

→ C. Terrier (\*),  
service Etudes générales et ergonomie,  
INRS, Paris

## WORKPLACE LAYOUT OCCUPATIONAL RISK PREVENTION FROM THE DESIGN STAGE

The method presents a means of reducing occupational accident and disease risks when designing workplace layout, thereby helping to avoid unsatisfactory situations which are difficult to remedy.

The structure of the paper reflects the progressive character of the application of the method in the field. It is essentially participatory and iterative, involving all the parties concerned: the owners, the company management and also, as early as possible, the architect, the contractor and the staff of the firm which will be using the plant.

■ The idea is to optimise a series of factors, based on:

- reducing the risks linked to circulation in the firm: vehicles, handling equipment, staff;
- reducing physical and chemical risks: noise, pollution, heat;
- reducing the risks linked to the flow and handling of materials;
- improving, or at least maintaining, efficiency and quality.

■ The paper successively describes:  
- the factors at issue in "optimum" layout;

- the aims and options of firms in terms of products, the organisation of production, safety and working conditions;
- the data needed in order to apply the method;
- the method based on functional relation criteria (proximity, distance), significance of material flows and floor space needed.

It is based on a breakdown of firms into four types of sector, analysed in the following order:

- sectors with circulation risks;
- sectors with chemical and physical risks;
- non-manufacturing sectors, with low flows of materials;
- the remaining sectors, with significant flows of materials.

● design ● workplace ● methodology

(\*) e-mail : terrier@inrs.fr  
fax : 01 40 44 30 75

# Implantation des lieux de travail

## Prévention des risques professionnels dès la conception

**L**a méthode présente une démarche pour réduire les risques d'accidents et de maladies professionnelles dès la conception des implantations des lieux de travail et éviter ainsi des situations insatisfaisantes et difficilement réversibles.

La structure de l'article reflète la progressivité de l'application de la démarche sur le terrain. Elle est essentiellement participative et itérative, impliquant tous les acteurs concernés : le maître d'ouvrage, l'encadrement de l'entreprise et, également, le plus tôt possible, l'architecte, le maître d'œuvre et le personnel de l'entreprise, futur utilisateur des lieux.

L'objectif est une optimisation multicritères reposant sur

- la réduction des risques de circulation dans l'entreprise : véhicules, engins de manutention, personnel ;
- la réduction des risques physiques et chimiques : bruit, pollution, chaleur ;
- la réduction des risques liés aux flux matières et aux manutentions ;
- l'amélioration ou au moins le maintien de l'efficacité et de la qualité.

Il est décrit successivement :

- les enjeux pour une implantation «optimale» ;
- les objectifs et les choix de l'entreprise concernant les produits, l'organisation de la production, la sécurité et les conditions de travail ;
- les données nécessaires pour l'application de la méthode ;
- la méthode de résolution basée sur des critères de relations fonctionnelles (proximité-éloignements), d'importance des flux de matières et de besoins en surfaces.

Elle s'appuie sur un découpage de l'entreprise en quatre catégories de secteurs analysées selon l'ordre ci-dessous :

- les secteurs avec risques circulation,
- les secteurs avec risques physiques et chimiques,
- les secteurs connexes à la fabrication, avec des flux matières faibles ou nuls,
- les secteurs restants, avec des flux matières significatifs.

● conception ● lieu de travail ● méthodologie ● circulation intérieure ● ambiance physique ● organisation du travail ● conditions de travail ● manutention ● logiciel

**L**a conception de l'implantation générale et la conception de l'implantation détaillée sont présentées successivement car elles ne se situent pas au même niveau de définition.

En effet, l'implantation générale se situe à un niveau global, elle cherche à définir les emplacements des principaux services, ateliers ou moyens importants de façon à satisfaire certains critères comme :

- La prévention des risques professionnels et de bonnes conditions de travail en relation avec : la circulation des engins et piétons, les manutentions et les ambiances physiques de travail.
- La minimisation du nombre de mouvements et des distances parcourues par les matières et les produits.

- La facilité des échanges d'informations et l'amélioration des communications entre les services ou secteurs amenés à travailler sur les mêmes processus transversaux.

L'implantation détaillée :

- se situe à l'intérieur du cadre de l'implantation générale et concerne généralement un sous-ensemble de celle-ci, comme un atelier ou quelques ateliers. L'objectif est alors d'optimiser le positionnement des machines, postes de travail, allées de circulation secondaires, surfaces des en-cours à l'intérieur des secteurs ou ateliers;
- ne concerne pas l'organisation et la conception du poste de travail, car elle s'arrête avant ce niveau de détail en allant seulement jusqu'aux emplacements et liaisons entre les postes de travail.

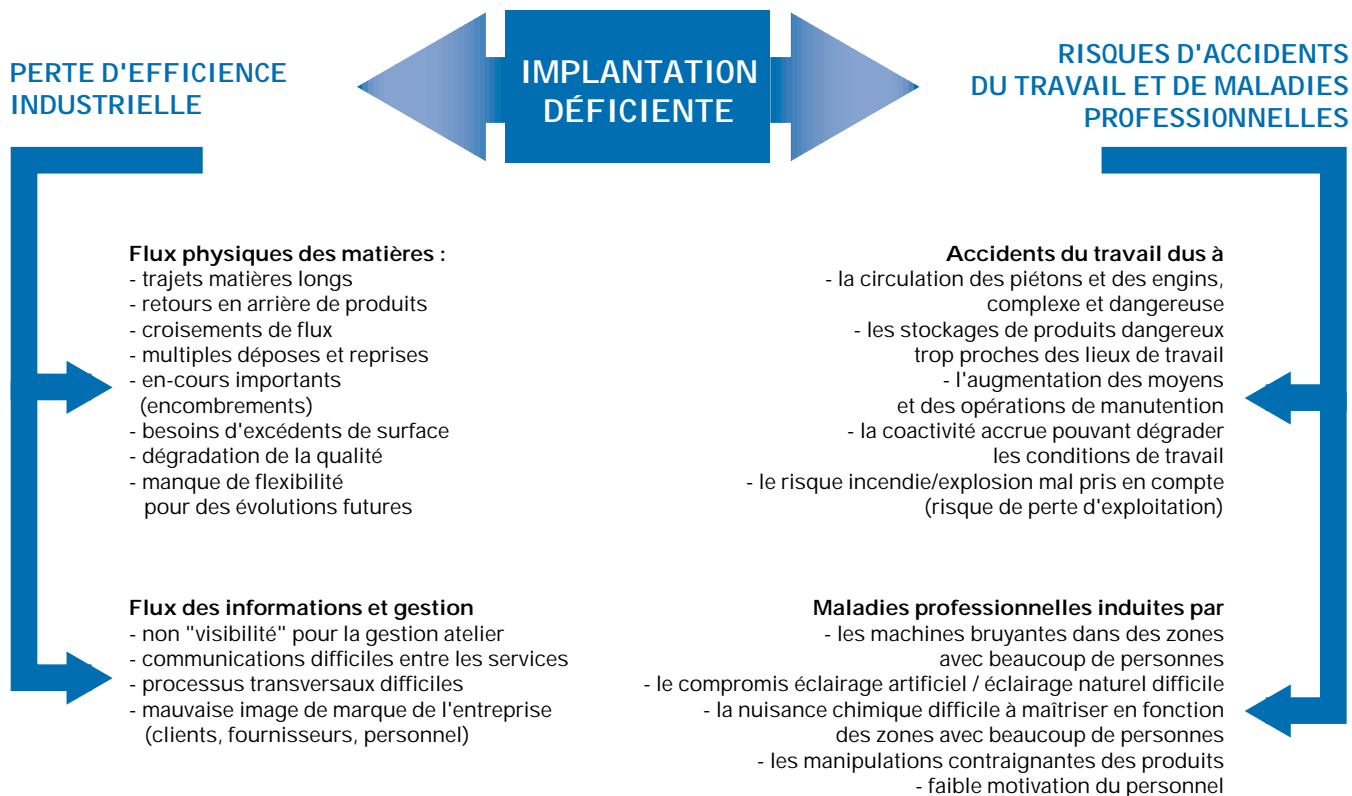


Fig. 1. Conséquences d'une implantation déficiente  
Consequences of a faulty layout

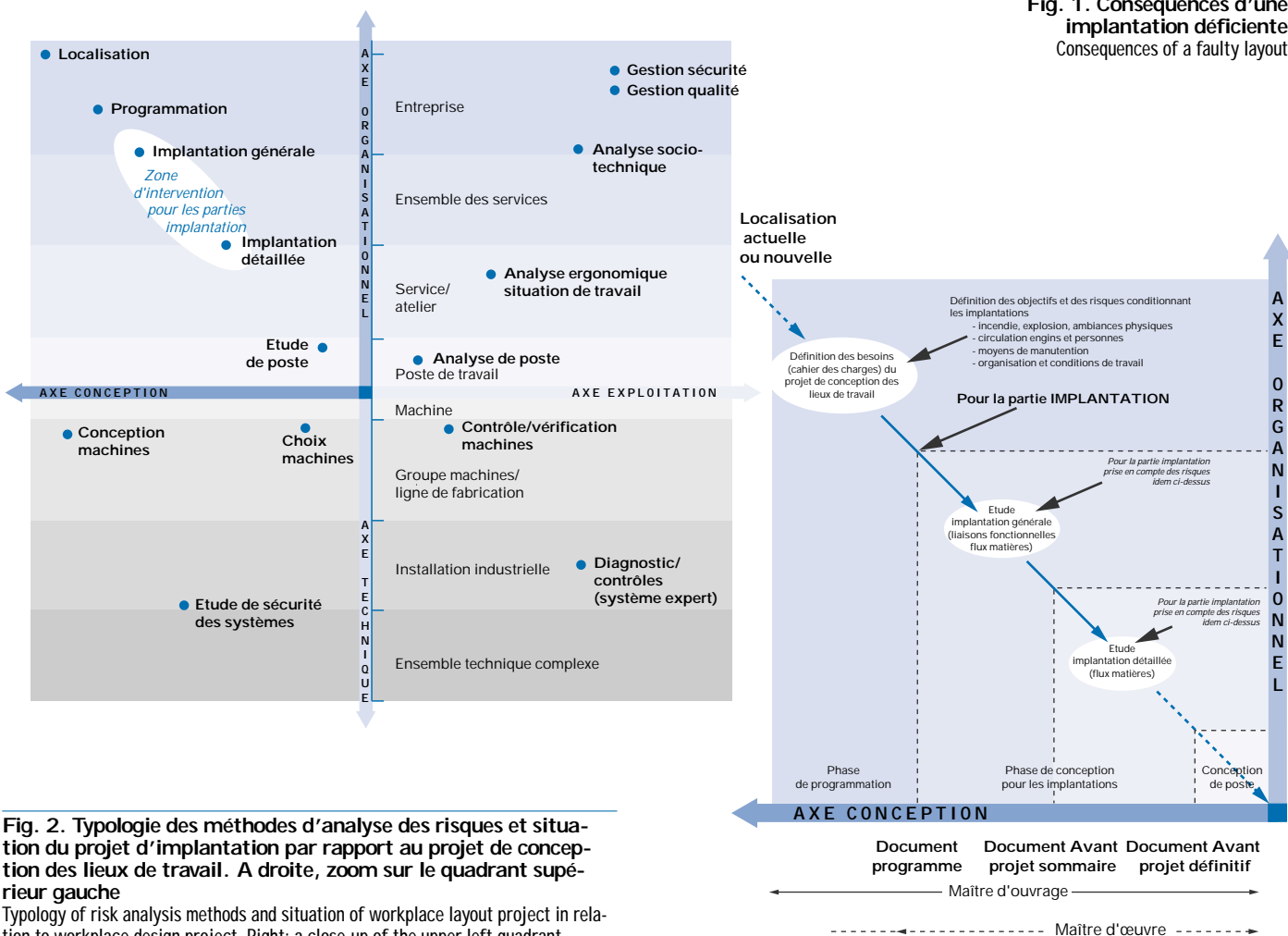


Fig. 2. Typologie des méthodes d'analyse des risques et situation du projet d'implantation par rapport au projet de conception des lieux de travail. A droite, zoom sur le quadrant supérieur gauche  
Typology of risk analysis methods and situation of workplace layout project in relation to workplace design project. Right: a close-up of the upper left quadrant

Il n'est pas traité ici de la détermination de la localisation de l'entreprise, phase déjà réalisée avant les phases d'implantation générale et détaillée.

La *figure 1* présente les principales conséquences liées à une implantation déficiente. La partie droite recense les risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles, alors que la partie gauche montre les pertes d'efficacité industrielle à cause des flux physiques et des flux d'informations difficiles. Il est donc primordial pour l'entreprise de réussir son implantation qui doit être prise en compte le plus tôt possible en phase de conception du projet industriel.

Pour la prévention des risques, la *figure 2* propose une typologie des méthodes d'analyse a priori des risques (cf. [1]).

L'axe horizontal discrimine la phase de conception de la phase exploitation du système industriel étudié. L'axe vertical correspond au domaine d'investigation des méthodes : soit l'aspect organisationnel (atelier, service), soit l'aspect technique (machines).

On y voit que le domaine concerné par l'implantation générale et l'implantation détaillée ne comprend ni la localisation de l'entreprise, ni les études de postes de travail. Le zoom sur le quadrant supérieur gauche montre comment s'insère le projet d'implantation dans le cadre plus large du projet de conception de nouveaux locaux de travail.

A partir du cahier des charges élaboré lors de la phase de programmation (document programme), un extrait est réalisé pour ce qui concerne les implantations : la circulation des personnes et des véhicules, les moyens de manutention envisagés, les secteurs et équipements avec des risques et des nuisances, les modes possibles d'organisation du travail, etc.

