

## GESTION OPTIMISÉE DES VÉHICULES DANS UN GRAND SYSTÈME DE TRANSPORT UNIFIÉ POUR LA FABRICATION DE SEMI-CONDUCTEURS

Jean-Etienne KIBA, Stéphane DAUZÈRE-PÉRES,  
Claude YUGMA

Léon VERMARIËN

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne  
Centre Microélectronique de Provence G. Charpak  
Avenue des Anémones, 13120 Gardanne, FRANCE  
kiba@emse.fr, dauzere-peres@emse.fr, yugma@emse.fr

STMicroelectronics  
190 Avenue Célestin Coq, Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex, FRANCE  
leon.vermarien@st.com

**RÉSUMÉ :** *L'objectif de cet article est d'étudier l'impact d'une règle de gestion des véhicules non affectés à une requête de transport, dans un système unifié de transport automatisé d'une unité de fabrication de semi-conducteurs (fab). Nous comparons l'efficacité de cette règle à celle utilisée dans des travaux précédents. Pour ce faire, nous procédons de manière hiérarchique en deux étapes : tactique (découpage de la fab en zones logiques et affectation des véhicules à l'aide d'un modèle linéaire) et opérationnelle (politique de gestion des véhicules). Les résultats préliminaires issus des expériences numériques montrent que la nouvelle politique est plus efficace en termes de réactivité des véhicules et de réduction du temps de cycle.*

**MOTS-CLÉS :** *Optimisation, programmation linéaire, transport automatisé, système unifié.*

### 1. INTRODUCTION

La nouvelle génération de *wafers* (plaques circulaires de silicium) a entraîné l'apparition de nouvelles contraintes (ergonomiques, poids et sécurité des lots pour le transport, etc). C'est ce à quoi doivent faire face les managers des nouvelles usines de fabrication (*fab*) de *wafers* 300mm, pour être à la fois réactif et compétitif sur un marché de plus en plus exigeant et obéissant à la loi de Moore, qui lie l'évolution de la puissance des ordinateurs et la complexité du matériel informatique (Moore, 1965). L'automatisation des processus de fabrication, dont celui du transport, appelé AMHS (Automated Materials Handling System), est un des moyens utilisés par les managers pour faire face à ces nouvelles contraintes et accroître ainsi les indicateurs de performances de la *fab*. Les AMHS sont composés en général de rails sur lesquels se déplacent des véhicules aériens transportant les lots (en moyenne 25 *wafers*) d'une machine vers une autre, d'un couloir (*bay*) vers un autre, d'une machine vers un stockeur, ou enfin d'un stockeur vers un autre stockeur. Le choix des véhicules aériens se justifie entre autres par le gain de place au sol, une meilleure ergonomie avec les opérateurs et une possibilité de stockage aérien. Il est important de souligner que le système de transport est considéré pour les managers des *fabs* comme

*sans valeur ajoutée* dans le processus de fabrication mais sans lui aucune *valeur* n'est produite (Montoya-Torres et al., 2006).

Le travail qui va suivre s'inscrit dans la suite du travail de thèse de Montoya-Torres (Montoya-Torres, 2005a). La partie expérimentale de son travail a porté sur l'étude d'une future *fab* du groupe Franco-Italien STMicroelectronics. Il a privilégié une nouvelle configuration de *fab* unifiée (possibilité de transporter un produit directement d'une machine à une autre) plutôt que les configurations traditionnelles inter bay/intra bay, ce qui lui a permis de dégager les avantages et inconvénients entre ces deux types de configuration. Les résultats de ces travaux ont montré qu'une *fab* unifiée donnait de meilleurs résultats sur les indicateurs de performance qu'une *fab* non unifiée sous les mêmes conditions. (Montoya-Torres et al., 2006) ont proposé une approche hiérarchisée du problème à deux niveaux, tactique et opérationnel, comme illustré dans la Figure 1. Au niveau tactique, la *fab* est découpée en zones *logiques*, et un nombre de véhicules est affecté à chaque zone avec pour objectif que les demandes de la zone puissent être rapidement servis par les véhicules présents. Par zone logique, il faut comprendre qu'aucun véhicule n'est affecté à une zone précise. Au niveau opérationnel, il

s'agit par conséquent de garantir que le bon nombre de véhicules se trouve dans chaque zone (les données d'entrée du niveau opérationnel sont les résultats du niveau tactique). Des politiques de dispatching, de routage et de contrôle du trafic pour la *fab* sont proposées en les validant à l'aide de la simulation à événements discrets. Cette notion de découpage logique de

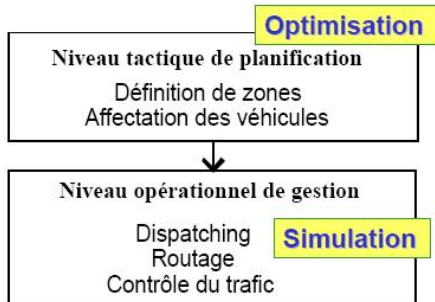


Figure 1: Approche Tactique et Opérationnelle

la *fab* est différente du découpage physique habituellement utilisé (voir section 2 pour plus de détails). Ce découpage du réseau en zones de gestion permet en effet de gérer de manière plus efficace les véhicules à l'intérieur de la *fab*.

