, y_2^j, \dots)$  représente le vecteur des configurations élémentaires ou quadrillées qui composent le réseau. Pour chaque configuration élémentaire composant le réseau, l'exposant  $j$  indique sa fréquence d'apparition. Les composantes du vecteur définissant une configuration hybride sont ordonnées de la configuration la plus élaborée à la plus simple, c'est-à-dire de  $q^i, H, O, X$  à  $I$ .

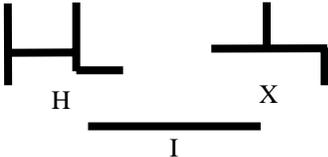
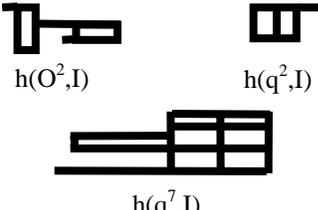
Le tableau 1 présente les éléments de la typologie.

TYPES DE CONFIGURATION	TOPOLOGIE DU RÉSEAU	
	BOUCLÉ	OUVERT
élémentaires - $x$	où $x = O$	où $x = H, X$ ou $I$
quadrillées - $q^i$	où $i = 1, 2, 3, \dots$	
hybrides - $h(y_1^j, y_2^j, \dots)$	où $y_1 = q^i$ ou $O$ $y_i = q^i, H, O, X$ ou $I$ pour $i = 2, \dots$	où $y_i = H, X$ ou $I$

**Tableau 1. Typologie associée aux configurations de réseaux : terminologie et notation**

Des exemples de réseaux observés en entreprise sont schématisés et étiquetés au tableau 2. La description de l'étiquette de chaque configuration du tableau est la suivante :

- O : configuration élémentaire O;
- H : configuration élémentaire H;
- X : configuration élémentaire X;
- I : configuration élémentaire I;
- $q^4$  : configuration quadrillée comportant 4 boucles adjacentes;
- $q^2$  : configuration quadrillée comportant 2 boucles adjacentes;
- $h(O^2,I)$  : 2 configurations élémentaires O indépendantes reliées par une configuration élémentaire I;
- $h(q^2,I)$  : configuration hybride composée d'une configuration quadrillée comportant 2 boucles adjacentes et une configuration élémentaire I;
- $h(q^7,I)$  : configuration hybride composée d'une configuration quadrillée comportant 7 boucles adjacentes et une configuration élémentaire I;
- $h(H,X)$  : configuration hybride composée d'une configuration élémentaire H et X.

TYPES DE CONFIGURATION	TOPOLOGIE DU RÉSEAU	
	BOUCLÉ	OUVERT
élémentaires	 O	 H X I
quadrillées	 $q^4$ $q^2$	
hybrides	 $h(O^2,I)$ $h(q^2,I)$ $h(q^7,I)$	 $h(H,X)$

**Tableau 2. Exemples d'étiquettes de configurations de réseau**

Un parallèle peut être tracé entre la typologie proposée et les configurations utilisées dans le domaine du design de réseau de maintenance de systèmes d'ateliers flexibles. Heragu et Kusiak (1988) sont les pionniers pour la définition des configurations classiques. Il est à noter que leur

implantation semi-circulaire n'est pas considérée ici puisque qu'elle n'est applicable que dans un contexte de manipulation (effectuée par un opérateur ou un robot) et non de manutention. De Guzman et al (1997) définissent cinq types de configurations des déplacements des produits : configuration conventionnelle, configuration tandem, configuration mono-boucle, configuration bi-directionnelle du plus court chemin et la configuration en arborescence ("segmented flow topology"). De ces types, quatre configurations du réseau de couloirs peuvent être tirées. Ho et Moodie (2000) identifient cinq configurations fréquentes. Ganesharajah et al (1998) reprennent la classification de Kusiak (1985) dans leur revue de littérature. Le tableau 3 établit la correspondance entre notre typologie et les configurations définies par ces auteurs.

Typologie proposée	Heragu et Kusiak (1988)	Ho et Moodie (2000)	Ganesharajah et al (1998)	De Guzman et al (1997)
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en épine dorsale simple</li> <li>• en épine dorsale double</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en épine dorsale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en épine dorsale simple</li> </ul>	
O		<ul style="list-style-type: none"> <li>• bouclée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mono-boucle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mono-boucle</li> </ul>
$q^i$ et $h(q^i, \dots)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quadrillé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en réseau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en échelle</li> <li>• en réseau complexe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conventionnelle</li> </ul>
$h(q^i, \dots)$		<ul style="list-style-type: none"> <li>• tandem</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• tandem</li> </ul>
$h(y_1^j, y_2^j, \dots)$ où $y_k = H, X,$ ou I		<ul style="list-style-type: none"> <li>• en arborescence</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• en arborescence</li> </ul>

**Tableau 3. Correspondance entre la typologie proposée et des configurations proposées pour les ateliers flexibles**

Nous avons classifié les configurations définies précédemment en fonction de leur complexité (figure 2). La **complexité** est définie par le **nombre de segments d'allée**, leur **agencement** et le nombre d'**intersections**. Ainsi, la progression en complexité passe par la définition de configurations élémentaires auxquelles sont ajoutés d'autres segments qui vont former des configurations hybrides, auxquelles sont progressivement ajoutées une première boucle, et une seconde, puis en passant par des configurations hybrides, pour former des configurations quadrillées (minimum 2 boucles) et des configurations hybrides comportant de multiples boucles. La multitude de combinaisons possibles des composantes des vecteurs pour la définition des configurations hybrides a pour conséquence un certain flou aux bornes des classes différentes, flou représenté dans la figure 2 par le chevauchement des niveaux de complexité.