## 1. Méthode pour l'implantation générale

### 1.1. Les objectifs fondamentaux de l'entreprise

Il est primordial que soient définis par le maître d'ouvrage (chef d'entreprise), les objectifs et les grandes orientations de l'entreprise sur les années à venir. En effet, il est indispensable de connaître ces éléments (cf. infra) pour concevoir des installations répondant aux besoins réels. Ces éléments sont :

- **les marchés et les clients** : délai de livraison, niveau de service, délai de réactivité en fonction des variations de la demande, etc.

Ces éléments sont à préciser car ils conditionnent les choix possibles pour l'organisation de la production et donc les implantations,

- **la politique de l'entreprise vis-à-vis de ses fournisseurs** : partenariat, définition des types de contenants avec le fournisseur, cadences de livraison des matières, etc.,

- **les « produits » (services ou produits physiques) en relation avec les marchés** : les produits actuels et les produits futurs avec les évolutions prévues pour le processus de fabrication,

- **la qualité des produits et qualité de service aux clients**, ceux-ci influençant en particulier les conditionnements des produits finis, les moyens de manutention des produits en interne et chez les clients,

- **la prise en compte du « temps »** : pour quelle durée l'implantation doit-elle être opérationnelle sans modification majeure ? doit-on prévoir une extension de la capacité ?

- **la sécurité au niveau du site** : les accès et les voies de circulation, les nuisances possibles vers l'environnement de l'entreprise,

- **la sécurité à l'intérieur du site** : la circulation des véhicules et des piétons, les risques liés aux produits dangereux et aux ambiances physiques (bruit, pollution chimique, etc.),

- **l'organisation et les conditions de travail** : les horaires (normaux à la journée, postés, travail en fin de semaine, etc.), les contraintes de temps opératoires (parcellisation ou élargissement des tâches, autonomie, etc.),

La prise en compte de l'ensemble de ces objectifs conduit à retenir certaines formes d'organisation de la production :

- en groupes technologiques ou îlots produits par famille,

- en îlots fonctionnels produisant tous les produits dans des ateliers spécifiques des phases de la fabrication (atelier des presses, atelier usinage, etc.),

- en ligne (par famille de produit ou par produit) avec un découpage des tâches et des temps opératoires courts,

- en mode mixte (exemple : fabrication des sous-ensembles principaux des produits selon une organisation fonctionnelle et un assemblage des produits finis selon une structure en ligne).

En liaison avec ces choix d'organisation de la production, on définit les systèmes de levage et les moyens de manutention à envisager (pont roulant, potences, chariots automoteurs, convoyeurs, etc.).

A ce stade, il est important de connaître les choix retenus par le chef d'entreprise que l'on ne peut remettre en cause et les options possibles à étudier en phase de conception.

L'ensemble de ces éléments est clairement explicité dans le document programme pour la part concernant les implantations. Il est fondamental de se référer à ces objectifs que l'on cherchera à satisfaire tout au long de la phase de conception des implantations.

## 1.2. Schéma de synthèse de la méthodologie

La nature de l'activité (industrielle ou service) conditionne l'approche méthodologique (fig. 3).

Pour une activité de service sans flux matières ou avec des flux matières faibles, la méthodologie décrit la branche de gauche de la figure. Au contraire, pour une activité industrielle, où l'on cherchera à minimiser les mouvements et les distances parcourues par les matières on décrira la branche de droite.

### Dans ce qui suit

Nous entendons par **secteur** tout élément ou entité jouant un rôle considéré comme important pour les implantations.

Un secteur pourra donc être un service, une section, un atelier, une partie d'atelier, un accès (camions, personnel), un local, un équipement, un groupe de machines, etc.

## 1.3. Éléments de base et description de l'exemple

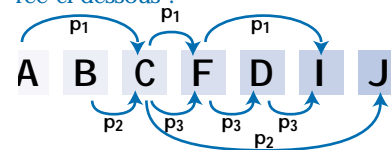
### 1.3.1. Détermination d'une ou plusieurs gammes enveloppes

Avant de recueillir les données de production et celles caractérisant les différents types de secteurs, il est nécessaire d'analyser l'existence d'une gamme enveloppe.

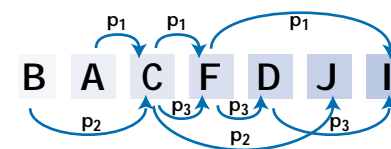
La gamme enveloppe est constituée par la mise en ordre séquentiel des ressources (machines) nécessaires pour la fabrication des produits, sans rebroussements dans la circulation des produits inter-postes.

Le produit P1 est fabriqué sur les machines A, C, F, I; le produit P2 sur les machines B, C, J et le produit P3 sur les machines C, F, D, I (ceci dans l'ordre indiqué).

Une gamme enveloppe possible est figurée ci-dessous :



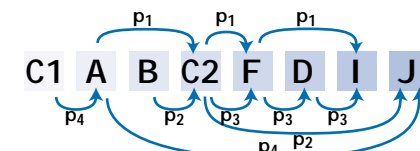
Une autre gamme enveloppe pour les produits P1, P2, P3 est par exemple :



Soit le produit P4 avec la gamme C, A, J dans cet ordre. Il n'existe pas de gamme enveloppe pour les quatre produits car l'ordre entre A et C est incompatible pour les produits P1 et P4.

Une façon de résoudre cette difficulté est d'éclater soit la machine A, soit la machine C, de façon à retrouver un ordre sans rebroussement dans la circulation des produits.

Le calcul des charges au paragraphe 1.4.1 (secteurs avec flux matières) indique quelles sont les machines que l'on peut éventuellement éclater car elles sont en plusieurs exemplaires. Dans cet exemple, supposons que la machine C existe en deux exemplaires, C1 et C2, on peut alors définir une gamme enveloppe pour les quatre produits :



Ceci n'est pas toujours possible car il faut que les charges de travail issues du calcul de charge permettent ce découpage sans surinvestissement au niveau des ressources.

Cette recherche de la gamme enveloppe est importante puisqu'elle peut créer des secteurs supplémentaires (éclatement de secteurs) de façon à faciliter les flux matières, ces secteurs étant pris en compte dans les tableaux des flux calculés dans la suite de cette note.

### Remarque

Cette méthode de la gamme enveloppe peut être appliquée de la même façon au niveau d'une famille, on obtient alors une gamme enveloppe spécifique d'une famille.

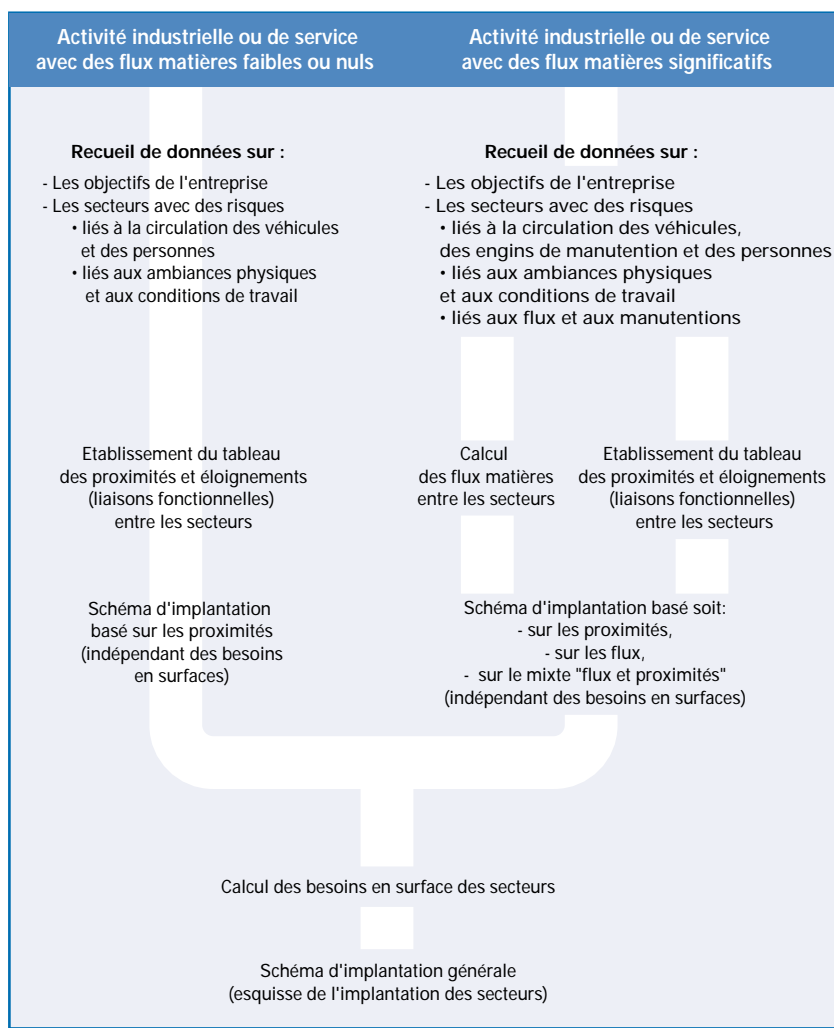


Fig. 3. Principales étapes de la méthode en fonction de l'activité de l'entreprise  
Main stages of method depending on firm's activity

### 1.3.2. Choix du niveau d'analyse : produits ou famille de produits

On définit la période de temps sur laquelle sera basé le calcul des flux. Généralement on retient une base annuelle, sachant que les données peuvent être des moyennes sur les deux ou trois années à venir. Par ailleurs, on peut retenir également une hypothèse «haute» pour la production (exemple : + 20 % par rapport au programme prévisionnel).

Par la suite, les informations sont traitées au niveau des familles de produits ou au niveau des produits eux-mêmes.

#### Au niveau «famille de produits»

Si des familles de produits existent, on peut travailler à ce niveau, avec des quantités et des gammes de fabrication représentatives.

Les familles sont généralement constituées par des produits dont les processus de fabrication sont proches.

En général, le service production peut définir directement les principales familles F1, F2, F3, etc.

Pour chacune des familles, on retient les principaux produits représentatifs, par exemple les 20 % des produits de la famille représentant les 80 % du chiffre d'affaires ou/et les 20 % des produits représentant les 80 % des mouvements inter-opérations, etc. (Loi de Pareto (1)).

#### Au niveau «produits»

S'il est difficile de définir des familles à cause d'une grande diversité dans les gammes de fabrication, il est préférable de rester au niveau des produits.

On pourra prendre tous les produits finis ou seulement une sélection pour limiter le volume de données (par exemple, utilisation de la méthode de Pareto par rapport aux critères : chiffres d'affaires, nombre de mouvements, etc.).

*L'intérêt d'une répartition par famille est d'analyser la possibilité de concevoir des unités de production par famille (ou quelques familles), cette possibilité conditionnant fortement l'organisation de la fabrication et donc les implantations. On*

(1) Cette méthode générale de sélection appelée loi des 20-80, analyse ABC ou loi de Pareto permet de considérer uniquement les éléments «prioritaires». Dans ce cas ce sont les produits les plus importants par rapport à un critère comme le chiffre d'affaires, le nombre de mouvements interopérations, etc.

*choisit donc de recueillir les données soit au niveau des familles, soit au niveau des produits. Si l'on travaille au niveau des familles, les données pour chaque famille sont alors des moyennes pondérées des données des produits appartenant à la famille.*

#### Dans ce qui suit

Nous présentons la méthode en restant au niveau des produits.

### 1.3.3. Description générale de l'exemple illustrant la méthode

L'exemple issu d'un cas réel vient en support pour expliciter les différentes étapes de la méthode (certaines valeurs citées sont proches des valeurs réelles, d'autres sont fictives).

L'unité industrielle fabrique des pièces en alliage métallique sur quatre types de presses à injection dépendant de la taille des pièces.

Les pièces sortant du moule sous forme de grappe sont ensuite séparées selon trois modes : sur des presses de découpe, dans des machines rotatives ou manuellement.

Ensuite diverses opérations mécaniques et de traitement sont réalisées : ébavurage, usinage, traitement de surface mécanique, finition, nettoyage chimique, traitement de surface électrolytique, assemblage, conditionnement, expéditions.

A côté de ces secteurs liés au processus de fabrication, viennent s'ajouter des secteurs supports comme le compresseur, la station de traitement des effluents, etc. Par ailleurs, on définit les secteurs connexes à la fabrication : méthodes, qualité, etc. et les autres secteurs importants pour les implantations comme les entrées et sorties des véhicules, les parkings de stationnement, les locaux sociaux, etc.

voir en encadré 1, la liste des secteurs définis dans l'exemple et leur désignation abrégée.

### 1.3.4. Les éléments à prendre en compte

Pour faciliter les analyses et la fourniture des informations nécessaires à la méthode, les secteurs sont classés en quatre catégories : les secteurs avec des risques liés à la circulation des véhicules et des personnes, les secteurs avec des ambiances physiques défavorables, les secteurs sans flux matières et les secteurs avec des flux matières.

### Pour les secteurs avec des risques relatifs à la circulation des véhicules, des engins et des personnes

Il est recensé les secteurs liés à la circulation, essentiellement extérieure aux bâtiments, dont l'implantation est importante pour la réduction des accidents.

Ce sont les entrées et les sorties sur le site, les zones de stationnement et d'attente des véhicules, les accès du personnel vers les locaux, les zones de déchargement des matières, fluides et énergies, les zones de chargement (produits finis, déchets), les zones de stockage, etc.

#### ENCADRÉ 1

##### LES SECTEURS DE L'EXEMPLE

Secteur de fabrication	
Presse à injection, modèle A1	A1
Presse à injection, modèle A2	A2
Presse à injection, modèle B	B
Presse à injection, modèle C	C
Séparation des pièces sur presse de découpe	PRES
Séparation des pièces en machines rotatives	MACH
Séparation des pièces manuellement	MANU
Ebavurage	EBAV
usinage	USIN
finition	FINI
nettoyage mécanique	NETT
assemblage	ASS
traitement de surface mécanique	TSME
traitement de surface électrolytique	TSEL
conditionnement	COND
matières premières	MP
réception	RECEPT
expéditions	EXPED
Secteurs techniques supports à la fabrication	
traitement des effluents	EFFL
compresseur	COMP
local produits chimiques	L-CHIM
Secteurs liés à la circulation des véhicules et piétons	
accueil sur le site	ACC
entrée et sortie des poids lourds	ES-PL
entrée et sortie des véhicules légers	ES-VL
parking véhicules légers	PARK-VL
Autres secteurs	
méthodes	METH
qualité	QUAL
administration	ADMI
maintenance	MAINT
locaux sociaux	L-SOC
vestiaires	VESTI



## Pour les secteurs avec des risques liés aux ambiances physiques

Il est identifié les secteurs présentant un risque aussi bien pour l'extérieur de l'entreprise que pour l'intérieur.