Cependant ce modèle présente quelques faiblesses. D'une part, au niveau tactique les centres de zones ne sont pas suffisamment bien choisis en fonction de la géométrie de la zone. D'autre part, au niveau opérationnel la politique de gestion pour les véhicules non affectés à une requête de transport en cours diminue le temps de réactivité des véhicules. L'objectif de cet article est de proposer une gestion optimisée des véhicules en répondant aux questions suivantes : où parquer les véhicules non affectés ? Comment obtenir une meilleure réactivité des véhicules par leur gestion et donc un temps de cycle plus court ? Le temps de cycle est le temps total pour fabriquer un lot de *wafers*. Il mesure le temps écoulé entre le moment où le lot entre dans la *fab* et le moment où il en sort. C'est un indicateur très important pour les managers car il permet de mesurer la réactivité et la capacité de pénétration sur le marché. Nous proposons dans cet article une politique appelée *TAZ* (pour *Turn Around in Zone*). L'idée consiste à faire tourner les véhicules à vide constamment entre deux points choisis (*judicieusement*) dans une zone logique jusqu'à la prochaine requête de transport interne ou externe à la zone.

La suite de cet article est organisée de la façon suivante : la section 2 est consacrée à la présentation du problème. La section 3 décrit les solutions proposées (tactique et opérationnelle). Nous y détaillerons la politique proposée et les résultats obtenus sur les expérimentations effectuées. Nous concluons cet

article et donnons quelques pistes de recherche à approfondir en section 4.

## 2. PRÉSENTATION DU PROBLÈME

### 2.1. Positionnement dans la littérature

Unifié ou non unifié ? C'est là tout le challenge des managers qui abordent le sujet de manière prudente. L'utilisation d'un type intermédiaire de configuration, les systèmes partiellement unifiés, est la marque de cette prudence. En effet, les travaux dans la littérature ont montré que le basculement vers les systèmes unifiés ne pouvait se faire sans dégradation de certains critères de performances (Hiroshi et Mitsuru, 2005), ce qui pourrait expliquer la prudence de la migration vers ce type de systèmes. Néanmoins, ces mêmes auteurs ont montré que, sous certaines conditions peu restrictives, le temps de livraison des AMHS n'ajoutait pas de temps d'attente additionnel dans un système de transport unifié, ce qui laisse à penser que l'automatisation ne doit pas se faire de manière arbitraire. D'un point de vue général, la gestion actuelle de la *fab* et l'évaluation de ses critères de performance ont toujours été établies du point de vue des lots. En effet, (Wright et Norma, 2005) ont montré que changer de point de vue (niveau machine) pour évaluer la performance des *fabs* pourrait aider à éviter des coûts additionnels dus à certains *mythes* comme, par exemple : est-il plus efficace d'avoir des véhicules plus rapides ? Est-ce que la politique de livraison machine à machine (*tool-to-tool delivery*) élimine les files d'attente sur les stockeurs ? Est-ce que l'augmentation du nombre de points de chargement (load ports) sur chaque machine est forcément meilleure ? De plus, ce changement de point de vue permettrait également de voir le système de transport comme faisant partie de la production. Les politiques de transport sont diverses et le choix de la *meilleure* politique est loin d'être évidente. (Liao et Fu, 2002) a montré qu'il n'y avait pas forcément de politiques génériques de transport qui surpassaient les autres, celles-ci étant fortement liées à la configuration de la *fab* (Nazzal et Bodner, 2003). La performance du système de transport des *wafers* est également fortement dépendante de la configuration du système de transport automatisé (Gaxiola et Hennessy, 2001). Il existe une classification des AMHS en 4 niveaux : les AMHS agrégés en Inter Bay/Intra Bay ; les AMHS partiellement liés ; les AMHS unifiés et les AMHS combinés (Bahri et Doherty, 2001). Cette classification permet de mieux se positionner pour l'évaluation des critères de performances de la *fab*. Notre étude