La typologie proposée est applicable aux réseaux utilisant des équipements mobiles et fixes de manutention, qu'ils soient au sol ou non. Un cas particulier est la présence d'un équipement fixe aérien permettant la manutention des matériaux directement au-dessus d'un segment d'allée (par exemple, un monorail au-dessus d'un transporteur à rouleaux). La figure 3 propose la schématisation d'un tel réseau. Pour celui-ci, l'étiquette sera  $h(I^2)$ , une configuration hybride composée de deux configurations élémentaires I indépendantes plutôt qu'une configuration élémentaire X.

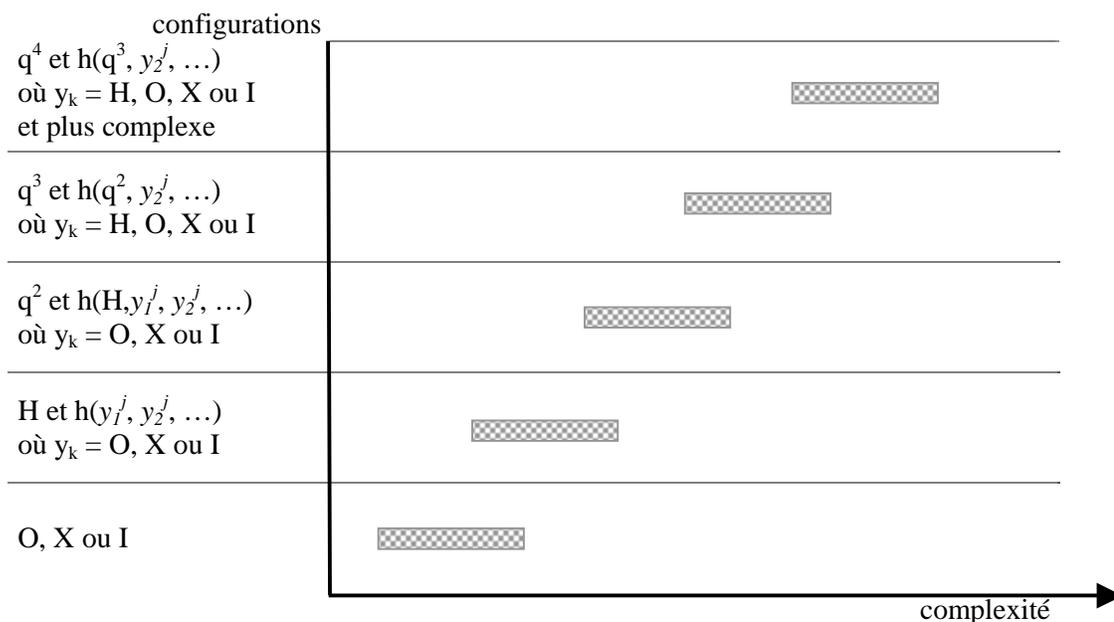


Figure 2. Classification des configurations en fonction de leur complexité

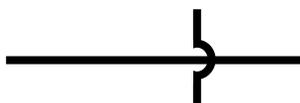


Figure 3. Schématisation d'un cas particulier - configuration  $h(I^2)$

Pour valider la typologie proposée et pour étudier les liens entre les types d'implantation et les configurations de réseau, une enquête a été menée auprès de 52 entreprises de la France et du Québec. Les réseaux de manutention et autres informations connexes ont été colligés pour un important échantillon d'entreprises - 21 françaises et 31 québécoises - provenant de divers secteurs manufacturiers. Dans la section suivante, les paramètres de l'étude sont détaillés et le profil des 52 entreprises observées est décrit.

### 3. Descriptif de l'étude

Les données sur les entreprises proviennent :

1. de rapports complétés dans le cadre de stages en entreprise effectués de 1990 à 1998, ceux-ci étant intégrés aux programmes scolaires de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes et de l'École Polytechnique de Montréal;
2. de visites d'entreprises effectuées en 1998.

Les données collectées ont trait au type d'implantation et à la configuration du réseau de manutention. Les données associées à la configuration du réseau sont la forme, le positionnement et le dimensionnement relatifs des allées, ainsi que les activités à caractère particulier (contrôle de qualité, peinture, lavage, etc.) et leur localisation sur le réseau. Les schémas des réseaux de notre analyse ne sont pas à l'échelle mais conservent pour chaque réseau les proportions des segments d'allée. Les données associées au type d'implantation sont le type de fabrication (standard ou personnalisée) et le secteur d'activités.