La position de certains secteurs à risque pourra être fixée en fonction de l'environnement extérieur, ce qui entraînera des contraintes sur la position d'autres secteurs de l'entreprise (contrainte d'éloignement).

Ces secteurs présentent, par exemple, des risques d'incendie ou d'explosion aussi bien au niveau fabrication qu'au niveau du stockage. Ce peuvent être également des locaux techniques (électricité, combustibles, chaufferie, etc.) ou des secteurs présentant des nuisances sonores ou chimiques, ateliers de presses ou de peinture.

## Pour les secteurs sans flux matières

On détermine les autres secteurs sans flux matières et non pris en compte jusqu'à maintenant. Il est nécessaire de rester à un niveau assez général : certains services sont gardés en tant que secteurs, d'autres sont décomposés en plusieurs secteurs. Ce sont en général les services connexes à la fabrication (qualité, maintenance, méthodes, etc.) et les services généraux de l'entreprise (administration, personnel, informatique, etc.).

## Pour les secteurs avec des flux matières

Ce sont les secteurs, non pris en compte jusqu'à présent et possédant des flux matières liés au processus de fabrication. Ils sont donc identifiés dans les gammes de fabrication des produits.

## 1.4. Implantation générale basée sur les liaisons fonctionnelles entre les secteurs

### 1.4.1. Etablissement du tableau des proximités-éloignements

La **méthode des liaisons fonctionnelles** ou des proximités :

- **rapproche** les secteurs qui ont beaucoup d'échanges entre eux comme des déplacements de personnel, des mouvements de matières ou des communications liées aux mêmes processus ou projets transversaux

- **éloigne** certains secteurs pour des raisons de sécurité, de risques chimiques ou autres nuisances.

Elle est basée sur l'établissement d'un tableau donnant les critères de proximité ou d'éloignement entre les secteurs pris 2 à 2.

Ces critères découlent d'une démarche participative faisant intervenir les personnes des différents secteurs de façon à avoir un point de vue multiple et arriver à un consensus.

La codification des degrés de proximité entre les secteurs est A-E-I-O-U; celle des degrés d'éloignement est X-Z, dont la signification est la suivante :

A	proximité absolument nécessaire ( <i>Absolutely necessary</i> )
E	proximité spécialement importante ( <i>Especially important</i> )
I	proximité importante ( <i>Important</i> )
O	proximité ordinaire ( <i>Ordinary</i> )
U	sans importance ( <i>Unimportant</i> )
X	éloignement spécialement important
Z	éloignement absolument nécessaire

#### Dans ce qui suit

La méthode est présentée en utilisant :

- soit un outil logiciel spécialisé «Factory», lequel emploie la codification anglaise A-E-I-O-U-X-Z;
- soit des outils de bureautique classique (tableur, dessin) pour lesquels nous conservons la même codification, pour des raisons de cohérence.

implantation efficaces pour la réduction des risques.

Il est donc recensé tous les secteurs dont la localisation va jouer un rôle dans la minimisation des trajets et la diminution des risques d'accidents.

Dans la mesure du possible, on essaie de séparer le flux des camions, le flux des personnes et le flux des engins de maintenance. Ce principe conduit à définir une entrée-sortie des camions, différente de l'entrée-sortie pour les piétons et si possible une entrée camion et une sortie camion séparées. Il en résulte des conséquences sur l'implantation des secteurs comme la réception, les expéditions, les points de stockage, les locaux sociaux (restaurant d'entreprise, vestiaires), etc.

- les zones de parking pour les camions doivent éviter les manœuvres et être dimensionnées pour absorber les périodes de pointe de trafic et répondre aux gabarits des véhicules;

- si les parkings des véhicules légers du personnel sont à l'intérieur du site, ils sont séparés du flux des matières et proches des entrées du personnel dans les locaux (vestiaires, bureaux);

- le parking visiteur, s'il est situé à l'intérieur du site, est placé proche de l'entrée ou de l'accueil;

- les quais de déchargement (réception) et de chargement (expédition) sont séparés, éloignés si possible, et dimensionnés en nombre suffisant avec une forme simple (quai droit) et un rangement des camions perpendiculaire au quai;

- les aires de stockage liées à la circulation sont identifiées en tant que secteurs : stockages des matières premières et pièces achetées, produits finis, emballages ainsi que les stockages des déchets, fluides et énergies.

(fig. 4a)

## ■ Secteurs avec des risques liés à la circulation

La circulation à l'intérieur de l'entreprise est source de nombreux accidents du travail (en moyenne 120 000 accidents du travail avec arrêts et une perte directe pour la collectivité nationale de l'ordre de 5 milliards de francs [3]).

Cet aspect est donc primordial, surtout pour les entreprises industrielles. Les secteurs liés à la circulation intérieure doivent être identifiés clairement, de façon à mettre en place une organisation et une



## ■ Secteurs avec des risques liés aux ambiances physiques

### L'éclairage naturel

La lumière naturelle est utilisée en complément de l'éclairage artificiel. Autant que possible, on privilégie l'éclairage naturel par des baies en façade. Le complément de cet éclairage peut se faire par des ouvertures en toiture (sheds, skydomes).

### La vue sur l'extérieur

Les secteurs avec du personnel doivent avoir une vue sur l'extérieur à hauteur des yeux, ce qui implique, avec le point sur l'éclairage naturel, que certains secteurs soient positionnés en périphérie, assez proches des baies vitrées.

### Le bruit

Les secteurs bruyants sont identifiés. Il sera recherché par ordre de priorité :

- une réduction du bruit à la source, par modification ou encoffrement de machine,
- une réduction du bruit direct vers les autres secteurs en faisant une implantation correcte, en isolant ou en fermant partiellement le secteur bruyant, si cela est possible.

Dans l'implantation, on évite de mettre les machines bruyantes près des parois de l'atelier de manière à diminuer la réflexion du bruit sur ces murs ou vitrages. Par ailleurs, pour faciliter les circulations intérieures (engins et personnes), il est intéressant d'avoir des allées en périphérie de l'atelier ce qui contribue à éloigner les machines bruyantes des parois.

A contrario, les secteurs avec des opérateurs pouvant travailler sur des machines bruyantes sont à positionner assez proches des baies vitrées pour bénéficier de la vue sur l'extérieur. Il y a donc lieu de trouver un compromis satisfaisant entre ces éléments contradictoires.

### La chaleur

S'il existe des secteurs sources de chaleur, il est analysé les conséquences de leur implantation sur le reste de l'unité.

### Les pollutions spécifiques : chimiques, poussières, particules de bois, etc.

Les secteurs générant des pollutions chimiques (nettoyage et traitement de surface, cabine de peinture, etc.) ou des atmosphères avec risques d'explosion et d'incendie sont étudiés sur le plan du traitement de ces nuisances et sur le plan de leur localisation (isolement, mise en périphérie, etc.).

## Les vibrations

Les secteurs générant des vibrations comme les presses à emboutir, les machines de découpe, etc. sont analysés au niveau des dispositifs anti-vibratiles ou de leur localisation par rapport aux autres secteurs de l'entreprise.

L'ensemble de ces facteurs contribue à recenser les secteurs avec des ambiances physiques défavorables et facilite les évaluations pour les proximités ou les éloignements.

(fig. 4b)

## ■ Secteurs sans flux matières

Ce sont surtout des secteurs supports; il est analysé les besoins de proximité ou d'éloignement entre les secteurs eux-mêmes, mais surtout par rapport aux secteurs déjà considérés : secteurs avec risques circulation et secteurs aux ambiances physiques défavorables.

(fig. 4c)

## ■ Secteurs avec flux matières

Les secteurs avec flux matières sont pris en compte en deux étapes : la première étape donne les proximités et éloignements inter-secteurs en se basant sur le choix qualitatif (codes A-E-I-O-U-X-Z) des personnes du groupe de travail ou du groupe projet. La deuxième étape donne les proximités à partir du calcul des flux réels des matières.

### 1<sup>re</sup> étape - estimation qualitative

La *figure 4d* vient compléter les parties 4a à 4c par les secteurs avec flux matières ne figurant pas déjà dans les secteurs liés à la circulation et dans les secteurs liés aux ambiances physiques.

On indique les proximités ou éloignements de ces secteurs entre eux et avec les autres secteurs, ceci indépendamment des flux matières éventuels dont on tiendra compte dans la deuxième étape.

### 2<sup>e</sup> étape - estimation quantitative

Le calcul des flux matières s'effectue à partir du programme de production, des gammes de fabrication et des moyens de manutention utilisés.

Le programme donne pour chaque produit fini les quantités prévisionnelles prises comme base dans le calcul des flux.

Un exemple de données pour les gammes et les moyens de manutention est présenté dans le tableau suivant, en prenant pour base le schéma de la figure 5, qui représente le processus de fabrication pour le produit final P, composé de deux sous-ensembles A et B.

Le tableau présente un format possible pour le recueil des données. Pour chaque produit fini, on trouve les quantités, les matières ou composants utilisés, les opérations de fabrication, les moyens de manutention et les temps opératoires, si l'on souhaite calculer les charges.

A partir de ces données on calcule :

- Les mouvements matières entre les postes de charge (machines, équipements) ou ce que nous avons défini comme des secteurs.

- Les charges (en heures par exemple) pour ces différents postes de charge (temps opératoire + temps de changement) permettant de connaître le nombre de machines nécessaires pour répondre au programme de production (exemple : nombre de machines pour l'usinage ou pour l'ébavurage, etc.).

Le nombre d'exemplaires nécessaire pour une même ressource est utilisé dans la méthode de la «gamme enveloppe» pour analyser la possibilité d'éclater ces machines à des étapes différentes du processus afin de faciliter les flux matières (voir § 1.3.1).

Par exemple, le calcul de charge montre la nécessité d'avoir trois machines dans un secteur donné. Au lieu de mettre ces trois machines ensemble dans le même secteur (même poste de charge), il peut être intéressant de mettre deux machines au début du process et la troisième machine en aval dans le process pour éviter des rebroussements dans la circulation des produits.

*Pour le sous-ensemble A du produit final P : nombre de mouvements de matière première entre le stock des matières premières (MP) et l'injection sur presse (A1).*

(Quantité P) x (Quantité de matière utilisée par produit fini)/Nombre d'unités par mouvement

10000 x 0,1/20 = 50 mouvements entre MP et A1

Pour les calculs de charge, on multiplie les temps opératoires (secteur aval) par les quantités et on ajoute les temps de changement de lot si la fabrication est par lot.

Ces calculs peuvent être issus du système de gestion de production de l'entreprise ou être réalisés à partir d'un tableur.



Le calcul des flux matières ou des nombres de mouvements matières entre les secteurs pris 2 à 2 permet de les prendre en compte dans le tableau des proximités et éloignements. Les nombres de mouvements tiennent compte des moyens de manutention ou de transport utilisés pour transférer les produits d'un secteur à l'autre (dans l'exemple, ce sont des mouvements de palettes réalisés avec des transpalettes électriques).

Si des moyens de manutention ou des contenants différents sont utilisés, il est retenu une pondération entre ces différents moyens de façon à obtenir une valeur unique pour le nombre de mouvements entre les secteurs pris 2 à 2.

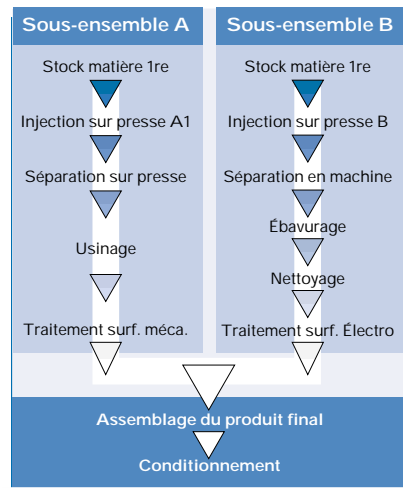


Fig. 5. Processus de fabrication du produit P qui se compose de deux sous-ensembles A et B  
Manufacturing process of product P, made up of two sub-sets A and B

*Autre exemple :*

Entre les secteurs S1 et S2 sont utilisés un transport en roll-container et un transport avec des grands bacs suivant les types de produits manutentionnés.

Le grand bac pourra être pondéré par la valeur 1 alors que le roll-container sera pondéré par la valeur 2 si l'utilisateur juge que le roll-container est deux fois plus «coûteux» en manutention que le grand bac. Cette pondération est indépendante de la quantité de produits que l'on peut mettre dans chaque contenant, cet aspect ayant été pris en compte dans le calcul proprement dit des flux.

Ce calcul des mouvements de matières inclut éventuellement certains secteurs définis en tant que secteurs liés à la circulation ou en tant que secteurs liés aux ambiances physiques, dès lors que ces secteurs comprennent des flux matières et ont été définis dans les gammes de fabrication.

*Exemple :*

Compte tenu des gammes de fabrication des produits, il existe 45 liaisons matières entre les secteurs.

Ces mouvements matières concernent des mouvements de palettes.

Le total des mouvements matières est pris pour base 100.

Le tableau II donne les flux inter-secteurs par ordre d'importance décroissante.

Ce calcul des flux matières permet de définir des degrés de proximité (A-E-I-O-U) entre les secteurs de manière analogue à la démarche utilisée jusqu'à présent et de pouvoir ainsi traiter par la suite, l'ensemble des secteurs.