portera essentiellement sur les AMHS unifiés. Pour terminer, il faut noter le travail bibliographique réalisé dans (Montoya-Torres, 2005b) sur le transport automatisé pour différentes configurations de *fab*. Cette bibliographie montre que les politiques de gestion des *fabs* sont essentiellement portées sur les gestions des véhicules actifs et sont fonctions de la configuration de la *fab*. Nous n'avons pas à ce jour rencontré dans la littérature d'articles traitant de la gestion des véhicules en attente d'une requête de transport comme source d'amélioration du temps de cycle. Les politiques de gestion sont le plus souvent focalisées sur la gestion des véhicules actifs. La pertinence de notre idée peut s'expliquer par le fait que se concentrer uniquement sur les véhicules actifs permet une meilleure gestion du transport mais, dans un système unifié, la réactivité des véhicules est fortement dépendante de la politique des véhicules non affectés à une requête de transport. C'est ce que nous tenterons de mettre en évidence dans la suite de cet article.

## 2.2. Approche hiérarchisée

Imaginez une maison avec différentes pièces séparées par des murs. A l'intérieur de la pièce principale (séjour), on délimite mentalement deux parties : une salle à manger et un salon. Pour ce faire, dans notre cas, les murs qui séparent physiquement les différentes pièces de la maison constituent le découpage physique (exemple : zones de photolithographie, de gravure, d'implant, etc). Le découpage *mental* du séjour en deux pièces est un découpage logique c'est-à-dire qui n'est pas physiquement réalisé. Aussi, l'intérêt d'avoir plusieurs pièces (*physiques ou virtuelles*) dans une maison est principalement de permettre une meilleure organisation et une meilleure gestion de la maison. C'est le même intérêt qui est recherché dans le découpage *physique ou virtuel* de la *fab*. Le découpage de la *fab* en zones logiques fait partie de l'approche de (Montoya-Torres et al., 2006). Au niveau tactique, le problème de la définition des zones logiques et de l'affectation des véhicules est résolu par un Programme Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) qui est une variante du problème du *P-centre*. Dans la littérature il existe plusieurs approches pour faire du *découpage* (ou *clustering* : k-means, model selection, agglomerative, divisive, etc). Cependant nous avons préféré une variante du problème de *P-centre* aux techniques de *clustering* car nous ne recherchons pas seulement un découpage en zones, mais aussi une prise en compte de l'affectation des véhicules lors du découpage afin de déterminer le nombre de véhicules dans chaque zone.

Nous rappelons ci-dessous le programme linéaire utilisé pour le découpage en zones et l'affectation des véhicules par zones.

### Paramètres :

$P$  : Nombre maximal de zones.

$V$  : Ensemble des véhicules.

$K$  : Ensemble des points de chargement/déchargement du réseau (*machines*).

$J$  : Ensemble des points du réseau qui peuvent être pris comme centre de zones.

$t_{ij}$  : Temps de parcours entre les points  $i$  et  $j$  du réseau.

$D_k$  : Demande moyenne du point  $k$  défini comme le temps moyen (en secondes) par heure nécessaire pour réaliser tous les déplacements au départ du point  $k$ .

$VC$  : Capacité des véhicules calculée comme le temps de disponibilité (en secondes) d'un véhicule par heure.

### Variables de décision :

$T$  : Temps de couverture.

$X_j$  : Si le point  $j$  est choisi comme centre d'une zone, 0 sinon.

$Y_{jk}$  : Si le point  $k$  appartient à la zone dont  $j$  est le centre, 0 sinon.

$Z_{vj}$  : Si le véhicule  $v$  est affecté à la zone dont  $j$  est le centre, 0 sinon.

$UR_{vj}$  : Taux d'utilisation du véhicule  $v$  assigné à la zone dont le centre est  $j$ .  $UR_{vj} \in [0, 1]$ .

$V_{max}$  : Nombre maximal de véhicules.

$UR_{max}$  : Taux maximal d'utilisation d'un véhicule.

$$\min (CO_1 \times T + CO_2 \times UR_{max} + CO_3 \times V_{max}) \quad (1)$$

$$T \geq \sum_{j \in J} t_{jk} Y_{jk} \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} X_j \leq P \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{jk} = P \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$Y_{jk} \leq X_j \quad \forall j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{vj} \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} D_k Y_{jk} \leq VC \sum_{v \in V} UR_{vj} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$UR_{vj} \leq Z_{vj} \quad \forall v \in V, j \in J \quad (8)$$

$$UR_{max} \geq \sum_{j \in J} UR_{vj} \quad \forall v \in V \quad (9)$$

$$V_{max} \geq \sum_{v \in V} Z_{vj} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$Y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (12)$$