Les entreprises étudiées proviennent d'un grand nombre de secteurs industriels (tels que définis par Statistiques Canada) :

- aliments
- produits en matière plastique
- habillement
- meubles
- fabrication de produits en métal
- matériel de transport
- produits minéraux non métalliques
- autres.
- boissons
- produits textiles
- bois
- imprimerie, édition
- machinerie
- produits électriques et électroniques
- chimiques

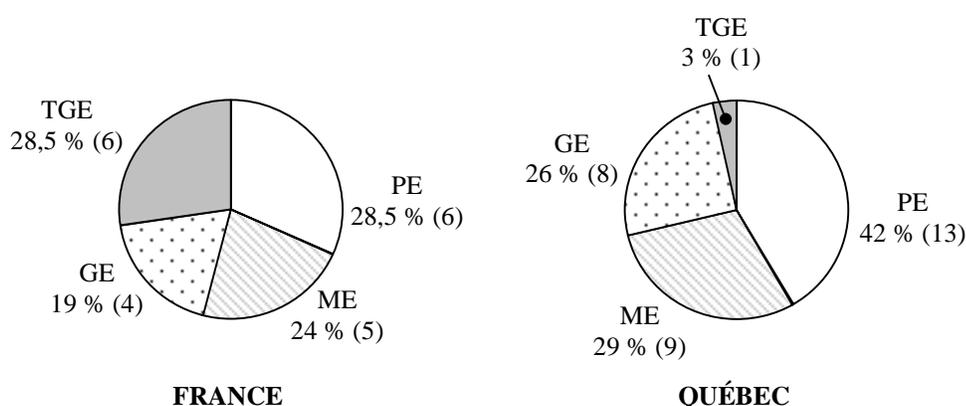
Nous avons classifié les entreprises en petites entreprises (PE), moyennes entreprises (ME), grandes entreprises (GE) et très grandes entreprises (TGE) suivant les catégories définies par Statistiques Canada sur la base du nombre d'employés, de la superficie de l'usine et du chiffre d'affaires annuel (voir tableau 4).

	NOMBRE D'EMPLOYÉS	SUPERFICIE DE L'USINE (M <sup>2</sup> )	CHIFFRE D'AFFAIRES (M\$ CDN)
PE - petite entreprise	[0, 40[	[0, 1 000[	[0, 5[
ME - moyenne entreprise	[40, 100[	[1 000, 3 000[	[5, 20[
GE - grande entreprise	[100, 300[	[3 000, 10 000[	[20, 75[
TGE - très grande entreprise	[300, ...[	[10 000, ...[	[75, ...[

**Tableau 4. Définition des catégories de taille d'entreprise, selon Statistiques Canada**

Dans le cas où une entreprise pouvait être classifiée dans plus d'une catégorie, les critères du nombre d'employés et de la superficie de l'usine étaient prépondérants et la catégorie a été déterminée par une analyse des 2 critères en fonction de caractéristiques comme les dimensions des équipements de production et leur degré d'automatisation.

Nous avons ainsi classifié les entreprises de notre échantillon : 19 PE, 14 ME, 12 GE et 7 TGE, soit respectivement 36,5 %, 27 %, 23 % et 13,5 %. La répartition des entreprises françaises et québécoises selon leur taille est présentée à la figure 4. L'échantillon d'entreprises québécoises comporte un nombre plus faible d'entreprises de grande et de très grande taille que l'échantillon français. Ce constat est à l'image de la structure industrielle du Québec.



**Figure 4. Répartition des entreprises selon leur taille**

Comme mentionné précédemment, on retrouve dans la littérature plusieurs types d'implantation : les implantations classiques, c'est-à-dire par produits, par processus opératoires, par familles de produits et par postes fixes, et les implantations cellulaire, holographique et fractale (micro-usine). L'identification du type d'implantation de certaines entreprises de l'enquête a posé quelques difficultés lorsque celles-ci comportaient plus d'un type d'implantation. Pour ces cas, on a observé la combinaison "par processus opératoires et par produits". On a classifié ces entreprises comme de type par processus opératoires puisque la partie d'implantation par produits peut être considérée comme un des processus. Finalement, une entreprise de l'échantillon comporte deux types d'activités indépendantes, c'est-à-dire qui auraient pu être localisées dans deux édifices. Cette entreprise a été divisée en deux réseaux, et ce en fonction des deux types d'activités de production.

Ainsi, pour les 53 réseaux de maintenance définissant notre échantillon, seul les types d'implantation classique et cellulaire ont été observés, soit : 3 implantations cellulaires, 4 implantations par familles de produits, 10 implantations par produits et 36 implantations par processus opératoires. La répartition des entreprises françaises et québécoises selon le type d'implantation est présentée à la figure 5. Les entreprises québécoises semblent plus

conservatrices que leurs cousines françaises. En effet, la quasi-totalité (94%) des entreprises québécoises utilisent les types d'implantation par processus opératoires ou par produits. Pour leur part, les implantations par familles de produits et cellulaires sont utilisées dans près du quart (22,5%) des entreprises françaises.