TABLEAU I

EXEMPLE DE FORMAT POSSIBLE POUR LE RECUEIL DES DONNÉES

Example of possible data collection format

Produit final	Quantité	Ss-ensemble	Quantité par produit fini	Secteur amont	Secteur aval	Moyen de manutention	Nbre d'unités par mouvement	Temps opératoire aval	Taille de lot	Temps de changement de lot
P	10000	ss-ens A	0,1	MP	A1	Tplt	20	0,5	100	30
			1	A1	PRESS	Tplt	100	1	100	10
			1	PRESS	USIN	Tplt	100	0,4	100	20
			1	USIN	TSME	Tplt	100	0,3	100	10
			1	TSME	ASS	Tplt	100	-	100	-
		ss-ens B	0,05	MP	B	Tplt	20	0,7	100	20
			1	B	MACH	Tplt	100	0,4	100	10
			1	MACH	EBAV	Tplt	100	0,3	100	10
			1	EBAV	NETT	Tplt	100	0,2	100	5
			1	NETT	TSEL	Tplt	100	0,5	100	10
A ET B	1		ASS	Tplt	100	1	100	15		
	1	ASS	COND	Tplt	100	0,1	100	10		
Q	20000	etc.								

Temps en minutes  
Tplt = transpalette

TABLEAU II

EXEMPLE DE RÉPARTITION DES FLUX

INTERSECTEURS PAR ORDRE DÉCROISSANT

Example of distribution of intersecting flows in decreasing order

Secteur origine	Secteur destination	Flux en %	Flux cumulé	D° de proximité selon les flux
TSEL	COND	10,2	10,2	A
USIN	NETT	8,0	18,2	E
NETT	TSEL	7,6	25,7	E
MACH	TSME	6,5	32,3	I
TSME	COND	6,0	38,3	I
A2	MACH	5,7	44,0	I
B	MACH	5,4	49,4	I
B	MANU	4,8	54,2	O
MACH	NETT	4,3	58,5	O
...	...	...	...	...

L'utilisateur choisit les pondérations relatives entre les flux et en conséquence des degrés de proximité entre les secteurs.

**Le choix suivant est retenu :**

- degré de proximité A pour les flux les plus importants représentant jusqu'à 10 % du flux total (dans l'exemple, une seule liaison de type A : TSEL – COND),
- degré de proximité E pour les flux suivants représentant ensemble jusqu'à 20 % du flux total. Les flux cumulés des liaisons A et E représentant alors 30 % du flux total (dans l'exemple, 2 liaisons de type E : USIN – NETT  
NETT – TSEL),
- degré de proximité I pour les flux suivants représentant ensemble 20 % du flux total. En cumul, les liaisons A, E et I représentant 50 % du flux total (dans l'exemple, 4 liaisons de type I : MACH – TSME,  
TSME – COND,  
A2 – MACH  
B – MACH).
- degré de proximité O pour les flux restants, ces flux représentant 50 % du flux total (en cumul, les liaisons A, E, I et O représentent 100 % du flux total).

Cette classification des flux, selon une pondération choisie par l'utilisateur, permet d'avoir des valeurs qualitatives (A-E-I-O) pour les flux et donc de les prendre en compte, si on le souhaite, dans la méthode

des proximités ou liaisons fonctionnelles.

La **figure 6** donne l'ensemble des relations fonctionnelles entre les secteurs (proximités et éloignements). En «gras» figurent les codes de proximités A-E-I-O issus du calcul des flux matières. Certaines cases comportent deux codes : un code issu de la première étape (évaluation qualitative) et un code issu du calcul des flux matières ci-dessus : on ne retient par la suite, que le code de plus fort poids.

**Exemple :**

Entre le secteur MP (matière première) et le secteur B (injection presse B), on trouve le code A, choix effectué lors de la première étape et le code O issu du calcul des flux.

Le code A est retenu car il a le poids le plus fort : proximité absolument nécessaire entre MP et B.

**Remarque**

Cette démarche en deux étapes :

- 1) évaluation qualitative des proximités-éloignements
  - 2) calcul des flux matières et transformation en valeurs qualitatives A-E-I-O,
- puis choix du code de plus fort poids pour chaque case, peut-être complétée par la méthode exposée au § 1.6 «...». En effet, on y tient compte de deux valeurs possibles dans une case, sans choisir a priori la valeur de plus fort poids, mais en prenant une valeur pondérée.

**1.4.2. Méthode «manuelle» de résolution**

La méthode exposée dans ce paragraphe n'utilise que des outils classiques de bureautique (tableur, dessin).

Le tableau des proximités (**fig. 6**) est réorganisé en classant les relations par ordre d'importance décroissante des proximités (codes A, puis E, I, O, U) et par ordre d'importance des éloignements (codes X, Z).

Ce qui donne le tableau III pour l'exemple étudié.

Sur un plan en «nid d'abeille», on positionne les secteurs par ordre d'importance des proximités en commençant par les liaisons de type A. Puis ensuite les secteurs avec des liaisons de type E sont positionnés en fonction du nombre de liaisons (E) de chaque secteur déjà positionné.

**Exemple :**

Les secteurs avec des liaisons A sont d'abord positionnés : COND, TSEL, B, MP, ACC et ES-PL.

TSEL possède trois liaisons E avec NETT, EFFL et L-CHIM

COND a deux liaisons E avec FINI et EXPED

MP a deux liaisons E avec C et RECEPT  
ACC et ES-PL n'ont pas de liaison E

On placera donc dans l'ordre les secteurs liés avec TSEL (NETT, EFFL et L-CHIM), puis ceux liés avec COND (FINI, EXPED) puis ceux liés avec MP (C et RECEPT).

Secteurs avec risques liés à la circulation des véhicules-engins-personnes								Autres secteurs avec risques potentiels et nuisances (ambiance physique)				Autres secteurs sans flux matières				Autres secteurs avec flux matières																
ES-PL	ES-VL	PARK	ACC	RECEPT	EXPED	VESTI	L-SOC	COMP	EFFL	L-CHIM	TSEL	MACH	ADMI	QUAL	MAINT	METH	MP	A1	A2	B	C	MANU	PRES	EBAV	USIN	ASS	TSME	NETT	FINI	COND		
	X	X	A				Z																									ES-PL
		E					X																									ES-VL
														I																		PARK
																																ACC
																																RECEPT
																																EXPED
											X																					VESTI
																																L-SOC
																																COMP
																																EFFL
																																L-CHIM
																																TSEL
																																MACH
																																ADMI
																																QUAL
																																MAINT
																																METH
																																MP
																																A1
																																A2
																																B
																																C
																																MANU
																																PRES
																																EBAV
																																USIN
																																ASS
																																TSME
																																NETT
																																FINI
																																COND

**Fig. 6. Ensemble des relations fonctionnelles entre les secteurs compte tenu des codes résultant du calcul de flux matières**  
Full set of functional relations between sectors bearing in mind the codes obtained by calculating flows of materials

**Code des proximités - éloignements**

**Proximités**

- A : absolument nécessaire
- E : spécialement important
- I : importante
- O : ordinaire
- U : sans importance

**Eloignements**

- X : spécialement important
- Z : absolument nécessaire

TABLEAU III

## EXEMPLE DE RÉORGANISATION PAR TYPE DES RELATIONS DE PROXIMITÉS ET ÉLOIGNEMENTS

Example of reorganisation by type of proximity and distance relationships

Type A			Type E			Type I			Type O			Type X			Type Z		
Secteur	secteur	Code	Secteur	secteur	Code	Secteur	secteur	Code	Secteur	secteur	Code	Secteur	secteur	Code	Secteur	secteur	Code
COND	TSEL	A	NETT	USIN	E	MACH	TSME	I	B	MANU	0	ADMI	COMP	X	ES-PL	L-SOC	Z
B	MP	A	NETT	TSEL	E	COND	TSME	I	MACH	NETT	0	ADMI	EFFL	X			
ACC	ES-PL	A	COND	FINI	E	A2	MACH	I	EBAV	MANU	0	ADMI	EXPED	X			
			C	PRES	E	B	MACH	I	EBAV	USIN	0	ADMI	L-CHIM	X			
			ASS	TSME	E	A2	MP	I	TSEL	TSME	0	ADMI	MACH	X			
			C	MP	E	A1	MP	I	A1	MACH	0	ADMI	RECEPT	X			
			A1	COMP	E	ADMI	L-SOC	I	COND	NETT	0	COMP	L-SOC	X			
			A2	COMP	E	ADMI	PARK-VL	I	NETT	TSME	0	ES-PL	ES-VL	X			
			B	COMP	E	B	MAINT	I	EBAV	NETT	0	ES-PL	PARK-VL	X			
			C	COMP	E	EBAV	METH	I	EBAV	TSEL	0	ES-PL	L-SOC	X			
			COND	EXPED	E	MAINT	USIN	I	TSME	USIN	0	L-CHIM	L-SOC	X			
			EFFL	TSEL	E	PARK-VL	VESTI	I	COND	EBAV	0	L-CHIM	VESTI	X			
			ES-VL	PARK-VL	E				FINI	TSEL	0						
			FINI	QUAL	E				C	MANU	0						
			L-CHIM	TSEL	E				B	PRES	0						
			L-SOC	VESTI	E				MANU	USIN	0						
			MP	RECEPT	E				ASS	COND	0						
									MACH	USIN	0						
									MANU	NETT	0						
									EBAV	MACH	0						
									EBAV	TSME	0						
									FINI	NETT	0						
									FINI	TSME	0						
									PRES	USIN	0						
									MACH	TSEL	0						
									A2	TSME	0						
									NETT	PRES	0						
									C	MACH	0						
									EBAV	FINI	0						
									MANU	TSME	0						

Les secteurs restants sont positionnés en fonction du nombre de liaisons avec les autres secteurs déjà positionnés.

Ce principe est appliqué de proche en proche pour les liaisons I et O. Dans ce processus itératif de positionnement sur la grille en «nid d'abeille», on tient compte des éloignements nécessaires entre les secteurs (liaisons X et Z).

La figure 7 donne un schéma possible d'implantation indépendant des besoins en surfaces des secteurs (seules les liaisons A-E-I sont représentées afin de ne pas surcharger le graphique).

A partir du schéma en nid d'abeille, on établit un schéma avec des surfaces égales pour tous les secteurs et de forme carrée, ceci afin de préparer la prise en compte des besoins réels en surfaces des secteurs. Les secteurs sont positionnés en lisant le schéma en lignes horizontales ou en lignes orientées à 60° ou en lignes orientées à -60°.

Certains secteurs peuvent être déplacés pour mieux prendre en compte certaines proximités ou contraintes. On aboutit ainsi, par itérations successives, à un schéma analogue à celui de la figure 8 établi à partir d'une lecture en ligne de la structure en nid d'abeille et de permutations des secteurs : EBAV – METH.

En résumé, l'établissement de ce premier projet d'implantation résulte d'une démarche itérative et d'un consensus obtenu dans le groupe projet sur les avantages et les inconvénients de telle ou telle solution.

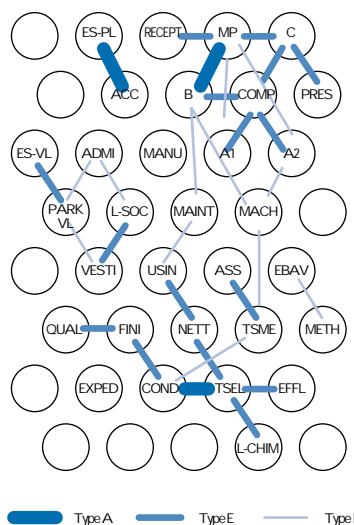


Fig. 7. Schéma possible d'implantation dit en «nid d'abeille» (seules les liaisons A-E-I sont représentées)  
Possible layout in "honeycomb" configuration (only links A-E-I are shown)

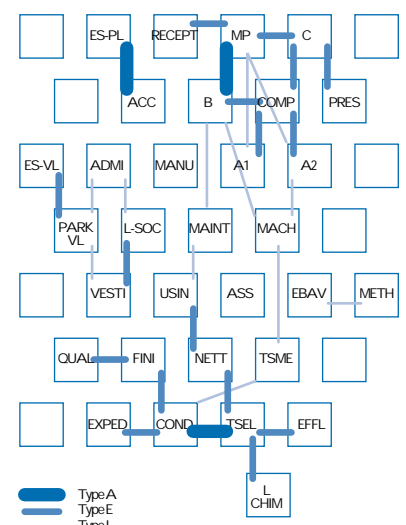


Fig. 8. Transposition du schéma en «nid d'abeille» avec des surfaces égales pour tous les secteurs et de formes carrées  
Transposal of "honeycomb" configuration with equal surfaces for all sectors and square shapes

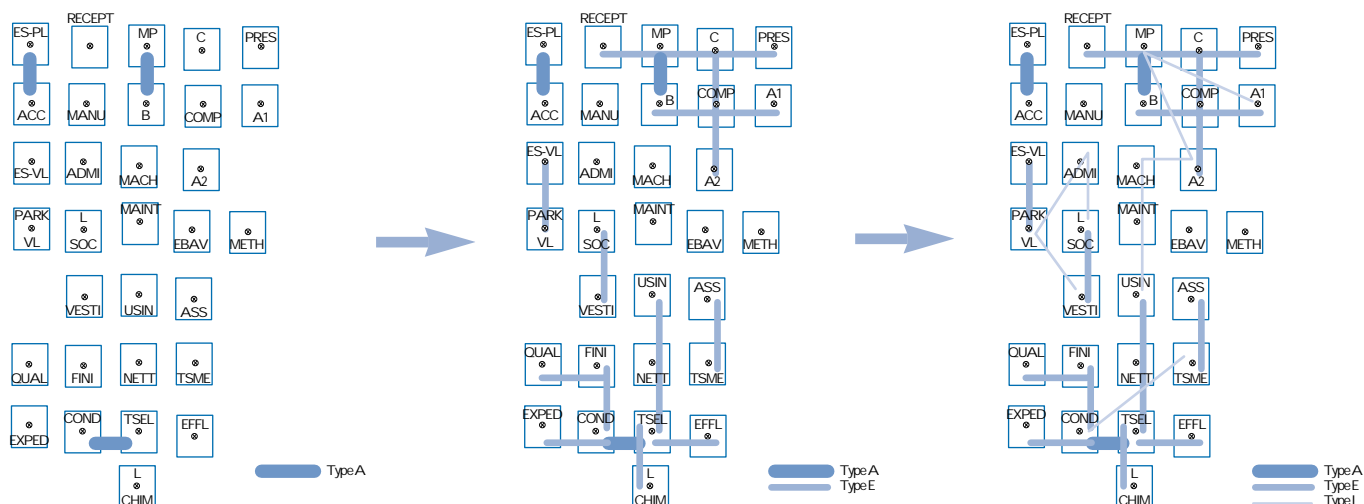


Fig. 9. Schéma de l'implantation générale basée sur les proximités et éloignements. Mises en place successives des liaisons de type A, puis E, puis I - Diagram of general layout based on relations of proximity and distance. Successive implementation of type A links, then E, then I

1.4.3. Méthode de résolution utilisant un outil logiciel

Le principe est le même que dans la méthode «manuelle». Les secteurs sont positionnés en fonction de leur importance (A-E-I-O-U-X-Z) dans le tableau des proximités-éloignements. «Factoryplan», le logiciel utilisé [9], fonctionne sous le logiciel de dessin Autocad ce qui permet de bénéficier des fonctionnalités de ce dernier dans le processus itératif d'amélioration basé sur les déplacements de certains secteurs.

