



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/19778>

To cite this version :

Daniela Villanueva CACERES, Mahenina Remiel FENO, Amal MTIBAA - Dimensionnement d'espaces de travail intégrant les surfaces d'usage des équipements - In: MOSIM, Maroc, 2020 - 13ème Conférence internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM) - 2020

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : archiveouverte@ensam.eu



DIMENSIONNEMENT D'ESPACES DE TRAVAIL INTEGRANT LES SURFACES D'USAGE DES EQUIPEMENTS

Daniela V. CACERES, Mahenina Remiel FENO

Département Ingénierie des Equipements de Travail,
Institut National de Recherche et de Sécurité, 1 rue du
Morvan, 54519 Vandœuvre-Lès-Nancy Cedex, France.

daniela.villanueva.caceres@gmail.com
remiel.feno@inrs.fr

Amal MTIBAA

Laboratoire de Conception Fabrication
Commande, Arts et Métiers Sciences et
Technologies, 4 rue Augustin Fresnel, 57078 Metz,
France

amal.mtibaa@ensam.eu

RESUME : *Un projet de conception ou d'aménagement de bâtiment industriel inclut généralement une étude d'implantation des espaces et des postes de travail. Le plan d'implantation qui en résulte a un impact important sur l'organisation et les futures conditions de travail. Dans la pratique, les surfaces d'usage nécessaires aux accès et aux circulations des personnes et des moyens de manutention ne sont pas toujours prises en compte. Cet article propose un modèle de détermination des besoins en surface lié à l'utilisation des équipements de travail. L'objectif est de prévoir l'ensemble des surfaces d'usage afin de réduire les risques liés aux contraintes d'espace (postures contraignantes, effort important) dans les projets de conception ou d'aménagement de locaux. Une analyse comparative de deux méthodes pratiques est présentée, celles dite de "Guerchet" et "0+5+X". Quatre cas d'applications industrielles sont utilisés pour illustrer la démarche.*

MOTS-CLES : *Dimensionnement, espace de travail, implantation, santé et sécurité, conception*

1 INTRODUCTION

Les évolutions associées à l'industrie du futur, notamment en termes de flexibilité, modifie en profondeur le visage de l'entreprise. Elles suscitent de nouveaux défis notamment la capacité pour ces entreprises de réorganiser rapidement leur moyen de production pour répondre aux exigences fluctuantes des clients tout en prenant en compte des aspects liés à la prévention des risques professionnels (Marsot, 2018) (Martin et al, 2019).

De façon schématique, un projet d'implantation commence généralement par la rédaction d'un cahier des charges contenant les exigences du projet. Une analyse des activités et de leurs interactions est effectuée afin d'identifier les flux et les circulations. Sur la base de cette analyse, les besoins en surface et les relations fonctionnelles sont déterminés. Un schéma fonctionnel peut ainsi être élaboré. Ce dernier servira de base pour élaborer un plan d'implantation général puis détaillé (Tompkins, 2010).

Dans cet article, nous nous attacherons plus particulièrement à l'étape de détermination des besoins en surface. C'est en effet une étape décisive d'un point de vue opérationnel mais aussi en matière de prévention des risques professionnels. Des contraintes d'espace peuvent conduire à des inefficacités organisationnelles mais également à des risques d'accidents ou de maladies professionnels : espace non prévu ou insuffisant pour accéder et circuler aisément aux postes de travail.

2 ETAT DE L'ART

La norme NF EN ISO 6385 (2016) définit un espace de travail comme « *le volume assigné à une ou plusieurs personnes dans un système de travail pour accomplir la tâche. Autrement dit, l'espace de travail est la surface au sol et la hauteur nécessaire pour le développement des activités au poste de travail* ».

Plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature dans le but d'estimer les espaces de travail. Selon Muther (2015), ces méthodes peuvent être classées en six familles de méthodes : 1) par calcul, 2) par des dimensions standardisées, 3) par conversion, 4) par projection, 5) avec des tendances ou ratio et 6) mixtes incluant la méthode de Guerchet (Guerchet, 1954), la méthode « 0 + 5 + X Planning model » (Schenk et al. 2010) et celle de Stephens et Meyers (2013).