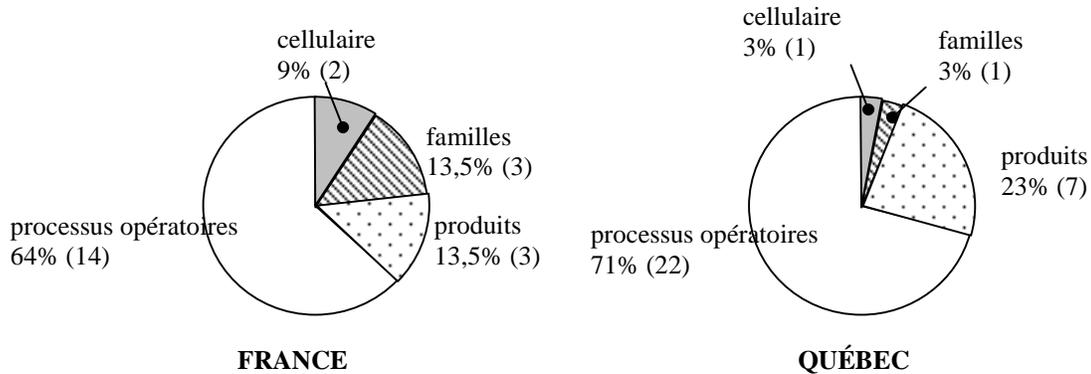


Figure 5. Répartition des entreprises selon leur type d'implantation

## 4. Analyse

L'enquête auprès de ces entreprises a permis d'une part de valider la typologie des réseaux de manutention proposée. D'autre part, elle a permis une analyse des liens entre les types d'implantation et les configurations de réseau. Un comparatif France-Québec des résultats est intégré à cette analyse.

### 4.1. Validation de la typologie

La configuration de chaque réseau a été étiquetée suivant la méthode proposée à la section 2. L'étiquetage des réseaux, basé sur la typologie, a été aisé. Le tableau 5 présente la classification des 53 réseaux observés en entreprises et les étiquettes de chaque configuration. La classification est présentée en fonction de la topologie bouclée ou ouverte des réseaux et en fonction de leur complexité croissante. Les zones grisées indiquent qu'on ne peut retrouver de configuration à topologie ouverte pour ce niveau de complexité.

Des réseaux observés, 68 % (36/53) comportent au moins une boucle. Parmi ceux-ci, on en retrouve seulement trois avec des boucles indépendantes, c'est-à-dire sans intersection ou segment commun. Pour ces trois cas, les boucles formées sont de faible dimension par rapport à l'ensemble du réseau. Ainsi, la configuration tandem utilisée par De Guzman et al (1997) et par Ho et Moodie (2000) - définie comme étant un réseau comportant deux ou plusieurs boucles totalement indépendantes - n'est pas fréquente.

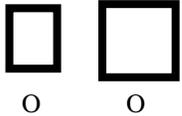
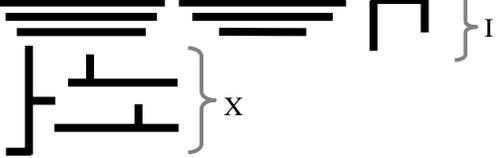
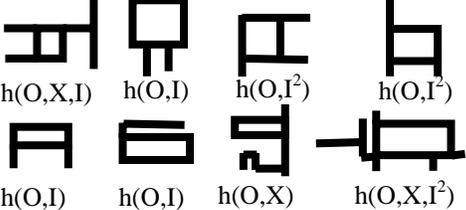
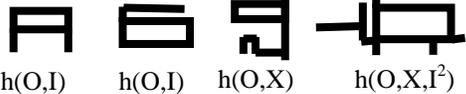
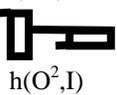
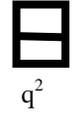
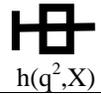
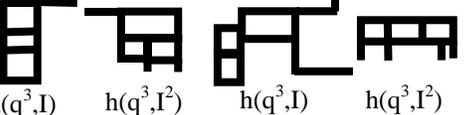
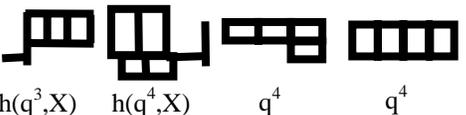
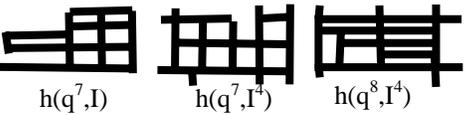
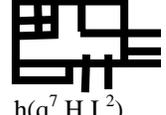
	BOUCLÉ	OUVERT
O, X ou I	 <p>O O</p>	 <p>X I</p>
H et h ( $y_1^j, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = O,$ X ou I	 <p>h(O,X,I) h(O,I) h(O,I<sup>2</sup>) h(O,I<sup>2</sup>)</p>  <p>h(O,I) h(O,I) h(O,X) h(O,X,I<sup>2</sup>)</p>  <p>h(O<sup>2</sup>,I)</p>	 <p>h(O,X) H</p>
q <sup>2</sup> et h ( $H, y_1^j, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = O,$ X ou I	 <p>q<sup>2</sup></p>	 <p>h(H,I) h(H,I) h(H,I) h(H,I)</p>  <p>h(H,X) h(H,O,I<sup>2</sup>) h(H,O<sup>2</sup>,I)</p>
q <sup>3</sup> et h ( $q^2, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = H, O,$ X ou I	 <p>h(q<sup>2</sup>,I<sup>2</sup>) h(q<sup>2</sup>,I<sup>2</sup>) h(q<sup>2</sup>,I) h(q<sup>2</sup>,I)</p>  <p>h(q<sup>2</sup>,H,I) h(q<sup>2</sup>,O,X,I) h(q<sup>2</sup>,X<sup>2</sup>) h(q<sup>2</sup>,I<sup>2</sup>)</p>  <p>h(q<sup>2</sup>,X)</p>	
q <sup>4</sup> et h ( $q^3, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = H, O,$ X ou I et plus complexe	 <p>h(q<sup>3</sup>,I) h(q<sup>3</sup>,I<sup>2</sup>) h(q<sup>3</sup>,I) h(q<sup>3</sup>,I<sup>2</sup>)</p>  <p>h(q<sup>3</sup>,X) h(q<sup>4</sup>,X) q<sup>4</sup> q<sup>4</sup></p>  <p>h(q<sup>7</sup>,I) h(q<sup>7</sup>,I<sup>4</sup>) h(q<sup>8</sup>,I<sup>4</sup>)</p>  <p>h(q<sup>7</sup>,H,I<sup>2</sup>)</p>	