Deux options principales existent (dans les deux cas, l'utilisateur peut déplacer certains secteurs de façon à améliorer la solution) :

1<sup>re</sup> option

Chaque type de proximité est tracé successivement : d'abord le type A, puis le type E, etc. (fig. 9).

2<sup>e</sup> option

L'implantation s'effectue en traçant les liaisons à partir des secteurs ayant le plus fort impact sur les autres secteurs en fonction des proximités et éloignements indiqués dans le tableau. Dans cet exemple le secteur ES-PL a le poids le plus important, puis vient ensuite TSEL, puis MP, etc. (voir fig. 10).

Pour évaluer la qualité des différents schémas d'implantation, un calcul de «score» est effectué prenant en compte le respect, plus ou moins correct, des contraintes de proximité et d'éloignement.

Les secteurs seront, comme dans le paragraphe précédent, séparés entre secteurs avec risques liés à la circulation, secteurs avec risques liés aux ambiances physiques et les autres secteurs restants avec des flux matières (cf. exemple tableau IV).

Exemple :

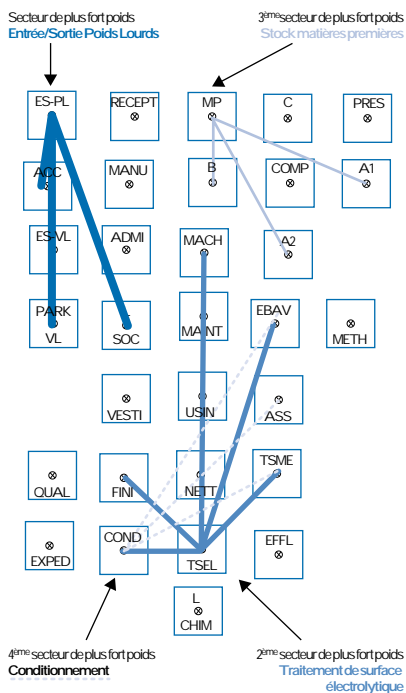
Dans les gammes de fabrication, il n'a pas été défini de secteurs avec des flux et des risques liés à la circulation. Par contre, deux secteurs définis dans les gammes impliquent des nuisances liées aux ambiances physiques : à cause des nuisances chimiques (TSEL) et à cause des nuisances sonores (MACH).

Le reste du tableau IV donne les autres secteurs des gammes avec des flux exprimés en pourcentages du flux total matières.

Dans la méthode manuelle, on classe les flux matières inter-secteurs selon des catégories analogues à celles du paragraphe 1.4.1 (classification selon la méthode de Pareto). On commence par positionner les secteurs par ordre d'importance des flux et, par itérations successives, on obtient un schéma d'implantation répondant à plusieurs critères : les secteurs avec des flux importants sont proches, les secteurs avec des nuisances (TSEL) peuvent être localisés en périphérie de l'atelier, etc. L'outil logiciel Factoryplan permet d'analyser différentes solutions.

Dans la figure 11, les schémas d'implantation montrent les flux matières en fonction des poids des secteurs : le secteur de plus fort poids pour les flux est le conditionnement, suivi du traitement de surface électrolytique, puis du nettoyage, etc.

(Dans cet exemple seul les flux supérieurs à 1 % sont tracés).



1.5. Implantation générale basée uniquement sur les flux matières

Au lieu de prendre tous les secteurs comme dans le § 1.4, on ne retient que ceux ayant des flux matières définis dans les gammes de fabrication. On obtient alors le tableau des flux donnant les nombres de mouvements entre les secteurs pris 2 à 2. Dans cette approche, l'utilisateur souhaite privilégier les flux en optimisant principalement les coûts de maintenance et transport et les délais de fabrication.

Fig. 10. Schéma d'implantation générale basée sur les proximités et éloignements Diagram of general layout based on relations of proximity and distance

### 1.6. Implantation générale basée sur le mixte «proximités et flux»

Dans le paragraphe 1.4.1, les valeurs quantitatives des flux matières ont été transformées en valeurs A-E-I-O permettant ainsi de les prendre en compte dans le tableau *qualitatif* des proximités et éloignements.

La méthode mixte exposée ici s'apparente au processus inverse : les valeurs qualitatives A, E, I, O, U, X, Z de proximités-éloignements sont transformées en valeurs quantitatives par le biais d'une pondération choisie par l'utilisateur (généralement on prend les valeurs suivantes : A = 100, E = 50, I = 20, O = 5, U = 0, X = - 50, Z = - 100). Les flux matières sont eux généralement exprimés en pourcentages par rapport à la base 100 du flux inter-secteur le plus grand.

La valeur résultante entre deux secteurs est alors calculée de la façon suivante :

$$(Poids\ proximité) \times (facteur\ proximité) + (flux\ matières) \times (facteur\ flux)$$

Si on accorde la même importance aux flux et aux relations de proximité alors le facteur proximité et le facteur flux sont égaux (facteur proximité = facteur flux = 0,5).

Si on choisit de donner deux fois plus d'importance aux flux qu'aux proximités, le facteur flux est égal à 0,67 et le facteur proximité à 0,33 (le complément à 1).

**Exemple :**

Entre le secteur S1 et le secteur S2, la proximité souhaitée est codée E, de poids 50 et le flux matières est égal à 16 % du plus grand flux.

le facteur flux est égal à 0,67

d'où le facteur proximité est égal à 0,33 valeur résultante entre S1 et S2 = 50 x 0,33 + 16 x 0,67 = 27,2.

Le tableau V présente le calcul des valeurs résultantes (proximités + flux) pour les liaisons entre les secteurs pris 2 à 2 (facteur proximité = facteur flux = 0,5). Les valeurs absolues résultantes sont classées par ordre décroissant.

TABLEAU IV

Secteurs avec flux et risques liés aux ambiances physiques				Secteurs restants avec flux matières														
TSEL	MACH	MP	A1	A2	B	C	MANU	PRES	EBAV	USIN	ASS	TSME	NETT	FINI	COND	TSEL		
	0,3								1,4							TSEL		
			2,5	5,7	5,4	0,1			0,5	0,6			3,1	7,6	1,1	10,2		
			0,4	0,5	0,9	0,7							6,5	4,3		MACH		
		A1														MP		
		A2										0,2				A1		
		B						4,8	0,8							A2		
		C						0,9	1,3							B		
		MANU								4,1	0,8	0,1	0,6			C		
		PRES								1,6	0,4		0,2			MANU		
		EBAV												0,1		PRES		
		USIN												0,5	2	EBAV		
		ASS											1,3	8		USIN		
		TSME												1,1		ASS		
		NETT											2,3	0,4	6	TSME		
		FINI											0,4	2,3		NETT		
		COND												2		FINI		
															2,4	COND		
																100		

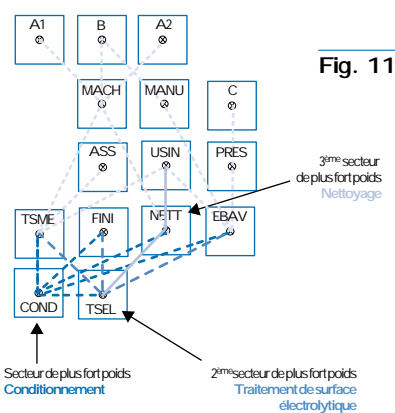


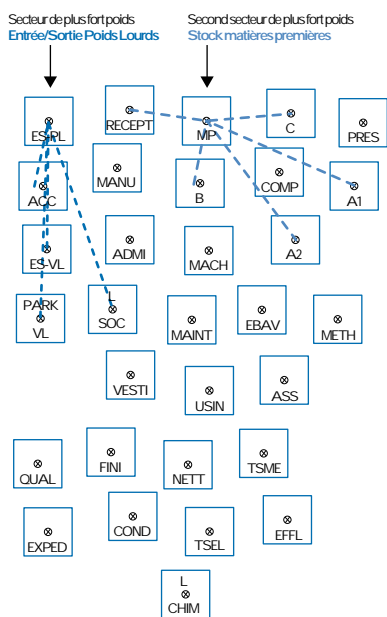
Fig. 11

TABLEAU V

**VALEURS RÉSULTANTES : PROXIMITÉS-ÉLOIGNEMENTS, FLUX MATIÈRES (CLASSÉS PAR ORDRE DÉCROISSANT D'IMPORTANCE)**  
Resulting values : proximity and distance relationships, intersecting flows in decreasing order

Secteur	Secteur	Code proximité	Flux matière	Valeur résultante	Valeur absolue	Secteur	Secteur	Code proximité	Flux matière	Valeur résultante	Valeur absolue
B	MP	A	8	54	54	MACH	NETT	U	42	21	21
ACC	ES-PL	A	0	50	50	EBAV	MANU	U	40	20	20
COND	TSEL	U	100	50	50	EBAV	USIN	U	35	17,5	17,5
ES-PL	L-SOC	Z	0	-50	50	TSEL	TSME	U	30	15	15
NETT	USIN	U	78	39	39	A1	MACH	U	24	12	12
NETT	TSEL	U	74	37	37	A1	MP	I	4	12	12
COND	FINI	F	20	35	35	A2	MP	I	4	12	12
MACH	TSME	U	64	32	32	COND	NETT	U	23	11,5	11,5
C	PRES	E	13	31,5	31,5	NETT	TSME	U	23	11,5	11,5
ASS	TSME	E	11	30,5	30,5	ADMI	L-SOC	I	0	10	10
COND	TSME	U	59	29,5	29,5	ADMI	PARK-VL	I	0	10	10
C	MP	E	6,9	28,45	28,45	B	MAINT	I	0	10	10
A2	MACH	U	56	28	28	EBAV	METH	I	0	10	10
B	MACH	U	53	26,5	26,5	EBAV	NETT	U	20	10	10
A1	COMP	E	0	25	25	MAINT	USIN	I	0	10	10
A2	COMP	E	0	25	25	PARK-VL	VESTI	I	0	10	10
B	COMP	E	0	25	25	EBAV	PRES	U	16	8	8
C	COMP	E	0	25	25	EBAV	TSEL	U	14	7	7
COND	EXPED	E	0	25	25	TSME	USIN	U	13	6,5	6,5
EFFL	TSEL	E	0	25	25	COND	EBAV	U	12	6	6
ES-VL	PARK-VL	E	0	25	25	FINI	TSEL	U	11	5,5	5,5
FINI	QUAL	E	0	25	25	C	MANU	U	9	4,5	4,5
L-CHIM	TSEL	E	0	25	25	B	PRES	U	8,8	4,4	4,4
L-SOC	VESTI	E	0	25	25	MANU	USIN	U	8	4	4
MP	RECEPT	E	0	25	25	ASS	COND	U	7	3,5	3,5
ADMI	COMP	X	0	-25	25	MACH	USIN	U	6	3	3
ADMI	EFFL	X	0	-25	25	MANU	NETT	U	6	3	3
ADMI	EXPED	X	0	-25	25	EBAV	MACH	U	5	2,5	2,5
ADMI	L-CHIM	X	0	-25	25	EBAV	TSME	U	5	2,5	2,5
ADMI	MACH	X	0	-25	25	FINI	NETT	U	4	2	2
ADMI	RECEPT	X	0	-25	25	FINI	TSME	U	4	2	2
COMP	L-SOC	X	0	-25	25	PRES	USIN	U	4	2	2
ES-PL	ES-VL	X	0	-25	25	MACH	TSEL	U	3	1,5	1,5
ES-PL	PARK-VL	X	0	-25	25	A2	TSME	U	2	1	1
ES-VL	L-SOC	X	0	-25	25	C	MACH	U	2	1	1
L-CHIM	L-SOC	X	0	-25	25	EBAV	FINI	U	1	0,5	0,5
L-CHIM	VESTI	X	0	-25	25	MANU	TSME	U	1	0,5	0,5
B	MANU	U	47	23,5	23,5						





**Fig. 12. Implantation basée sur le mixte des proximités et des flux matières**  
Layout based on combination of proximity and flows of materials

Une classification (méthode de Pareto par exemple) permet de positionner les secteurs sur une structure en «nid d'abeille» comme au § 1.4.1 et ensuite de réaliser un schéma d'implantation avec des secteurs de surfaces unitaires comme sur la figure 8.

L'outil logiciel Factoryplan permet de simuler différentes valeurs de pondération entre les flux et les proximités et d'analyser la stabilité des projets d'implantation.