Cet article présente une étude comparative sur deux de ces méthodes ; celles dites de « Guerchet » et la méthode « 0 + 5 + X Planning model ». Elles ont en effet été retenues du fait de leur capacité potentielle à prendre en compte, en plus des surfaces fonctionnelles, des surfaces d'usage indispensables pour la prévention des risques professionnels. De plus, ces 2 méthodes peuvent être utilisées dès la phase d'implantation générale vu que les données d'entrée ne requièrent pas la connaissance détaillée de l'aménagement de l'atelier.

2.1 La méthode de Guerchet

Selon cette méthode, la surface totale d'un espace de travail est la somme de quatre surfaces : Une surface propre au poste de travail **Sp** dite aussi surface statique, une surface de gravitation **Sg**, une surface d'évolution **Se** et une surface de stockage **Sc** ($St = Sp + Ss + Sg + Se$).

- La surface propre est la surface au sol occupée par tous les équipements du poste de travail. Elle est donnée par le produit entre la longueur A et la largeur L de l'espace occupé par tous les équipements utilisés ($Sp=L \times A$).
- La surface de gravitation correspond à la surface nécessaire pour pouvoir accéder au poste de travail. Elle est donnée par le produit entre la surface propre Sp et le nombre de côtés d'accès au poste N ($Sg=Sp \times N$).
- La surface d'évolution est la surface des allées de circulation autour du poste de travail. Elle est donnée par le produit entre un coefficient d'évolution **K** et la somme des surfaces propre et de gravitation Sg ($Se = (Sg + Sp) \times K$). Ce coefficient d'évolution varie de 0.05 à 3 en fonction de la nature des moyens de manutention et/ou du type d'activité. Il peut en effet être calculé directement en utilisant les formules (1-2-3) soit en se basant sur le tableau 1 en fonction du moyen de manutention ou bien à l'aide du tableau 2 qui est fonction du type d'industrie.
- Enfin, la surface de stockage représente la surface nécessaire pour stocker la matière première, les encours et les produits finis.

$$K = 0.5 \times \frac{h_{em}}{h_{ef}} \quad (1)$$

Avec

$$h_{em} = \frac{\sum_{i=1}^r Surface_i \times n \times h}{\sum_{i=1}^r Surface_i \times n} \quad (2)$$

h_{em} : hauteur moyenne pondérée des éléments mobiles

r : variété des éléments mobiles/fixe

Surface_i : Surface statique de chaque élément

h : hauteur de l'élément mobile

n : nombre des éléments mobiles de chaque type

Et,

$$h_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^t Surface_i \times n \times h}{\sum_{i=1}^t Surface_i \times n} \quad (3)$$

h_{ef} : hauteur moyenne pondérée des éléments fixes

t : variété des éléments fixes

Surface_i : Surface statique de chaque élément

h : hauteur de l'élément fixe

n : nombre des éléments fixes de chaque type

Moyen de manutention	Valeur de K
Pont roulant	0.1
Balancelles	0.2
Convoyeurs	0.3 - 0.4
Manutentions manuelles	0.5
Transpalette	0.75 - 1,00
Chariot élévateur	2.00 - 3.00

Tableau 1 : Les valeurs de K en fonction du moyen de manutention (Coniel et al.,2016)

Le type de l'industrie	Valeur de K
Grosses industries	0.05 - 0.15
Convoyeur mécanique	0.1 - 0.25
Fils textiles	0.05 - 0.25
Tissage	0.5 - 1
Horlogerie	0.75 - 1.00
Petite mécanique	1.5 - 2.00
Grosse mécanique	2.00 - 3.00

Tableau 2 : Les valeurs de K en fonction du type de l'industrie (Coniel et al.,2016)

2.2 La Méthode « 0 + 5 + X Planning Model »

Cette méthode est basée sur des études pratiques et plusieurs projets proposant des ratios de surfaces dans une cinquantaine de secteurs d'activités, allant de la fonderie jusqu'à la fabrication de produits électroniques (Schenk et al., 2010). Elle recouvre l'ensemble du processus de la phase de définition du problème jusqu'à la phase de l'implantation et d'exécution du projet.