Tableau 5. Classification des réseaux observés lors de l'étude en entreprises

Seulement 26% (soit 14/53) des réseaux observés sont des configurations élémentaires (H, O, X et I), et ce pourcentage passe à 60% (12/20) pour une topologie ouverte. Ces résultats pointent vers une nouvelle direction de recherche. En effet, l'applicabilité en industrie des modèles ou méthodes de design d'implantation d'usine passe nécessairement par l'élaboration de variantes de ces modèles ou méthodes pour des configurations hybrides.

Les configurations élémentaires H et X se retrouvent rarement telles quelles. Certains segments formant ces configurations sont très souvent modifiés pour satisfaire des contraintes ou besoins. De plus, la configuration X - que ce soit sous forme élémentaire ou hybride - se retrouve généralement sous une forme tronquée, en l'occurrence la configuration classique T.

68% (36/53) des réseaux observés sont de configuration hybride. Pour la topologie bouclée, ce pourcentage est encore plus important, soit près de 85% (28/33). De ces réseaux de configuration hybride, 81% (29/36) comportent une composante  $I^j$ . De plus l'étiquette d'un réseau est un couple dans 81% des cas. Encore ici, l'utilisation de la composante  $I^j$  est très répandue, soit pour plus de 75% (22/29) de ces réseaux. Les couples les plus fréquents sont  $(O^j, I^j)$ ,  $(q^2, I^j)$ ,  $(H, I^j)$  et  $(q^3, I^j)$  avec respectivement 6, 5, 4 et 4 observations. De plus, 62% (18/29) des réseaux de configuration hybride dont l'étiquette est un couple comportent des composantes du premier degré ( $j=1$ ). Ces résultats démontrent encore une fois l'intérêt d'explorer cette nouvelle direction de recherche que constitue l'élaboration de modèles et méthodes pour les configurations hybrides et plus particulièrement les cas d'ajout d'un ou de quelques segments d'allées indépendants, formant ainsi une configuration hybride de vecteur  $(y_1^j, I^j)$ .

## 4.2. Analyse des résultats

La figure 6 présente les réseaux en fonction de la taille des entreprises, de leur localisation et du niveau de complexité des réseaux. On peut tirer de cette figure des observations qui sont énumérées au tableau 6. Il est intéressant de constater que la proportion de réseaux comportant au moins une boucle est tout près de 70% pour la France et pour le Québec. Le besoin de flexibilité du système de production implique une flexibilité au niveau du réseau de manutention se traduisant, règle générale, par un réseau avec boucles. On peut aussi observer une grande variabilité des niveaux de complexité pour chaque catégorie de taille d'entreprise autant pour la France et le Québec.

Les résultats de l'étude sont maintenant analysés en considérant une troisième dimension : le type d'implantation. La taille des entreprises et la configuration du réseau de couloirs étaient les deux premières dimensions. Malgré la grande diversité de types d'implantation que l'on retrouve dans la littérature, une première lecture des résultats de l'étude permet de conclure que les types classiques d'implantation sont les plus utilisés en entreprises. La figure 7 présente de façon condensée la répartition des réseaux observés en France et au Québec en fonction de la taille des entreprises, du niveau de complexité des réseaux de couloirs et des types d'implantation, soit : par produits (p), par processus opératoires (o), cellulaire (c) et par famille de produits (f). Un réseau dont la topologie est ouverte est identifié en gras.