$$Z_{vj} \in \{0, 1\} \quad \forall v \in V, j \in J \quad (13)$$

$$UR_{vj} \in [0, 1] \quad \forall v \in V, j \in J \quad (14)$$

C'est un modèle d'optimisation multi-objectifs. La fonction objectif (1) minimise le temps maximal de couverture  $T$ , le taux d'utilisation maximal d'un véhicule et le nombre maximal de véhicules requis par zone. Les contraintes (2) caractérisent le temps maximal pour couvrir une demande, et la contrainte (3) assure que le nombre maximal de zones n'est pas dépassé. Les contraintes (4) et (5) établissent respectivement que chaque point du réseau appartient à une zone et une seule, et qu'un point n'est couvert par une zone que si et seulement si cette zone est créée. Les contraintes (6) assurent qu'un véhicule est affecté au plus à une zone, (7) que la capacité de chaque zone est satisfaite (relatif aux taux d'utilisation réels des véhicules affectés aux zones), et (8) que le taux d'utilisation d'un véhicule dans une zone n'est positif que si le véhicule est affecté à la zone. L'utilisation maximale des véhicules et le nombre maximal de véhicules dans une zone sont déterminés respectivement par les contraintes (9) et (10). Afin d'assurer un ordre lexicographique, les valeurs choisies pour les paramètres de la fonction objectif sont :  $CO_1$  est le poids associé aux premier critère (temps de couverture),  $CO_2$  est le poids associé aux second critère (taux maximal d'utilisation des véhicules),  $CO_3$  est le poids associé aux troisième critère (nombre maximal de véhicule)  $CO_1 = CO_2 = 100$  car les valeurs de  $T$  sur  $UR_{max}$  sont bornées :  $1 \leq T \leq \max t_{ik}$  et  $0 \leq UR_{max} \leq 1$ , et  $CO_3 = 1$  ainsi  $T$  pouvant être au moins égale à 1 et  $UR_{max}$  ne pouvant être supérieur à 1, le poids de  $T$  (temps de couverture) dans la fonction objectif sera toujours plus important que le taux d'utilisation des véhicules. Le but recherché par l'auteur est de donner une importance plus grande sur le temps de couverture ( $T$ ) et au taux d'utilisation maximal de véhicules. Le choix de  $CO_3$  est justifié par le fait que la valeur  $V_{max}$  est bornée par le rapport entre la capacité des véhicules ( $VC$ ) et la demande maximale affectée à une zone ( $V_{max} \geq \max_j \frac{\sum_j D_j}{VC}$ ).

A l'issue de ce découpage, un nombre maximal tactique de véhicules est ainsi attribué à chaque zone logique pour satisfaire un critère de demandes dans la zone. Le but du découpage logique est de trouver un temps de couverture minimal pour couvrir et équilibrer les demandes dans chaque zone mais aussi

d'équilibrer le nombre de véhicules entre les zones. Nous rappelons que le découpage logique de la *fab* est indépendant du découpage physique.

Au niveau opérationnel, les principaux facteurs pouvant avoir des effets sur les indicateurs de performance sont : la règle de dispatching des véhicules, les politiques de gestion par zones et la taille de la flotte de véhicules. Une des règles de dispatching choisies par (Montoya-Torres, 2005a) est *STD* pour *Shortest Travel Distance*, et une taille de la flotte moyenne est de 24 véhicules pour le système considéré. Dans le souci de capturer le contexte dynamique du problème, les données d'entrée du niveau opérationnel sont les résultats obtenus au niveau tactique. Plusieurs simulations ont été réalisées afin de trouver la meilleure politique de gestion des véhicules. Celle retenue comme étant la *meilleure* d'après les tests expérimentaux a été la suivante : prendre en compte la demande globale émise dans toute la *fab* puis servir d'abord dans sa zone s'il y a une demande sinon hors de sa zone. Si une requête de transport doit être effectuée dans une zone extérieure à la zone actuelle, il faut vérifier le nombre maximal tactique de véhicules de la zone extérieure. Si celui-ci est atteint, la zone extérieure ne sera pas servie.

La cohérence de cette approche hiérarchisée a été validée dans (Montoya-Torres *et al.*, 2006). Les auteurs ont ainsi montré que des mauvais résultats au niveau tactique entraînaient une dégradation des résultats au niveau opérationnel.

Que dire alors des véhicules non affectés à des requêtes de transport dans cette approche ? Dans les simulations de (Montoya-Torres, 2005a), les véhicules non affectés quittent leur zone pour aller dans un parking (bifurcation dans laquelle les véhicules peuvent s'arrêter sans gêner la circulation), puis en repartent dès qu'une requête de transport est formulée. On peut alors se poser la question suivante : ne perd-t'on pas l'avantage de la gestion du découpage de la *fab* en zones logiques si les véhicules doivent sortir des zones puis y revenir à chaque fois qu'ils n'ont pas de requête de transport ?