Par rapport à notre objectif, cette méthode permet en particulier un dimensionnement détaillé des espaces de travail en faisant la différence entre les surfaces dédiées à la fabrication et à l'assemblage des pièces. Dans le cas des surfaces dédiées à la fabrication, la surface des postes de travail associés à une machine est la somme de la surface de production (A_{PA}) et de la surface d'entreposage (A_{SA}). Les calculs de la surface de production des pièces (A_{PA}) débutent par la détermination de l'empreinte au sol occupé par la machine (A_{FP}). A cette surface principale, s'ajoute différentes surfaces secondaires détaillées ci-après.

Cette surface A_{PA} peut être calculée, selon différentes méthodes, en fonction du degré requis de précision et de la qualité des informations disponibles. Nous avons retenu la méthode utilisant les « surfaces de substitution » pour sa cohérence avec les critères de prévention pour les accès aux postes de travail. Elle consiste à ajouter une distance de 1 m sur les côtés de la machine nécessitant un accès pour des besoins opérationnels et une distance de 0,4m sur les côtés nécessitant un accès pour des services (cf. figure 1). La surface de production est donnée alors par le produit entre la longueur et la largeur de l'empreinte au sol ainsi corrigée ($A_{PA} = W_{pa} \times D_{pa}$)

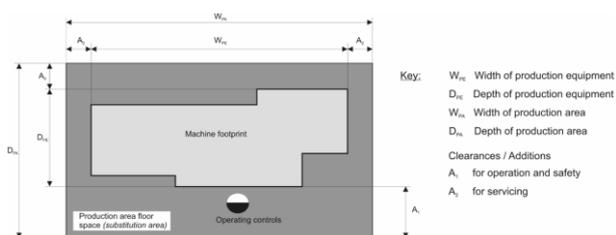


Figure 1 : Surface de substitution

La surface d'entreposage (A_{SA}) est le produit entre la surface de transport (A_{TU}) (palettes par exemple) et le nombre d'unité de transport (N_{TU}).

$$A_{SA} = A_{TU} + N_{TU} \quad (4)$$

Une fois les surfaces individuelles de chaque équipement de travail calculées, la surface totale de production (A_P)

est estimée à partir de la somme des surfaces individuelles et des différentes sous-surfaces :

$$A_p = A_N + A_T + A_I + A_A \quad (5)$$

- A_N représente la surface de production nette qui correspond aux surfaces exclusivement opérationnelles (production principale, production secondaire, maintenance...) donnée par la formule suivante

$$A_N = \sum A_{PA} \times (1 - \eta_{oe}) + A_{un} \quad (6)$$

- η_{oe} est un facteur de superposition externe donné par l'équation (7)
- A_{un} est l'espace au sol non exploitable car associé à la structure du bâtiment (colonnes, parois de séparations, etc.). A_{un} est estimé à environ 10 à 20 % de la somme des A_{PA}

$$\eta_{oe} = 1 - \left(\frac{A_{PAréel}}{A_{PAlcalculé}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

- A_T est la surface de transport qui correspond aux allées de circulation des personnels et des matériaux $A_T = 0.4 \times \sum A_{PA}$
- A_I est la surface de stockage temporaire (encours de production) $A_I = 0.4 \times \sum A_{PA}$
- A_A représente la surface auxiliaire qui correspond aux activités de contrôle et de management, ainsi qu'aux surfaces dédiées à la disposition des outils et à l'approvisionnement ou à l'évacuation de déchets $A_A = 0.2 \times \sum A_{PA}$