La figure 12 présente un projet d'implantation montrant les importances relatives des différents secteurs dans le processus de positionnement des secteurs.

## 1.7. Implantation générale tenant compte des besoins en surfaces

La méthode exposée dans ce paragraphe s'intéresse au cas où l'implantation générale est basée sur le mixte proximités et flux. Cependant, elle est applicable au cas où l'implantation est basée sur les liaisons fonctionnelles (§ 1.4) et au cas où elle est basée sur les flux matières seuls (§ 1.5).

Jusqu'à présent les méthodes et schémas présentés sont indépendants des besoins en surfaces. Dans les différents sché-

mas présentés jusqu'à maintenant, les surfaces des secteurs sont toutes égales à la valeur 1 par convention.

Maintenant ces besoins sont évalués secteur par secteur.

### 1.7.1. Calcul des besoins prévisionnels en surfaces des secteurs

Pour les secteurs indépendants des flux matières

Il est évalué les surfaces conformément aux recommandations ou normes [2]; ce sont généralement des bureaux. Si certains secteurs incluent des équipements, les surfaces sont calculées de la manière exposée ci-dessous.

Pour les secteurs liés à la circulation extérieure

Le calcul des besoins en surface est réalisé en fonction des pointes de trafic prévisibles. Une zone de parking d'attente pour le déchargement des camions est dimensionnée en fonction du nombre maximal de camions admis et des recommandations sur les surfaces de stationnement.

Les voies de circulation ne sont pas considérées comme des secteurs, cependant les surfaces correspondantes devront être prises en compte dans l'implantation générale (exemple : voies de circulation des camions et véhicules légers : 6,5 m en double sens - [3]).

Pour les secteurs liés aux flux matières

On calcule le nombre d'unités de ressources nécessaires. A partir du programme prévisionnel de production des gammes de fabrication donnant le temps opératoire de la ressource par produit, on calcule le nombre d'unités de la ressource nécessaire pour assurer le programme de production (voir § 1.3.4).

*Exemple :*

Soit le produit P

Volume de production annuel = 100000.

Gamme pour P : ressources R1, R2, R3, etc.

R1 est composée de tours, le temps opératoire sur le tour est de 5 minutes.

Nombre d'heures de travail par jour : 8 heures,

Temps utile machine hors arrêt et incident : 7 heures soit 420 min (temps productif).

La capacité journalière d'un tour est donc de  $420/5 = 84$  produits.

Soient 220 J travaillés par an. La capacité de production annuelle d'un tour est de  $220 \times 84 = 18480$  produits.

Le nombre de tours nécessaires pour

répondre aux besoins est de 5,5 soit 6 tours ( $100000/18480 = 5,5$ ).

Le secteur 1 représentant la ressource R1 est composé de 6 tours, on calcule alors les surfaces au sol occupées par ces machines, les surfaces pour les opérateurs, les dégagements et accès pour la maintenance [2] donnant ainsi la surface nécessaire pour implanter le secteur 1.

A ces surfaces nettes utiles, on peut appliquer des coefficients majorants pour trouver la surface hors œuvre nette. Cette majoration correspond aux surfaces pour les sanitaires, vestiaires, douches, pour les circulations horizontales (paliers, allées), pour les circulations verticales (ascenseurs, escaliers, gaines), pour les locaux techniques communs non définis en tant que secteurs.

Pour les bureaux : coefficient 1.35.

Pour les laboratoires, ateliers de fabrication, bureaux liés à la fabrication : coefficient 1.10.

Pour la maintenance, stockage intérieur, logistique : coefficient 1.30.

Pour les locaux d'accueil : coefficient 1.35.

Remarque :

Si ces locaux sanitaires, vestiaires ont été définis en tant que secteurs, il ne faudra pas les compter dans ce coefficient de majoration.

On trouvera des méthodes de calcul des besoins en surface dans [4] et [5].

### 1.7.2. Méthode pour l'implantation générale

On part du projet d'implantation «mixte» (proximités + flux) du paragraphe 1.6, réalisé avec des surfaces unitaires égales pour tous les secteurs (fig. 12).

Le calcul des besoins en surfaces donne la surface totale nécessaire. A partir d'une première ébauche du plan masse, tenant compte de la configuration du terrain sur lequel se fera la nouvelle implantation, on vient positionner les secteurs niveau par niveau, suivant l'ordre du schéma «nid d'abeille».

*Explication sur un exemple simplifié*

La méthode mixte «proximités et flux» (§ 1.6) donne le schéma en «nid d'abeille» de la figure 13. Le calcul des besoins en surfaces des secteurs donne le tableau suivant (en m<sup>2</sup>) :

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
70	210	160	120	245	95	235	54	182	77	228	130	42

Le besoin total en surface est de 1848 m<sup>2</sup>.

Le niveau 1 (S1 + S3 + S8) nécessite 284 m<sup>2</sup>, le niveau 2 (S4 + S2 + S9 + S10) nécessite 589 m<sup>2</sup>, le niveau 3 : 568 m<sup>2</sup> et le niveau 4 : 407 m<sup>2</sup>.

L'ensemble des secteurs est implanté dans un bâtiment de 55 m x 33,6 m soit 1848 m<sup>2</sup>.

Les secteurs sont implantés sur la surface totale de bâtiment.

Pour S1 + S3 + S8, la largeur X est égale à 33,6 m, l'autre dimension Y est donc égale à la surface divisée par la largeur soit 284 m<sup>2</sup>/33,6 m = 8,4 m.

Pour S4 + S2 + S9 + S10, on trouve une dimension Y de 17,5 m, etc.

Ensuite, pour chaque secteur on calcule l'autre dimension sachant que les surfaces sont supposées être rectangulaires S1 : (surface = 70 m<sup>2</sup>)/(8,4 m) = 8,3 m en X.

S3 : 160 m<sup>2</sup>/8,4 m = 18,9 m en X.

Ceci permet de passer à un schéma d'implantation comme celui de la *figure 14*.

#### Exemple réel

##### ● Méthode «manuelle»

A partir de l'exemple réel retenu ici, on applique la méthode manuelle au schéma de la figure 12 construit à partir du schéma en «nid d'abeille». On obtient alors un schéma d'implantation ressemblant à ceux de la figure 15.

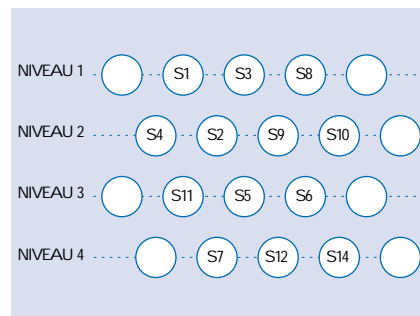
##### ● Outil logiciel

Le logiciel Factoryplan opère de manière semblable avec la possibilité de prendre en compte en données la proportion entre la longueur et la largeur de chaque secteur ou des surfaces de secteurs en forme de L.

La première étape consiste à positionner les secteurs par niveaux en prenant des surfaces carrées pour chaque secteur (*fig. 15a*).

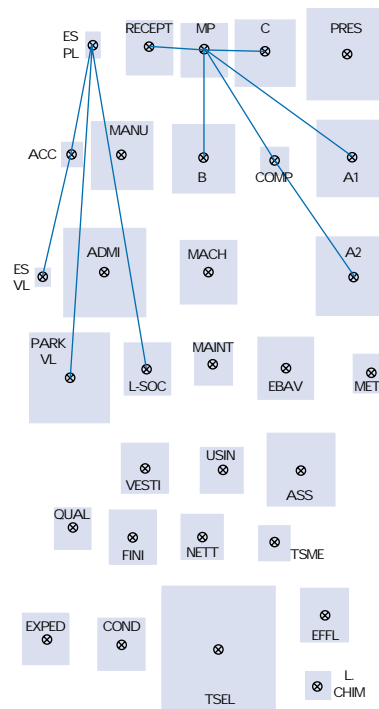
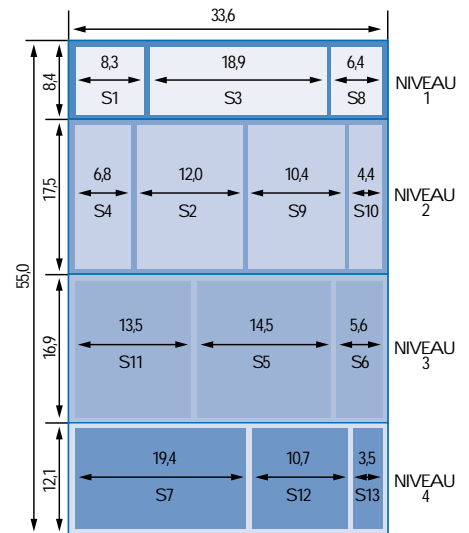
Ensuite, en fonction de la configuration du bâtiment, on ajuste la proportion longueur, largeur de certains secteurs. Par itérations successives, on obtient un projet d'implantation répondant aux principaux critères définis par l'utilisateur : proximités, éloignements, flux matières (*fig. 15b*).

(Dans cet exemple le compresseur (COMP) a été permuté avec A1 car c'est un secteur bruyant que l'on souhaite isoler en périphérie du bâtiment. De même, le secteur MACH, séparation des pièces en machines, est éloigné des bureaux administratifs en le permutant avec A2.

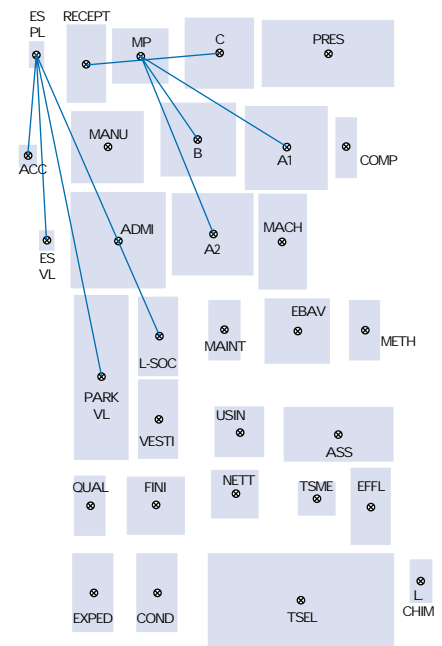


**Fig. 14. Schéma d'implantation des secteurs en tenant compte des surfaces**  
Sector layout diagram taking surface areas into account

**Fig. 13. Positionnement des secteurs niveau par niveau, suivant l'ordre du schéma en nid n'abeille**  
Positioning of sectors, level by level, in the order of the "honeycomb" diagram



**Fig. 15a. Positionnement des secteurs par niveau en travaillant d'abord avec des surfaces carrées**  
Positioning of sectors by level, working first with square areas



**Fig. 15b. Ajustement, par itérations successives, des proportions des secteurs en fonction de la configuration du bâtiment**  
Adjustment, by successive iteration, of the proportions of the sectors according to the configuration of the building

#### Dans ce qui suit

Au § 1.8, nous revenons sur les modifications possibles de ce schéma suite à la phase de validation et de respect des contraintes : circulation, ambiances physiques, flux matières.

## 1.8. Validation du projet d'implantation générale

Cette étape de validation est réalisée avec les futurs utilisateurs qui ont été impliqués tout au long du processus

A partir du schéma d'implantation générale du type de celui de la *figure 15b*, on peut construire une première maquette visualisant les surfaces des secteurs, les allées de circulation des véhicules, des engins et des personnes, les échanges et communications entre les services, les flux des matières et produits.

Le projet d'implantation générale résulte d'un compromis multicritère cherchant à optimiser les objectifs : de réduction des risques, d'amélioration des conditions de travail, d'augmentation des performances de l'entreprise.

Dans cette étape de validation, cette maquette peut aider à s'assurer que le projet de conception ne s'est pas dégradé au cours du déroulement du processus et que l'on est toujours cohérent par rapport à ces objectifs. La participation des futurs utilisateurs à la validation peut-être facilitée par l'existence d'une telle maquette représentative.

Une analyse fine de l'implantation est réalisée en regard des points suivants

- la position des secteurs avec du personnel en fonction de l'éclairage naturel par des baies en façades et par rapport à la vue sur l'extérieur;
- les secteurs bruyants, qui n'ont pu être traités pour des raisons techniques ou économiques, sont examinés en fonction de leur localisation. Si, pour des raisons d'organisation de la production et de flux des produits, on est amené à implanter un secteur bruyant proche d'autres secteurs avec des opérateurs, on étudiera les solutions suivantes : réduction du bruit à la source, réduction du bruit direct vers les autres secteurs en isolant ou en fermant partiellement le secteur bruyant, si cela est possible. Dans un atelier ouvert, le bruit pourra être atténué en suspendant des baffles d'absorption du bruit réfléchi ou/et en traitant les murs et le plafond. Pour diminuer le bruit direct, des séparations ou cloisons absorbantes peuvent être utilisées, sachant qu'elles créent des inconvénients pour les flux matières et la visibilité dans l'atelier et être ainsi cause d'accident.

Les secteurs identifiés avec des contraintes thermiques (chaleur), de pollutions spécifiques, de vibrations sont de nouveau analysés quant à leur localisation par rapport aux autres secteurs, des modifications pouvant être apportées en trouvant une

localisation plus opportune dans une zone excentrée facilitant par exemple une ventilation plus efficace.