## 2.3. Limitation de l'approche

### 2.3.1. Un problème de Géométrie

Le problème du découpage en zones logiques est proche du problème du *P-centre* qui est un problème classique de localisation (voir le livre de Daskin, 1995). L'objectif d'un tel problème est de localiser des sites (centres de zone dans notre cas) afin de minimiser la couverture maximale des demandes à servir à partir de chaque emplacement. La formulation est une extension du problème de *P-centre* qui prend en

compte les contraintes de capacités (on se rapproche du CFLP pour *Capacitated Facility Location Problem* mais sans coûts liés à l'ouverture d'une installation). De manière générale, les problèmes de localisation considèrent les capacités des installations de façon séparée, individuellement pour chaque installation potentielle, or nous nous intéressons à une distribution globale de la capacité dans les zones. Ainsi, une fois les centres choisis, les points retenus comme ceux pouvant être desservis par chaque centre en un temps minimum sont considérés comme faisant partie d'une même zone. Cependant, le modèle de Programmation Linéaire en Nombres Entiers présenté en section 2.2 peut mal choisir les centres des zones qui ne sont pas associées au temps maximal de couverture  $T$ . En effet, le modèle peut choisir comme centre de zone tout point dans la zone dont le temps de couverture est inférieur ou égale à  $T$ , peu importe la forme de la zone considérée (cercle, ellipse, etc.). La création des zones s'effectue donc selon le temps entre les centres et les points (qui n'ont pas déjà été choisis par un autre centre) et ceci indépendamment de la forme des zones d'où l'expression *aveugle* de la géométrie de la zone. En termes plus simples, le *P-centre* garantit qu'une zone est couverte en moins d'un certain temps maximal  $T$  en partant de son centre, mais ne garantit pas que tous les centres soient toujours bien sélectionnés (voir Figure 2).

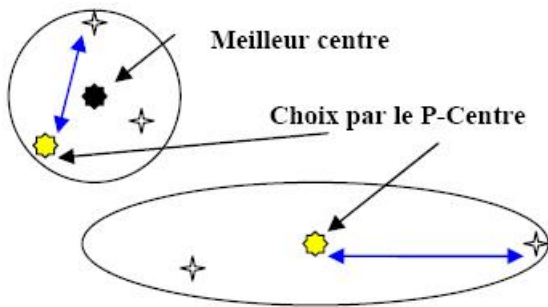


Figure 2: Différentes zones créées par le P-centre et exemple de meilleur centre

Sur la Figure 2, nous observons deux formes géométriques (cercle et ellipse). Le point choisi par le *P-centre* dans l'ellipse comme centre assure simplement que les autres centres choisis sont à une distance de leurs points les plus éloignés inférieure ou égale de celle de la distance maximale entre le centre et le point le plus éloigné dans l'ellipse (qui est la référence dans notre exemple). Mais cela ne garantit pas que ce point soit réellement le meilleur centre de

la zone. Pour cela, nous avons proposé une modification du programme linéaire en nombres entiers afin de garantir un choix des centres de zones qui ne soit pas *aveugle* de la géométrie des zones.

Pour ce faire, nous avons ajouté à la fonction objectif (1) la variable  $Tt_j$  qui représente le temps minimal nécessaire pour aller du centre de la zone au point le plus éloigné. Nous obtenons un programme linéaire où la fonction objectif (1) est remplacée par (1'). Les contraintes sont celles du modèle précédent auquel on ajoute la contrainte (15).

$$\begin{aligned} \min(CO'_1 \times T + CO'_2 \times UR_{max} + CO'_3 \times V_{max} \\ + \sum_{j \in J} Tt_j) \end{aligned} \quad (1')$$

$$Tt_j \geq t_{jk}Y_{jk} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (15)$$

La contrainte (15), assure que le centre qui sera choisi aura sa distance au point le plus éloigné, plus proche de la géométrie de sa zone que le centre donné par le problème global. Les autres contraintes du problème n'ont pas été modifiées, elles sont identiques à celles du problème original. Les coefficients  $CO'_1$ ,  $CO'_2$  et  $CO'_3$  sont plus grands que  $CO_1$ ,  $CO_2$  et  $CO_3$  afin de garantir que le nouveau terme de la fonction objectif est la plus petite priorité. L'idée de la recherche du meilleur centre est le même que celui recherché dans l'algorithme du K-means. En effet, le but de l'algorithme n'est pas tant de trouver des *meilleurs* centres que de créer des zones de *bonne proportion*. Nous avons résolu ce problème avec un solveur standard de programmes linéaires en nombres entiers. Nous avons ainsi obtenu un nouveau découpage et une nouvelle répartition des véhicules dans la zone.