2.3 Problématique et méthodologie de recherche

L'analyse bibliographique sur ces 2 méthodes fait ressortir plusieurs interrogations. La méthode de Guerchet ne précise pas la nature exacte de la surface d'évolution ni ses conditions d'applications : intègre t'elle ou non une partie de la voie de circulation qui dessert cet équipement par exemple ? De même, le coefficient d'évolution K peut être défini selon le type d'industrie ou le moyen de manutention et il n'y a pas d'explication donnée sur quel mode de calcul privilégier lorsque les 2 sont possibles. De plus, certains nouveaux moyens de manutention ne sont pas pris en compte dans ces valeurs de K.

En ce qui concerne la méthode « 0 + 5 + X Planning model » les dimensions standardisées doivent être vérifiées vis à vis des exigences de prévention des risques professionnels. Elle ne prend également pas en compte le type de moyen de manutention utilisé.

Pour atteindre l'objectif final qui est de proposer une méthode de dimensionnement intégrant les critères de santé et sécurité, nous proposons de tenir compte des points forts et des limites de ces deux méthodes.

La méthodologie de recherche proposée consiste donc à appliquer ces deux méthodes sur quatre études de cas. Les surfaces obtenues par ces méthodes seront comparées et confrontées d'une part aux dimensions mesurées sur le terrain et d'autre part, aux exigences de prévention : largeurs d'accès minimum, distances de sécurité.

3 CAS D'ETUDES

Quatre cas d'étude avec différents niveaux d'analyse ont été retenus pour tester ces méthodes. Les deux premiers sont issus du logiciel d'implantation d'atelier Impact (Qlio Transfert) et ils couvrent chacun un atelier complet. Les deux autres ont spécifiquement été analysés pour cette étude. Ils couvrent respectivement un poste de travail et une zone de production.

Cas d'étude 1

Il s'agit d'un atelier de production pour un sous-traitant aéronautique qui fabrique des pièces par usinage. L'atelier est composé de 4 secteurs de production et comprend 14 machines en total. Les pièces sont transférées par transpalette au sein de l'atelier.

Cas d'étude 2

Il s'agit également d'un atelier de production qui produit et assemble des pièces mécaniques à partir de pièces détachées. L'atelier comprend 13 machines et une zone de stockage de matière première et de produits finis.

Cas d'étude 3

Il s'agit d'un poste de préparation de toit de véhicule qui fournit une ligne de montage dans l'industrie automobile. Le poste de travail consiste en un système de manutention qui prélève les toits dans 4 conteneurs différents et les place sur une table de préparation tournante à deux accès. Le principal enjeu pour le dimensionnement de ce poste de travail concerne la prise en compte de l'espace nécessaire pour l'utilisation du manipulateur mécanisé.

Cas d'étude 4

Il s'agit d'une zone de production qui produit des bancs d'essai spécifiques à des fins de recherche. La taille des pièces à fabriquer peut varier de très petite à très grande. Les flux de matériaux sont faibles en raison de l'activité de type production unitaire.

3.1 Relevé des mesures de surface

Le tableau 3 présente les surfaces mesurées pour les quatre cas d'étude. On note E: Equipement, S: Stock, A: Accès, C: Circulation.

Cas d'étude	E	S	A	Prod	C	Total
Cas 1	40.2	21	110.3	171.5	66	237.6
Cas 2	46.6	19.2	162.9	228.2	100.6	328.9
Cas 3	3.1	12.8	29.4	45.3	38.6	83.9
Cas 4	55	0.3	54.9	110.2	37.7	147.9

Tableau 3. Surfaces mesurées (m²)

Afin d'avoir des surfaces de références adaptées aux activités, ces surfaces mesurées ont été confrontées aux critères de prévention des risques pour aboutir à des surfaces dites « modifiées » (cf. tableau 4). Pour les cas 1 et 2 par exemple, la profondeur des surfaces de gravitation a été fixée à 1 m minimum pour les interventions de production

et à 0, 6m pour interventions occasionnelles, la distance entre les machines a été ramenée à 0,8m minimum. Les voies de circulations ont été modifiées en tenant compte des largeurs recommandées pour le moyen de manutention utilisé ($2 \times \text{Larg. transpalette} + 1.4\text{m}$).