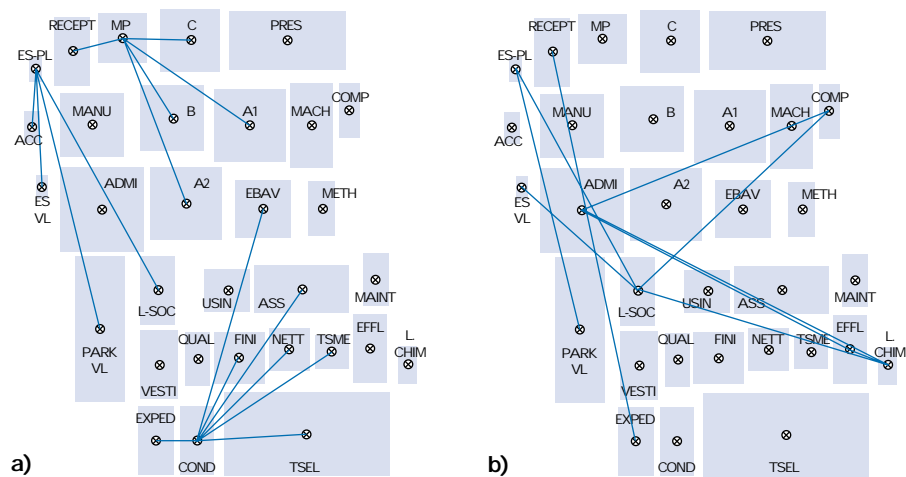
Cette validation globale vérifie donc que l'on prend bien en compte simultanément les facteurs de réduction des risques, d'amélioration des conditions de travail et d'augmentation des performances de façon à obtenir un projet satisfaisant pour l'ensemble des futurs utilisateurs.

La *figure 16* présente une modification de la localisation de certains secteurs par rapport à la *figure 15b*, de façon à tenir compte d'un certain nombre d'éléments exposés dans ce paragraphe.

Les secteurs compresseur (COMP), local produits chimiques (L-CHIM) et traitement de surface électrolytique (TSEL) sont mis en périphérie pour avoir des ouvertures ou des accès sur l'extérieur du bâtiment (réduction des risques et des nuisances).

Le secteur Parking-VL (PARK-VL) est séparé de la production mais proche des accès sur le site et des vestiaires du personnel.

L'implantation des secteurs sur ce schéma est donnée à titre illustratif et n'a donc pas de caractère général.



**Fig. 16. a) Projet d'implantation générale avec les trois secteurs de plus fort poids. b) Tracé des liaisons avec les secteurs à éloigner**

a) General layout project with the three heaviest sectors. b) Diagram of links with sectors to be kept remote

## 2. Méthode pour l'implantation détaillée

A partir de l'implantation générale retenue, il est défini les secteurs qui seront analysés plus finement. Ce sont des bureaux ou des espaces de production correspondants aux secteurs définis précédemment et constituant un atelier ou plusieurs ateliers de fabrication.

### Dans ce qui suit

Nous utilisons le terme « atelier » pour désigner la zone sur laquelle porte l'implantation détaillée.

La *figure 17* présente la méthode pour l'implantation détaillée et l'organisation de ce chapitre.

### 2.1. Recueil des données sur l'activité

Ces données sont cohérentes avec celles utilisées pour l'implantation générale. Par exemple, si les données recueillies pour l'implantation générale sont au niveau des familles de produits, ici les données pourront être au niveau des produits eux-mêmes. Ainsi, les quantités de production pour les familles sont cohérentes avec les quantités définies pour les produits constitutifs de la famille, de même au niveau des gammes, etc.

Ces données sont celles définies pour la gestion de production : les gammes de fabrication, les postes de charges (ou ressources ou équipements) utilisés, les moyens de manutention et de transport, la structure ou la nomenclature des produits, le programme de production.

Les *tableaux de recueil des données* sont donc semblables à ceux du tableau I (§ 1.4). Une autre forme de tableaux de données est présentée plus loin (tableau VI).

**Pour les gammes :** enchaînement des opérations de fabrication, temps opératoires (opérateurs et machines), postes de charges (machines, équipements), moyens de manutention.

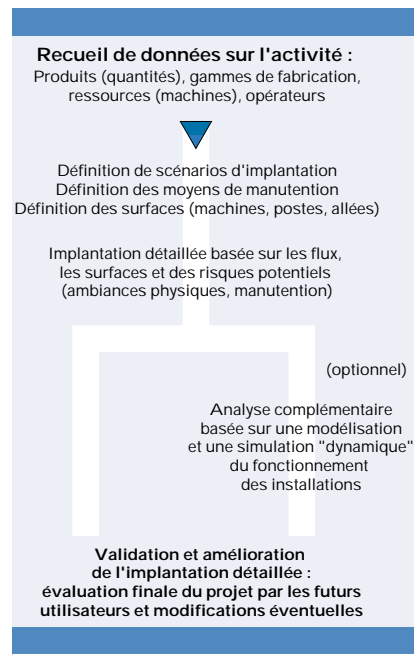


Fig. 17. Méthode pour l'implantation détaillée (un ou plusieurs ateliers)  
Detailed layout method (one or more workshops)

## 2.2. Détermination des moyens à mettre en œuvre et calcul des surfaces

### 2.2.1. Définition des scénarios d'implantation

En fonction des choix d'organisation de la fabrication retenus lors de l'implantation générale et compatibles avec les objectifs de l'entreprise définis au § 1.1, on précise les choix possibles pour les implantations des machines et équipements à l'intérieur de chaque secteur.

Lors de la phase de l'implantation générale, chaque secteur est traité globalement, sans être décomposé. Si l'on souhaite analyser plus finement certains équipements à l'intérieur d'un secteur, il est nécessaire de créer autant de secteurs correspondants.

Dans cette phase d'implantation détaillée, on évalue différents scénarios d'implantation des machines et des postes de travail, des surfaces de stockage pour les en-cours de fabrication, des allées de circulation, etc. On définit donc le positionnement des moyens de production à l'intérieur des secteurs.

#### Exemple :

Dans un secteur, on peut avoir le choix entre implanter une fabrication en forme de L ou deux unités en forme de I, suivant le schéma de la *figure 18*.

Les flux entrants et les flux sortants avec les autres secteurs sont les mêmes pour les deux scénarios d'implantation étudiés.

(Flux entrants = produits en provenance de l'opération de fabrication en amont, approvisionnement de pièces, emballage, etc.).

(Flux sortants = flux vers l'opération en aval, flux de déchets, etc.).

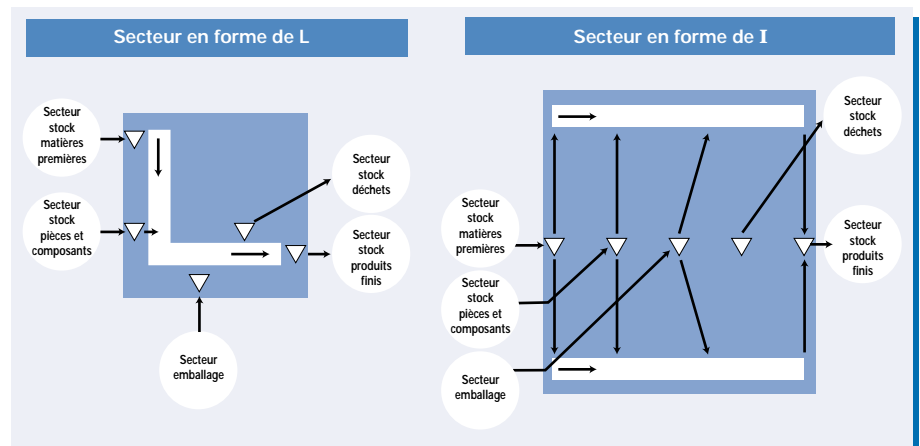


Fig. 18. Modèles d'implantation des fabrications en forme de L ou en forme de I  
Models for the layout of L-shaped or I-shaped units



Lors de cette étape, on prend en compte l'organisation et les conditions de travail, par exemple on évite d'avoir des temps opératoires courts et une parcellisation des tâches afin de minimiser les gestes répétitifs pouvant créer des risques de troubles musculosquelettiques. Plusieurs opérations de nature différentes sont affectées aux opérateurs pour diversifier les gestes opératoires et augmenter le temps de cycle de l'opérateur.

De même, pour limiter les contraintes de temps liées à un enchaînement rigide des tâches entre les opérateurs, on place des stocks tampons inter-opérations de quelques produits permettant de découpler les activités des opérateurs.

### 2.2.2. Définition des moyens de manutention et transport

Les scénarios possibles sont complétés par le choix des moyens de manutention (la plupart des moyens de manutention ont été définis lors de la phase d'implantation générale).

Les choix s'effectuent selon des critères techniques (poids, volume à transporter), de coûts (quantités), de prévention des risques. Il est envisagé les risques liés à la circulation des opérateurs et des engins, les risques liés aux manipulations des contenants, aux encombrements des en-cours en attente de transport, à la visibilité, etc.

Si le mode de fabrication retenu le permet, un transport mécanisé en continu (convoyeur, tapis) diminue les risques d'accidents liés aux manutentions manuelles (prise et dépose de charge) et au transport (croisement de flux, coactivité).

### 2.2.3. Calcul des besoins en surface pour les machines, les postes de travail, les allées de circulation

Le calcul des surfaces globales des secteurs a été effectué pour la phase de l'implantation générale.

Ici on précise le découpage des surfaces, correspondant aux différents équipements, à l'intérieur de la surface totale du secteur.

Il est tenu compte des surfaces de dégagement pour les postes de travail et de l'accessibilité auprès des machines pour la maintenance. Si des stocks d'en-cours sont prévus auprès des postes, les surfaces correspondantes sont incluses. Les largeurs des allées de circulation sont calculées selon les modes de manutention et de transport retenus. (Convoyeurs, chariots automoteurs, transpalettes, etc.) (voir [2, 3]).

#### Exemple :

- la largeur d'un passage habituel entre machines ou pour l'accès au poste de travail est de 800 mm minimum,

- la largeur d'un accès pour une intervention occasionnelle (dépannage, maintenance...) peut être réduite à 600 mm,

- l'accès entre deux palettes, conteneurs déposés à côté du poste de travail est de 500 mm minimum avec des moyens de localisation (butées, signalisation par peinture au sol, etc.),

- le débatement sur le devant d'un poste de travail est de 1000 mm minimum d'avant en arrière. S'il existe une allée de circulation, le débatement est de 1500 mm minimum.

## 2.3. Implantation détaillée basée sur les flux matières, les surfaces et les risques potentiels

De manière générale, il existe cinq grandes catégories de facteurs de risques potentiels.

1) Les facteurs reliés aux matériels et aux matières.

(outils, machines, moyens de manutention, matières et produits, etc.)

2) Les facteurs reliés au milieu, à l'environnement du travail.

(ambiances physiques, poste de travail, bâtiments, voies de circulation, etc.)

3) Les facteurs liés à l'organisation et aux méthodes de travail.

(mode d'organisation de la fabrication, cadence, etc.)

4) Les facteurs liés à la réalisation des tâches et à leur déroulement par rapport à la procédure de travail.

5) Les facteurs liés aux personnes et à leur comportement.

Les implantations sont concernées surtout par les trois premières catégories de facteurs : matières/matériels, milieu/environnement, méthodes/organisation du travail.

Il est considéré par la suite les risques potentiels relevant de ces trois catégories.

### 2.3.1. Analyse du scénario d'implantation en fonction des risques liés aux ambiances physiques

Ces principaux risques ont été analysés lors de l'implantation générale. Dans ce paragraphe, l'analyse est affinée à l'intérieur du secteur (ou des secteurs).

#### L'évaluation du niveau sonore

Un niveau excessif peut entraîner un déplacement de certaines machines ou postes de travail avec des conséquences sur les implantations envisagées.

Pour évaluer les niveaux sonores et établir une cartographie du bruit, il est intéressant d'utiliser le logiciel de calcul prévisionnel Rayscad+ [6].

#### Le thermique

En fonction des machines sources de chaleur, de l'exposition et des baies vitrées, il est nécessaire d'évaluer les conditions de température. Des conditions excessives pouvant amener à revoir certaines implantations ou à installer des moyens de chauffage ou de refroidissement (voir [2]).

#### La ventilation

La localisation des équipements avec une pollution spécifique doit être correcte en fonction des moyens de ventilation ou aspiration mis en œuvre de façon que la zone polluée soit circonscrite et traitée facilement.

#### La vue sur l'extérieur

A hauteur des yeux, elle implique de s'assurer que les postes de travail sont bien implantés de manière préférentielle à proximité des baies vitrées.

#### Le risque chimique

Pour évaluer les niveaux de pollution et le choix de solution de traitement, il est intéressant d'utiliser un outil logiciel de calcul prévisionnel tel que EOL-3D [7].

#### Les autres risques potentiels

Dans la mesure du possible les implantations sur plusieurs étages sont à éviter, de même que les dénivelés de hauteur sur un même étage, car les risques de chutes ou de glissades augmentent.



### 2.3.2. Analyse des risques liés aux manutentions et aux transports

Une fois retenu un scénario d'implantation répondant aux objectifs d'organisation de production, de niveaux d'ambiances physiques et de conditions de travail, il est analysé les risques potentiels relatifs aux manutentions et aux transports.

Dans le § 2.2.2, il a déjà été effectué une évaluation des risques liés aux engins de manutention eux-mêmes, de façon à aider au choix des moyens. Il est analysé ici, les risques compte tenu de la disposition des lieux et des aspects dynamiques de manutention des charges.

#### Dans la mesure du possible, on évite la manutention manuelle de charges par les opérateurs.

Lorsque le port de charges ne peut être évité, on vérifie que l'on ne dépasse pas les limites suivantes (voir [8]) :

*pour un homme :*

charge < 30 kg et distance < 30 m

charge journalière portée < 12,5 tonnes

*pour une femme :*

charge < 15 kg et distance < 30 m

charge journalière portée < 6,2 tonnes

#### Les moyens de manutention retenus sont analysés finement afin de minimiser les risques potentiels

De manière générale, il est défini 5 grandes catégories de moyens de manutention et transport :

1) Moyens de manutention au poste de travail :

ce sont les retourneurs, les tables élévatrices, les aides à la préhension des produits (palonnier à ventouse pneumatique), etc.

2) Moyens de manutention et de transport entre deux postes de travail ou entre un poste et une zone de stockage

Transporteurs manuels : chariots, transpalettes à main, etc.