TGE	France					
	Québec					
GE	France					
	Québec					
ME	France					
	Québec					
PE	France					
	Québec					
		O, X ou I	H et $h(y_1^j, y_2^j, \dots)$ où $y_k = O, X$ ou I	$q^2$ et $h(H, y_1^j, y_2^j, \dots)$ où $y_k = O, X$ ou I	$q^3$ et $h(q^2, y_2^j, \dots)$ où $y_k = H, O, X$ ou I	$q^4$ et $h(q^3, y_2^j, \dots)$ où $y_k = H, O, X$ ou I et plus complexe

**Figure 6. Regroupement des réseaux en fonction de la taille des entreprises, de leur localisation et de leur niveau de complexité**

	France	Québec
<b>TGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tous les niveaux de complexité ont été observés</li> <li>4 réseaux sur 6 de topologie ouverte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pas de conclusion car 1 seul réseau</li> </ul>
<b>GE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 réseaux sur 4 de topologie bouclée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tous les niveaux de complexité ont été observés</li> <li>3 réseaux sur 8 de topologie bouclée</li> </ul>
<b>ME</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>la plupart des niveaux de complexité ont été observés</li> <li>4 réseaux sur 5 de topologie bouclée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>la plupart des niveaux de complexité ont été observés</li> <li>5 réseaux sur 9 de topologie bouclée</li> </ul>
<b>PE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>la plupart des niveaux de complexité ont été observés</li> <li>5 réseaux sur 7 de topologie bouclée</li> <li>6 réseaux sur 7 de faible complexité (niveau 1 et 2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tous les des niveaux de complexité ont été observés</li> <li>9 réseaux sur 13 de topologie bouclée</li> <li>11 réseaux sur 13 de configuration hybride</li> </ul>

**Tableau 6. Comparatif France-Québec**

Pour l'un ou l'autre des groupes d'entreprises (France et Québec), on retrouve toutes les tailles d'entreprises et tous les niveaux de complexité. La dispersion des réseaux à la figure 6 mène à la conclusion qu'aucun lien fort et direct ne peut être établi entre les trois dimensions. Cependant, on peut identifier certaines tendances. 68% (36/53) des réseaux sont du type d'implantation par processus opératoires (o). De ces réseaux, 61% (22/36) sont de topologie bouclée. Dans les deux cas, il n'y a pas de différence significative de distribution entre la France et le Québec. Pour les ME et GE, les réseaux de topologie bouclée sont majoritairement de grande complexité (soit de niveau 4 et 5). 19% (10/53) des réseaux sont du type d'implantation par produits (p). De ces réseaux, 50% (5/10) sont de topologie ouverte. Les proportions de type d'implantation par produits et de réseaux de topologie ouverte sont plus importantes pour le Québec.

Dans le cas des implantations par familles de produits (f) et cellulaires (c) - respectivement 4 et 3 entreprises -, les réseaux observés proviennent majoritairement d'entreprises de très grande taille et de petite taille (6/7). Les implantations cellulaires utilisent dans tous les cas un réseau bouclé, et celles par familles de produits dans 3 cas sur 4. Il est à noter que pour ces 7 réseaux, 5 sont d'entreprises de France comparativement à l'échantillon de 22 réseaux sur 53. Ainsi, les entreprises du Québec semblent plus conservatrices au niveau du type d'implantation puisqu'on y retrouve davantage d'implantations de type classique.

En excluant les TGE, les réseaux de topologie ouverte observés en France sont tous de très faible complexité, c'est-à-dire des configurations élémentaires. Cette concentration des réseaux dans un niveau de complexité particulier n'est pas observée au Québec.

#### **Observations pour des entreprises de même classe industrielle**

En regroupant les entreprises suivant la classification type des industries (CTI) de Statistiques Canada, deux constats peuvent être faits. Premièrement, et règle générale, pour une même taille

TG E	France	<b>o, p</b>	<b>f</b>	<b>o</b>	<b>c</b>	<b>c</b>
	Québec					<b>p</b>
GE	France		<b>o</b>		<b>p</b>	<b>o, o</b>
	Québec	<b>o, p</b>	<b>o, o</b>	<b>o, p</b>	<b>o</b>	<b>o</b>
ME	France	<b>o</b>	<b>o</b>		<b>o, o</b>	<b>f</b>
	Québec	<b>o, o</b>		<b>o, o</b>	<b>o, o</b>	<b>o, o, p</b>
PE	France	<b>o, o, o, o</b>	<b>o, f</b>			<b>p</b>
	Québec	<b>o</b>	<b>c, o, o, p, p</b>	<b>o, o, p</b>	<b>o, o</b>	<b>o, f</b>