### 2.3.2. Un problème de perte de temps

L'une des innovations dans les systèmes de transport unifiés est qu'il devient possible de faire des livraisons de machine à machine (*tool-to-tool delivery*). Cependant, dans la politique de gestion des véhicules de (Montoya-Torres, 2005a), dès qu'un véhicule est non affecté à une requête de transport, il retourne dans un *parking* (bifurcation où des véhicules peuvent attendre sans gêner les autres véhicules). C'est justement ce découpage en zones et parking hors zones qui ne semble pas judicieux. Le problème de la perte de temps dû à ce parking hors zones logiques peut être comparé à celui de la distance ferroviaire. En effet, la distance ferroviaire est la distance qui oblige tous les chemins à passer par une ville **A** donnée. Plus simplement, si je suis dans la ville **B** et que je veux aller

dans la ville **C** je dois obligatoirement passer par **A**, et prendre un autre train pour la ville **C**. Il semble évident que la distance est plus importante à toujours passer par **A**, plutôt que d'aller directement en **C**, en particulier quand l'angle entre les deux villes dépasse strictement les  $90^\circ$ . Une solution meilleure en temps de parcours serait évidemment d'aller directement dans la ville **C**. Par analogie le retour au parking souffre du même problème que celui de la distance ferroviaire, à savoir passer obligatoirement par un même point pour atteindre un autre point, une fois le véhicule non affecté à une requête de transport. En effet, le découpage en zones perd son efficacité si les véhicules non affectés doivent sortir des zones logiques pour aller au parking (relativement éloigné), puis repartir du parking pour assurer de nouvelles requêtes de transport comme illustré sur la figure 3.

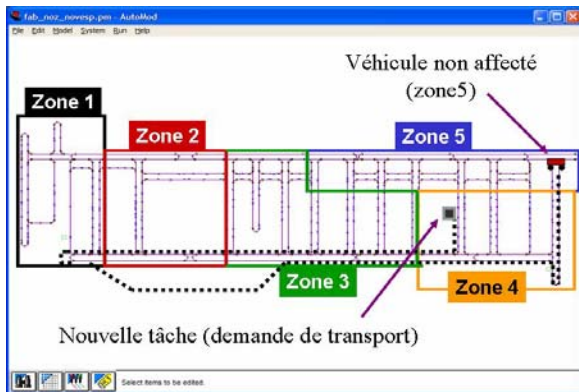


Figure 3: Trajet effectué par un véhicule non affecté pour une requête de transport

La perte de temps est l'une des limitations majeures de cette politique de retour au parking. Sur la figure 3, le trajet en gras représente le trajet effectué par un véhicule (zone 5) qui ne possède plus de requête de transport et donc qui se dirige vers le parking (hors de toute zone, cadre situé en dessous de la zone 2). Seulement une fois au parking une nouvelle requête de transport située dans la zone voisine à la première (zone 4) est émise par un équipement de cette zone, le véhicule doit alors refaire tout le trajet et satisfaire cette requête. Les résultats obtenus avec cette méthode sont exposés dans le tableau 1 ci-dessous.

Toutes les simulations ont été réalisées sur un ordinateur ayant les caractéristiques suivantes : Processeur Intel Pentium 4 CPU 3,40 GHz avec une RAM de 1024 MB. Pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons donner la vraie valeur du temps de cycle. Nous noterons X sa valeur initiale et la prendrons

comme valeur de référence, c'est-à-dire la valeur du meilleur temps de cycle obtenu par la simulation de (Montoya-Torres, 2005a).

Les principales caractéristiques de la simulation sont les suivantes. Le nombre de jours simulés est de 120 jours, et le temps mis pour atteindre le régime stationnaire (début des relevés statistiques) est de 60 jours.

Nombre de véhicules	24
Temps de cycle	X
Ecart type du temps de cycle	0.05
Taux d'utilisation des véhicules	91.6 %
Moyenne du Temps de livraison	1,2 min.
Moyenne du Temps pour aller chercher un lot	0,58 min.
Nombre de voyages pour aller au parking	1 814 698
Taux d'utilisation du temps total pour aller au parking	8,4%
Temps moyen total passé par les lots à attendre sur un stockeur	144 s

Tableau 1. Résultats de la meilleure politique de (Montoya-Torres, 2005a)

Ces résultats (en particulier le taux d'utilisation du temps total pour aller au parking de 8,4%) montre la perte de temps induite par la politique de retour au parking. Pour y remédier, il est préférable d'avoir une politique de gestion qui permettrait aux véhicules d'être plus proches de leur zone d'affectation afin de répondre plus rapidement aux requêtes de transport émises sans pour autant gêner le trafic dans la zone. Les véhicules deviendraient alors plus réactifs pour faire face aux requêtes intra-zone. C'est ce que nous décrivons dans la section suivante.