Transporteurs mécanisés discontinus : chariots élévateurs, transpalettes électriques, manipulateur (à ventouse, électrique), potences, ponts roulants, palans, chariots tridirectionnels, chariots autoguidés, etc.

Transporteurs mécanisés continus : convoyeurs à rouleaux, convoyeurs aériens, tapis transporteurs, systèmes pneumatiques à dépression pour les granulés et les poudres, etc.

3) Moyens de manutention liés aux contenants pour l'approvisionnement des matières et l'évacuation des produits.

Livraison à partir du fournisseur et distribution en fabrication avec les mêmes contenants facilement manutentionnés.

(boîtes, chariots, palettes, etc.)

Pour l'évacuation ou le stockage des produits finis : utilisation de systèmes de rangement (casiers, racks mobiles) facilitant le transport et la mise en stock.

4) Moyens de manutention liés aux outillages et au travail de changement et de réglage des outils :

préparation et stockage des éléments à changer sur un moyen de manutention spécifique, dédié avec les outils nécessaires.

5) Moyens de manutention liés à l'évacuation des déchets :

systèmes mécanisés d'évacuation vers un compacteur, tapis d'évacuation vers une benne, etc.

Pour chacune de ces catégories, il est vérifié que les choix des moyens de manutention retenus dans le scénario d'implantation sont bien les plus efficaces pour les critères de productivité et de prévention des risques.

Par ailleurs, il est analysé les chutes possibles d'objets lors des opérations de manutention et de transport. Le système de manutention n'étant pas directement la cause du risque, mais davantage le système de fixation des charges transportées ou les types de contenants utilisés.

### 2.3.3. Amélioration du projet d'implantation détaillée

A ce stade, on a défini un scénario d'implantation satisfaisant :

- un mode d'organisation souhaité de la fabrication,

- la prévention des risques liés :
  - aux ambiances physiques
  - aux surfaces (dimensionnement des postes de travail, des allées, etc.)
  - aux manutentions et transport à l'organisation du travail

A partir du plan de production, des gammes de fabrication et des ressources (machines, moyens de manutention, § 2.1), on calcule les flux matières entre les différents points de l'implantation. (calcul analogue à celui du § 1.4.1).

Le projet d'implantation est alors analysé en fonction des flux matières à l'intérieur des secteurs. Il peut alors être modifié si des trafics trop importants ou des zones d'encombrement sont décelés.

#### Analyse des flux par deux méthodes : une méthode manuelle et un outil logiciel « Factoryflow »

##### • Méthode manuelle

A partir du scénario d'implantation défini jusqu'à ce stade et du plan de l'atelier avec les postes de travail, les machines, les allées de circulation, on réalise une cartographie des flux.

On peut se baser sur le tableau des flux défini ci-dessus, ou bien dérouler chaque gamme de fabrication sur les différents postes de charge de l'atelier.

On calcule ainsi les trajets représentatifs des gammes et en fonction des quantités, des volumes des contenants, des moyens de transport utilisés, on détermine les intensités de trafic.

La prise en compte de tous les produits, ou des produits représentatifs de l'atelier, permet de connaître l'ensemble du trafic.

##### • Outil logiciel

L'outil logiciel Factoryflow [9] permet d'analyser les flux entre les postes de charge (postes de travail, machines).

Des sélections sur les produits permettent de classer les produits selon leur contribution au trafic. Un diagramme (distance-intensité du trafic) permet d'identifier les produits ne circulant pas de manière optimale dans l'atelier, c'est-à-dire parcourant beaucoup de distance avec un nombre de mouvements importants à cause de l'implantation des ressources qu'ils utilisent.

Un diagramme des intensités du trafic entre les différentes ressources permet d'identifier et de hiérarchiser les zones d'encombrement et de difficulté de circulation.

## Validation du projet d'implantation par les futurs utilisateurs

En fonction des résultats obtenus avec la méthode manuelle ou avec l'outil logiciel, on peut être amené à modifier l'implantation de certaines ressources de façon à diminuer la longueur des trajets et les zones d'encombrement.

Lors de cette phase d'amélioration de l'implantation, on doit veiller à ne pas la dégrader par rapport aux ambiances physiques, aux surfaces de travail optimales et aux risques liés à la manutention.

Il est fondamental de recueillir les avis des futurs utilisateurs pour évaluer et conforter les éléments suivants du projet d'implantation :

les opérations de manutention et transport, les espaces de travail, la circulation des personnes et des engins, les conditions de travail liés aux ambiances physiques (bruit, lumière, chaleur, etc.), l'organisation du travail.

L'examen de ces facteurs peut amener à corriger le schéma d'implantation afin d'atteindre un compromis satisfaisant pour l'ensemble des futurs utilisateurs.

## Exemple simplifié utilisant l'outil logiciel Factoryflow

- Un seul produit à fabriquer : une échelle dont le programme prévisionnel annuel est de 250000.

- La gamme de fabrication et les moyens de manutention sont dans le tableau VI.

### Remarque

La gamme et la structure du produit (échelle) sont sur le même tableau (il faut 12 vis, 2 rampes-main courante, 3 marches, 1 emballage, 3 agrafes, 14 % d'une barre d'aluminium pour fabriquer une échelle).

L'implantation générale a permis de positionner les 8 secteurs de l'unité de production (figure 19a).

Ces secteurs sont : la réception, l'expédition, l'extrusion, le traitement thermique (FOUR), le secteur fabrication des rampes (RRAILS), le secteur des marches (MMARCHE), le secteur assemblage (ASSEMBL), le secteur emballage.

Les flux matières ont été optimisés suivant les liaisons directes entre les secteurs.

- L'implantation détaillée «pénètre» à l'intérieur des secteurs avec la définition des circuits matières entre les différents équipements et compte tenu des allées de circulation. L'outil logiciel permet de calculer les intensités des flux matières (mouvements), de calculer les coûts des manutentions sur les différentes liaisons, de modifier les implantations à l'intérieur des secteurs (ou même de déplacer des secteurs) et donc par itérations successives d'améliorer l'implantation détaillée (fig. 19b).

## 2.4. Implantation détaillée basée sur une «simulation dynamique»

### 2.4.1. Analyse fine de l'implantation avec une simulation en fonction du temps

Le scénario d'implantation défini précédemment repose entre autres, sur des intensités de trafic calculées sur une période de temps, généralement l'année : c'est une approche «statique».

Dans ce paragraphe en se basant sur l'implantation déterminée au § 2.3, on construit un modèle du système de production (installations, moyens de manutention, mode de gestion) et on simule son fonctionnement dans le temps. Pour ce faire, on construit un modèle informatisé qui va reproduire le fonctionnement réel de l'atelier en fonction du temps.

De nombreux logiciels de simulation dynamique existent sur le marché : Siman, Witness, Automod, Cadence, TaylorII, etc.

L'enregistrement chronologique de la simulation permet de «voir» le comportement de l'installation, d'identifier les zones de saturation des flux et de forte densité de circulation d'engins, de connaître les charges des machines, des engins de manutention et des opérateurs.

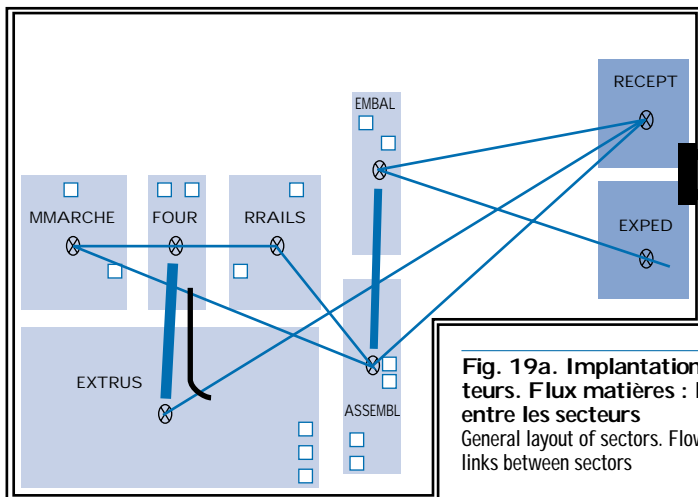
TABLEAU VI

FICHER DES GAMMES											
PRODUIT	COMPOSANTS	quantité	secteur	secteur	moyen	nb unités	temps	taille	temps	taux	Group
	pièces	par produit	origine	destinataire	manutention	manutention	changemt	lot	opérateur	rebut	Code
ECHELLE	VIS	12	RECEPT	ASSEMBL	MANUE	1000	0	1	0	0	0
	ALU	0,14	RECEPT	EXTRUS	CHAR	20	0	1	0	0	0
	RAMPE	2	EXTRUS	FOUR	CONV1	1	0	1	0	0	0
	RAMPE	2	FOUR	RRAILS	CHAR	50	0	1	0	0	0
	RAMPE	2	RRAILS	ASSEMBL	CHAR	50	0	1	0	0	0
	MARCHE	3	EXTRUS	FOUR	CONV1	1	0	1	0	0	0
	MARCHE	3	FOUR	MMARCHE	CHAR	65	0	1	0	0	0
	MARCHE	3	MMARCHE	ASSEMBL	CHAR	65	0	1	0	0	0
	ECHELLE	3	ASSEMBL	EMBAL	CONV2	1	0	1	0	0	0
	ECHELLE	1	EMBAL	EXPED	CHAR	25	0	1	0	0	0
	BOITE	1	RECEPT	EMBAL	CHAR	100	0	1	0	0	0
	AGRAF	3	RECEPT	EMBAL	MANUE	1500	0	1	0	0	0
	FICHER MOYENS DE MANUTENTION										
PERIODE DE TEMPS											
ANNEE											
nom	type	coût	coût	coût	temps	temps	vitesse	quantité	efficacité		
moyen	moyen	investissement	horaire	horaire	disponible	prise	moyenne		(%)		
manutention	manutention		opérationnel	opérateur	an	dépose	m/min				
CONV1	convoyeur	25000	5	0	115200	0	0	0	0		
CONV2	convoyeur	25000	5	0	115200	0	0	0	0		
CHAR	chariot élévateur	3500	5	15	115200	1	80	1	70		
MANUE	transpal.main	100	0	10	115200	1	16	1	70		

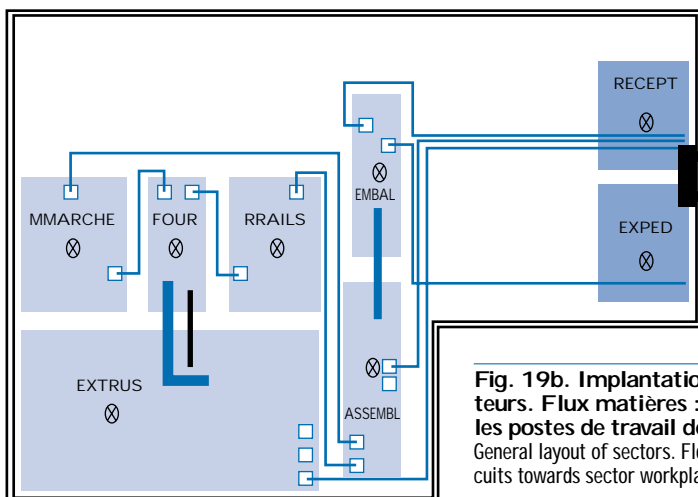
Si des points critiques sont détectés (zones d'encombrement, surcharge de postes de travail, engins, etc.) on est amené à modifier l'implantation afin de mieux répondre aux objectifs fixés.

#### 2.4.2. Validation et évaluation, par les utilisateurs, de l'implantation en fonction des risques potentiels

Comme dans le § 2.3.3, les utilisateurs sont amenés à donner leur avis et à pouvoir modifier certains aspects de l'implantation de façon à réduire les facteurs de risques liés aux moyens matériels, aux ambiances physiques, à l'organisation et méthodes de travail.



**Fig. 19a. Implantation générale des secteurs. Flux matières : liaisons directes entre les secteurs**  
General layout of sectors. Flows of materials: direct links between sectors



**Fig. 19b. Implantation détaillée des secteurs. Flux matières : circuits réels vers les postes de travail des secteurs**  
General layout of sectors. Flows of materials: real circuits towards sector workplaces

#### BIBLIOGRAPHIE

1. MONTEAU M., FAVARO M. - Bilan des méthodes d'analyse a priori des risques. Des contrôles à l'ergonomie des systèmes. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du travail*, 1990, 138, pp. 91-122.
2. Conception des lieux de travail. Démarches, méthodes et connaissances techniques. Paris, INRS, 1997, ED 718, 93 p.
3. Le guide de la circulation en entreprise. Paris, INRS, 1996, ED 800, 54 p.
4. JABOT R. - Implantation et maintenances dans les ateliers. Editions Hommes et technique.
5. DEJEAN P.H., PRETTO J., RENOUEAU J.P. - Organiser et concevoir des espaces de travail. Montrouge, Editions de l'ANACT, 1988.
6. Acoustique prévisionnelle - Rayscat. Vandœuvre-lès-Nancy, INRS, Notes scientifiques et techniques de l'INRS n°s 49 à 56 et 67.
- ONDET A.M., BARBRY J.L. - Prédiction des niveaux sonores dans les locaux industriels encombrés à l'aide du logiciel d'acoustique prévisionnelle Rayscat. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1991, 142, pp. 41-53.
7. Logiciel de ventilation prévisionnelle EOL-3D. Villiers-lès-Nancy, Alise - Conseils et logiciels, Dossier technique.
- FONTAINE J.R., BRACONNIER R., RAPP R. et coll. - EOL : un logiciel de ventilation prévisionnelle applicable à l'assainissement de l'air des locaux de travail. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1996, 165, pp. 409-424.
8. Méthode d'analyse des maintenances manuelles. Paris, INRS, 1994, ED 776, 63 p.
9. A notre connaissance les outils logiciels factoryplan et factoryflow, développés aux États-Unis par Cimtechnologies Corporation/EAI sont distribués en France par Simcore - Tour Aurore, 18 Place des reflets, 92975 Paris - La Défense 2 cedex.