Cas d'étude	Prod	C	Total
Cas 1	173	89.3	262.7
Cas 2	230	114.6	344.6
Cas 3	45.3	38.6	83.9
Cas 4	110.2	37.7	147.9

Tableau 4. Surfaces corrigées (m²)

3.2 Comparaison des surfaces mesurées et estimées

L'objectif de cette analyse est de comparer, pour les quatre études de cas, les surfaces mesurées sur le terrain, et celles corrigées en tenant compte des critères de prévention, avec les résultats des méthodes « Guerchet » et « 0 + 5 + X Planning model ».

3.2.1 Méthode de Guerchet

En complément de première interrogations identifiées lors de l'analyse bibliographique, plusieurs autres interrogations se sont posées pour l'application pratique de cette méthode.

- Les équipements secondaires tels que les armoires ou les étagères doivent-ils être compris dans la surface propre ? Ou dans la surface de stockage ?

Après les avoir pris en compte en tant qu'équipements puis en tant que stock, nous avons conclu que les équipements secondaires doivent être compris dans le calcul de la surface propre afin d'éviter de sous dimensionner le poste de travail.

- Le nombre d'accès (N) correspond-il exclusivement au nombre de côtés des accès pour l'opération principale ? Ou également pour les autres activités telles que la maintenance et le nettoyage ?

La figure 2 rassemble le calcul des surfaces pour plusieurs machines appartenant aux 4 cas d'étude. La taille des bulles permet d'apprécier en fonction de la surface propre de l'équipement et du nombre d'accès, l'écart entre la surface de gravitation calculée par cette méthode et la surface de référence (cf. tableau 4)

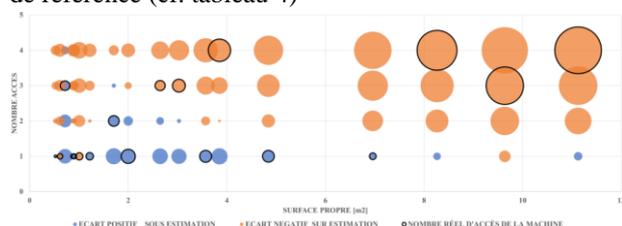


Figure 2 : Ecart d'estimation des accès selon la méthode de Guerchet

Les principaux constats issus de cette analyse sont :

- Plus la surface propre d'un équipement est importante, ou plus il y a d'accès, plus la surface de gravitation est surdimensionnée.
- Pour les machines de petite taille (surface propre inférieure à 4 m² environ), le nombre d'accès qui permet de dimensionner au plus juste serait de 2.
- Pour les machines de grande taille (surface propre supérieure à 4 m² environ), le nombre d'accès qui permet de dimensionner au plus juste est égal à 1.

- La valeur du coefficient K permettant de définir la surface d'évolution est-elle pertinente ?

Le tableau 5 rassemble les valeurs possibles pour le coefficient K selon que l'on utilise les formules (1-2-3) ou le tableau de valeurs standardisées en fonction des moyens de manutention (Tableau 1). Inversement, le rapport entre la surface Sp+Sg calculée et la surface mesurée modifiée permet de déduire une valeur de K souhaitée.

Cas d'études	K formule	K tableau des ratios standardisés	K déduit Surface réelle modifiée
Cas 1	0.6	0.9	0.8
Cas 2	0.9	0.9	1.4
Cas 3	0.8	-	3.6
Cas 4	0.4	0.5	0.0

Tableau 5. Valeurs possibles du coefficient K

On constate que les valeurs du coefficient K selon le tableau de valeurs standardisées ne permettent pas de tenir compte des cas spécifiques où la taille de la pièce joue un rôle important comme dans le cas d'étude 3, ainsi que la diversité des moyens de manutention actuellement utilisés en industrie.