### 3. APPROCHE TURNER DANS LA ZONE

La politique de gestion *TAZ* (pour *Turn Around in Zone* en anglais) consiste à faire tourner les véhicules dans une zone logique entre deux points de la zone afin d'éviter tout problème de stationnement pouvant créer de la congestion et de permettre une meilleure réactivité des véhicules. Le gain recherché derrière une telle politique est de combler la perte de temps occasionnée par la politique de retour au parking.

#### 3.1. Politique TAZ

Le principe en lui-même est assez simple. Il consiste à délimiter une zone logique (qui, on le rappelle, est

différente de la zone physique), puis de choisir judicieusement dans cette zone logique deux points (machines) entre lesquels les véhicules non affectés pourront faire des allers-retours jusqu'à la prochaine requête de transport intra ou extra-zone émise, voir la figure 4.

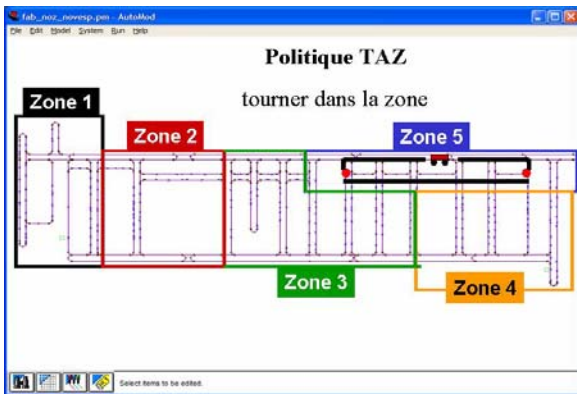


Figure 4: Trajet effectué par un véhicule non affecté

Sur la figure 4, deux points sont choisis à l'intérieur de la zone 5. Quand un véhicule devient non affecté il tourne entre les deux points tout en vérifiant les nouvelles requêtes de transport émise dans la *fab* plutôt que d'aller au parking.

Nous donnons dans le Tableau 2 ci-dessous, les résultats de la simulation pour la politique *TAZ*.

Nombre de véhicules	24
Temps de cycle	0,97X
Ecart type du temps de cycle	0,04
Taux d'utilisation des véhicules	93,3 %
Moyenne du Temps de livraison	1,20 min
Moyenne du Temps pour aller chercher un lot	0,61 min
Nombre de voyages pour aller au parking	980 289
Taux d'utilisation du temps total pour aller au parking	6,7 %
Temps moyen total passé par les lots à attendre sur un stockeur	117 s

Tableau 2. Résultats de la meilleure politique de (Montoya-Torres, 2005a)

### 3.2. Interprétation des résultats

Au vue de ces résultats (tableaux 1 et 2) nous constatons une amélioration du temps de cycle global (temps mis par un lot depuis l'entrée du système

jusqu'à sa sortie) de **3%** (on passe de X à 0,97X). C'est une amélioration importante du point de vue industriel car chaque jour de temps de cycle correspond à plusieurs millions d'Euros. Le temps de livraison est le même dans les deux politiques (1,20 min). De plus, il semble que l'on prenne plus de temps en moyenne pour aller prendre un lot avec la politique *TAZ* (0,61 min) qu'avec l'ancienne politique (0,58 min). Cependant, en regardant le temps d'attente des lots sur les stockeurs, on s'aperçoit alors que l'on a une réduction d'environ **19%** avec la politique *TAZ* : on passe en effet de 144 s à 117 s. C'est la preuve que les lots passent moins de temps sur les stockeurs et sont par conséquent soit sur les machines, soit en transport. Puisque les temps de fabrication sont les mêmes dans les deux simulations et qu'ils ont le même temps de livraison, nous pouvons écarter l'hypothèse qu'ils sont sur les machines. C'est donc au niveau du temps de réactivité des véhicules pour prendre un lot qu'il y a une amélioration. Le fait que le temps pour aller chercher un lot soit plus élevé en moyenne avec la politique *TAZ* est du à une plus grande variabilité qu'avec la politique de retour au parking. En effet, en repartant du parking on a beaucoup moins de variabilité pour atteindre un lot. Par contre, avec la politique *TAZ*, selon la position (un des deux points) où l'on se trouve, on n'est pas à la même distance de tous les points de la *fab*.

Enfin nous noterons que, dans le cas de la politique *TAZ*, le parking est en moyenne beaucoup moins sollicité (980 289 fois) que dans la politique précédente (1 814 698 fois), soit une réduction de 54%, ce qui a pour effet d'entraîner une réduction du temps total d'utilisation du parking de 1,7% (passage de 8,4 à 6,7%). Nous avons ainsi gagné du temps au niveau de la réactivité des véhicules. Autrement dit, la politique *TAZ* permet une meilleure gestion des véhicules non affecté tout en leur permettant d'être plus réactifs.