O, X ou I	H et h ( $y_1^j, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = O,$ X ou I	$q^2$ et h (H, $y_1^j,$ $y_2^j, \dots$ ) où $y_k = O, X$ ou I	$q^3$ et h ( $q^2, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = H, O,$ X ou I	$q^4$ et h ( $q^3, y_2^j, \dots$ ) où $y_k = H, O,$ X ou I et plus complexe
--------------	--	---	---	--

**Figure 7. Énumération des types d'implantation en fonction des configurations et de la taille des entreprises**

d'entreprise, la complexité du réseau par processus opératoire est égale ou inférieure à celle d'une implantation par produits qui, à son tour, est égale ou inférieure à celle d'une implantation par famille de produits. Deuxièmement, on ne peut valider l'hypothèse que pour un même type d'implantation, la complexité du réseau augmente avec la taille de l'entreprise. Cependant, il est possible d'établir des tendances pour certaines classes industrielles. Celles-ci sont présentées au tableau 7.

Classes industrielles	Tendances
CTI30 Fabrication de produits de métal <i>11 réseaux observés</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 réseaux sont de configuration élémentaire</li> <li>• 4 réseaux sont de configuration hybride et comportent 1 ou 2 boucles</li> <li>• 9 réseaux sont de type par processus opératoires</li> </ul>
CTI26 Meubles et articles d'ameublement <i>7 réseaux observés</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aucun réseau n'est de configuration élémentaire</li> <li>• 5 réseaux comportent 1 ou 2 boucles</li> <li>• 5 réseaux sont de type par processus opératoires</li> </ul>
CTI32 Industries de matériel de transport <i>4 réseaux observés</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 réseau est de configuration élémentaire</li> <li>• 3 réseaux sont hybrides et comportent 2 boucles ou plus</li> <li>• 2 réseaux sont de type par processus opératoires</li> </ul>
CTI33 Produits électriques et électroniques <i>4 réseaux observés</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 réseaux sont de configurations ouvertes et de type par processus opératoires</li> </ul>

**Tableau 7. Tendances pour certaines classes industrielles (CTI)**

## 5. Conclusion

La typologie proposée dans cet article permet de considérer l'ensemble des réseaux de manutention des matériaux et de circulation du personnel que l'on retrouve en entreprises et de les classer en fonction de caractéristiques particulières. Ainsi, la problématique de la variabilité des réseaux des entreprises s'en trouve minimisée. Un avantage de l'utilisation de la typologie est la minimisation de la subjectivité quant à l'évaluation du niveau de complexité d'une configuration particulière. Par la suite, des modèles ou méthodes de design d'implantation d'usine développés pour un type de configuration pourront être adéquatement utilisés pour des configurations équivalentes. De façon complémentaire, un modèle ou méthode de design d'implantation d'usine pourra être évalué en fonction d'un critère de flexibilité quant aux configurations de réseaux auxquelles il peut être adapté.

Les modèles ou méthodes pour le design d'implantation d'usine que l'on trouve dans la littérature peuvent être directement utilisés pour seulement 28 % (15/53) des réseaux, soit les réseaux dits de configuration classique (I, L, U, T, X, H, O et 8). Une prochaine étape est donc l'établissement de variantes de modèles ou méthodes (ou la génération de nouveaux modèles ou méthodes) permettant de considérer les configurations hybrides, le premier cas étant les configurations hybrides décrites par un couple comportant une composante  $\bar{Y}$ .

Tel qu'observé dans les résultats de l'étude France-Québec, les implantations de type classique sont très fréquentes en entreprises. Une minorité d'entreprises ont une implantation de type cellulaire. Il serait intéressant d'étudier plus en détails les raisons de ce choix en association avec le coût et le taux d'utilisation des équipements, les délais de fabrication et autres critères. La constitution des différentes cellules est un autre élément qui nécessiterait une analyse plus approfondie.

Aussi, quelques entreprises de l'enquête ont une production mixte (ou hybride, selon la terminologie utilisée par certains auteurs), c'est-à-dire qu'on retrouve deux types d'implantation sur un même site. Cette notion a été très peu étudiée dans la littérature. Burgess et al (1993) comparent, par simulation, les résultats d'une implantation par processus opératoires et les résultats d'une implantation mixte : une section de l'implantation comportant des cellules de fabrication et une autre section étant de type par processus opératoires. Aussi, des modèles comme ceux de Li (1997) et de Grangeon et al (1999) associent la notion d'implantation mixte au problème d'ordonnancement de la production. Ainsi, la sélection de la configuration du réseau de manutention pourrait être étudiée en association avec la notion d'implantation mixte.

Les résultats de l'étude démontrent une très grande variabilité quant au type d'implantation et à la configuration du réseau de couloirs que l'on retrouve en entreprises. Cependant, un important pourcentage d'entreprises optent pour une plus grande flexibilité de circulation qui se traduit par des réseaux de topologie bouclée. Aussi, basé sur les résultats de l'étude, on ne peut établir de lien entre les types d'implantation et les configurations des réseaux de manutention.