De même, les valeurs de K données par les équations 1-2-3 est également éloignée de la réalité (K déduit).

Afin de comprendre ces écarts, la formule (1) a été analysée en détail et un paradoxe a été relevé. Cette formule correspond à un ratio entre les hauteurs moyennes pondérées suivant le nombre d'éléments mobiles (équation 2) et d'éléments fixes (équation 3). Par conséquent, le résultat des équations 2 et 3 se rapprochera de la hauteur moyenne des éléments les plus nombreux. En conséquence, comme les opérateurs et moyens de manutention sont considérés comme des éléments mobiles, si la hauteur moyenne des moyens de manutention est supérieure à celle des opérateurs, la valeur de K, et donc la surface d'évolution, diminuera à mesure que le nombre d'opérateurs augmente, ce qui n'est pas logique.

Par ailleurs, la hauteur du moyen de manutention a finalement peu d'impact sur la surface d'évolution nécessaire. L'aspect qui paraît plus déterminant est la hauteur de manutention des produits. Un déplacement des produits en hauteur à l'aide d'un pont roulant ou d'une balancelle nécessitera moins de surface au sol du fait de la possibilité de passer au-dessus d'autres équipements.

3.2.2 Méthode « 0+5+X Planning model »

Comme précédemment, la mise en pratique de cette méthode a soulevé de nombreuses questions, notamment sur le calcul de la surface des accès, des stocks et des allées de circulation.

- Comment calculer la surface pour les accès ? Est-elle adaptée aux activités des opérateurs ?

Un léger sous-dimensionnement de cette surface a été constaté, qui augmente au fur et à mesure que le nombre d'accès augmente. Pour certaines machines, cette méthode a montré un écart égal à zéro entre la surface calculée et la surface réelle. Elle propose en effet une approche pour le calcul des surfaces d'accès selon leur nature ce qui est proche des préconisations de prévention.

- Comment dimensionner la surface de stockage ?

La méthode « 0+5+X Planning model » propose deux manières différentes de calculer les surfaces de stockage :

- Un calcul individuel des surfaces de stockage à partir des surfaces (ATU) et du nombre (NTU) des unités de stockages déclarées (cf. équation 4).
- En majorant de 40% de la surface nette de production ($0,4 \times A_N$).

Il n'est toutefois pas précisé à quel type de stock ces surfaces correspondent ni laquelle de ces deux méthodes devraient s'appliquer pour les calculer.

Après application de ces deux approches sur les cas d'études, les résultats les plus proches des surfaces mesurées ont été obtenus en les combinant : calcul des surfaces de stockage avec les données connues selon (4) puis majoration de 40% de la somme des surfaces de production (A_N).

- Le calcul de la surface des allées de circulation est-elle adaptée aux activités des opérateurs ?

La méthode « 0+5+X Planning model » propose d'ajouter 40% de la surface nette (A_N) pour les surfaces dédiées au transport et 20% pour une surface additionnelle (déchets, management, contrôle qualité, etc.).

Cette approche ne semble pas la plus adaptée pour le calcul de la surface dédiée à la circulation, pour les deux raisons suivantes :

- Le moyen de manutention qui est un facteur déterminant pour le calcul de la surface de circulation n'est pas pris en compte.
- Elle ne distingue pas les surfaces liées aux voies de circulation secondaires (circulation interne à un secteur) ni les allées principales sachant que les moyens de manutentions peuvent être différents dans les 2 cas.

3.2.3 Comparaison des deux méthodes

La figure 3 présente la comparaison entre les résultats des 2 méthodes (Guerchet et « 0+5+X Planning model ») et la surface de production modifiée. Le calcul de la surface d'évolution par Guerchet a été réalisé en utilisant le coefficient K à l'aide des formules (1-2-3).