Il reste cependant à étudier comment choisir les deux points dans la zone. Le but de la politique *TAZ* est de réduire le temps perdu par les véhicules surtout à vide et de permettre une meilleure réactivité des véhicules à chaque affectation d'une nouvelle requête de transport. Ainsi, pour répondre à ce double objectif, le choix des deux points de la zone doit se faire en privilégiant la minimisation de la distance à parcourir entre ces deux points à l'intérieur de la zone, mais en même temps sans être trop *proches* pour ne pas créer de congestion intra-zone ou même inter-zone. Le premier point est choisi de manière à pouvoir rapidement atteindre tous les autres points de la zone. Le choix du second point doit viser à la fois (a) à réduire la distance à parcourir entre les deux points et (b) à ne pas créer de congestion.

La validation de ce second point est pour le moment effectuée par simulation. C'est à notre avis une bonne manière pour capturer d'éventuelles contraintes dynamiques liées au choix de ce second point. Si un point est trop proche du centre (premier point) en induisant un aller retour *gênant*, alors il est abandonné pour le point moins proche mais congestionnant moins le réseau. De plus nous rappelons qu'il ne peut y avoir de gain de temps par rapport à la politique de retour au parking que si le temps de réaction des véhicules dans la politique TAZ est plus petit que dans la politique de Montoya-Torres (Montoya-Torres, 2005a).

#### 4. CONCLUSION ET PISTES DE RECHERCHES A APPROFONDIR

Nous venons de comparer 2 politiques de gestion des véhicules dans un grand système de transport unifié :

- TAZ pour *tourner dans la zone* (Innovation de cet article)
- Revenir au parking (Montoya-Torres)

La politique de retour au parking est moins performante que la politique TAZ. En effet, cette dernière assure une meilleure réactivité des véhicules à vide, induisant ainsi une réduction du temps de cycle global. Cette meilleure réactivité dans la politique de gestion des véhicules non affectées semble adaptée à la gestion des priorités entre les lots.

Un des principaux objectifs des gestionnaires de *fabs* est de toujours rechercher à réduire le plus possible le temps de cycle des produits pour être plus compétitifs. Nous pensons cependant que la réduction du temps de cycle peut être limitée si les contraintes liées à la production ne sont pas mieux intégrées aux objectifs du transport des lots. Il s'agit de prendre le bon lot au bon endroit plutôt que de considérer toutes les demandes de transport au même niveau. Il est par conséquent important d'étudier comment mieux coupler les politiques de transport et les priorités de la production.

#### REFERENCES

Bahri N. et Doherty B., 2001. A comparison of Unified vs Segregated Automated Material Handling Systems for 300mm Fabs., *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, p. 3-6.

Daskin D., 1995. Network and Discrete Location: Models Algorithms and Applications. , Wiley, New York.

Gaxiola G. et Hennessy L., 2001. Evaluation of advantages of integrating 300mm AMHS FAB layouts in the photo Area. *Proceedings of the 2001 IEEE International symposium of Semiconductor manufacturing*, San Jose, CA, USA, p. 373-376.

Hiroshi K. et Mitsuru H., 2005. Study for realizing effective direct tool-to-tool delivery. *Proceedings of the 2005 IEEE International symposium of Semiconductor manufacturing*, p. 21-24.

Liao D-Y. et Fu H-S., 2002. Dynamic OHT Allocations and dispatching in large scaled 300mm AMHS Management. *Proceedings of the 2002 IEEE International conference on Robotics et Automation*, Washington, DC, p. 3630-3635.

Montoya-Torres J., 2005a. Transport Automatisé dans les systèmes de fabrication des semi-conducteurs: Nouvelle approche de gestion Tactiques et Opérationnelle. *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne*. Gardanne, France.

Montoya-Torres J., 2005b. A Literature survey on the design approaches and operational issues of automated wafer-transport systems for wafer fabs. *Production Planning and Control*, 17(7), p. 648-663.

Montoya-Torres J., Dauzère-Pérès S. and Vermarién L., 2006. A Consistent Approach for Vehicle Planning and Control in Large Unified Automated Material Handling Systems. *9th International Material Handling Research Colloquium*.

Moore G., 1965. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8).

Nazzal D. et Bodner D., 2003. A simulation-based design framework for automated material handling systems in 300mm fabrication facilities. *Proceeding of the 2003 Winter Simulation Conference*, p. 1351-1359.

Wright D. et Norma R., 2005. Commons AMHS Myths. *Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, p. 277-280.