Cependant, ces premiers résultats montrent différentes tendances en industries manufacturières associées à la relation type-configuration. Il est intéressant de noter la similitude de conception des implantations des entreprises de France et du Québec.

## Remerciements

Nous tenons à remercier MM. Laurent Villeneuve et Fred Bassal, professeurs à L'École Polytechnique de Montréal, pour l'accès à une banque de données d'implantations manufacturières. Aussi, la collaboration de M. Daniel Noyes, professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, a permis de réaliser la partie française de l'étude en entreprises.

Cette recherche a été rendue possible grâce aux subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et du Fonds québécois sur la nature et les technologies (Nateq).

## Références

- [1] Anonymous(1998). New layout configurations for manufacturing facilities. *Facilities, Planning et Design Solutions* 1-8.
- [2] ABDU, G. et DUTTA, S. P. (1990). An integrated approach to facilities layout using expert systems. *International Journal of Production Research* 28, 685-708.
- [3] ADOLPHSON, D. et HU, T. C. (1973). Optimal linear ordering. *SIAM Journal of Applied Mathematics* 25, 403-423.
- [4] BEGHIN-PICAVET, M. et HANSEN, P. (1982). Deux problèmes d'affectation non linéaires. *RAIRO Recherche Opérationnelle/Operations Research* 16, 263-276.
- [5] BURGESS, A. G., MORGAN, I. et VOLLMANN, T. E. (1993). Cellular manufacturing: Its impact on the total factory. *International Journal of Production Research* 31, 2059-2077.
- [6] CHENG, R., GEN, M. et TOSAWA, T. (1996). Genetic algorithms for designing loop layout manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* 31, 587-591.
- [7] DE GUZMAN, M. C., PRABHU, N. et TANCHOCO, J. M. A. (1997). Complexity of the AGV shortest path and single-loop guide path layout problems. *International Journal of Production Research* 35, 2083-2092.
- [8] DELMAIRE, H., LANGEVIN, A. et RIOPEL, D. (1997). Skeleton-based facility layout design using genetic algorithms. *Annals of Operations Research* 69, 85-104.
- [9] GANESHARAJAH, T., HALL, N. G. et SRISKANDARAJAH, C. (1998). Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems. *Annals of Operations Research* 76, 109-154.

- [10] GRANGEON, N., TANGUY, A. et TCHERNEV, N. (1999). Generic simulation model for hybrid flow-shop. *Computers & Industrial Engineering* 37, 207-210.
- [11] HERAGU, S. S. et KUSIAK, A. (1988). Machine layout problem in flexible manufacturing systems. *Operations Research* 36, 258-268.
- [12] HO, Y.-C. et MOODIE, C. L. (2000). A hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree configuration. *International Journal of Production Research* 38, 895-928.
- [13] HOUSHYAR, A. (1991). Computer aided facility layout: An interactive multi-goal approach. *Computers & Industrial Engineering* 20, 177-186.
- [14] KOUVELIS, P., CHIANG, W.-C. et YU, G. (1995). Optimal algorithms for row layout problems in automated manufacturing systems. *IIE Transactions* 27, 99-104.
- [15] KUSIAK, A. (1985). Material handling in flexible manufacturing systems. *Material Flow* 2, 79-95.
- [16] LANGEVIN, A., MONTREUIL, B. et RIOPEL, D. (1994). Spine layout design. *International Journal of Production Research* 32, 429-442.
- [17] LANGEVIN, A. et RIOPEL, D. (1991). Design d'implantation générale à épine dorsale. Anonymous. *3e congrès de génie industriel: Le génie industriel: Facteur d'intégration et d'efficacité des entreprises*. 2, 861-870. Anonymous.
- [18] LI, S. (1997). A hybrid two-stage flowshop with part family, batch production, major and minor set-ups. *European Journal of Operational Research* 102, 142-156.
- [19] LOVE, R. F. et WONG, J. Y. (1976). On solving a one-dimensional space allocation problem with integer programming. *INFOR* 14, 139-143.
- [20] MONTREUIL, B. et RATLIFF, H. D. (1989). Utilizing cut trees as design skeletons for facility layout. *IIE Transactions* 21, 136-143.
- [21] MONTREUIL, B., VENKATADRI, U. et RARDIN, R. L. (1999). Fractal layout organisation for job shop environments. *International Journal of Production Research* 37, 501-521.
- [22] PICARD, J.-C. et QUEYRANNE, M. (1981). On the one-dimensional space allocation problem. *Operations Research* 29, 371-391.
- [23] TOMPKINS, J. A., WHITE, J. A., BOZER, Y. A., FRAZELLE, E. H., TANCHOCO, J. M. A. et TREVINO, J. (1996). *Facilities Planning*. John Wiley and Sons.
- [24] TOMPKINS, J. A. et WHITE, J. A. (1984). *Facilities Planning*. John Wiley and Sons.
- [25] WANG, T.-Y., LIN, H.-C. et WU, K.-B. (1998). An improved simulated annealing for facility layout problems in cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* 34, 309-319.