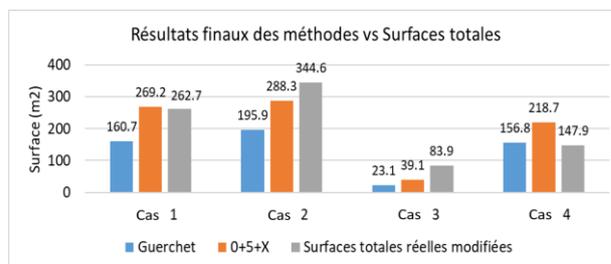


Figure 3 Surfaces de production réelles et estimées

La figure 4 à son tour, montre la comparaison entre les résultats des 2 méthodes et la surface totale (surface de production + surface des voies de circulation).

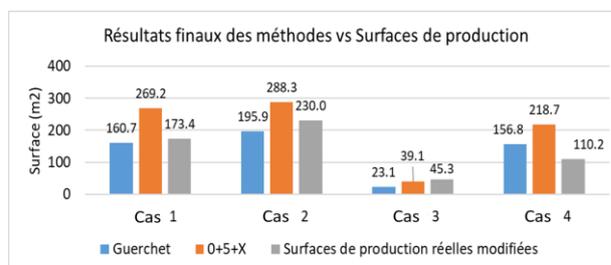


Figure 4 Surfaces totales mesurées et estimées

Les principaux constats sont les suivants :

- La méthode de Guerchet permet d'estimer de façon plus précise que la méthode « 0+5+X Planning model » la surface de production. Ce constat permet de confirmer l'hypothèse selon laquelle les allées de circulations principales ne sont pas prises en compte dans le calcul de la surface d'évolution,
- La méthode « 0+5+X Planning model », au contraire, a permis de trouver une surface totale plus proche de la réalité que la méthode de Guerchet.

Les variations les plus importantes entre les deux méthodes théoriques se trouvent dans le calcul des surfaces d'accès et de stockage. D'une part, les surfaces d'accès calculées par la méthode de Guerchet sont souvent inférieures à celles calculées par la méthode « 0+5+X Planning model » qui, comme nous l'avons vu, se rapprochent des surfaces mesurées.

D'autre part, la méthode « 0+5+X Planning model » aboutit à des surfaces de stockage plus importantes que la méthode de Guerchet du fait de la prise en compte de surfaces de stockage additionnelles.

4 DEMARCHE PROPOSEE (DIMESTRA)

Sur la base de l'analyse comparative précédente, un modèle intégré issu des deux méthodes est proposé pour le dimensionnement d'un espace de travail. Les accès sont estimés en adaptant l'approche de la méthode « 0+5+X Planning model » et les espaces d'évolution, en adaptant le facteur K de la méthode de Guerchet.

- **Surface pour les équipements (Sp)** : la totalité des équipements sont pris en compte (primaires et secondaires). Comme le propose les deux méthodes, cette surface inclut la surface au sol de l'équipement projeté dans toutes ses positions de travail. Elle prend en compte les

débattements maximaux de la machine et les dépassements éventuels de pièces.

- **Surface pour le stock (Ss) :** Cette surface inclut les stocks de matières premières, des produits en cours et des produits finis. Cette surface est calculée en deux étapes. Tout d'abord, le stock au poste de travail donné par le produit entre le nombre de moyens de manutention et la surface du moyen de manutention. Ensuite, une surface additionnelle pour le stock commun entre les différents postes de travail est calculée. C'est ce qu'on a appelé un stock temporaire dans le cas de la méthode « 0+5+X Planning model » (voir section 2.2). Il représente un pourcentage de la somme des surfaces de production individuelle ($\sum A_{PA}$). Ce pourcentage est estimé empiriquement en fonction du secteur d'activité. Par exemple dans le secteur de la construction de machines, il est estimé à 40%.

- **Surface pour les déchets (Sd) :** cette surface n'est pas prise en compte par la méthode de Guerchet. La méthode « 0+5+X Planning model » prend en compte cette surface dans le calcul de la surface auxiliaire (20% de la somme des surfaces individuelles). Néanmoins, la surface pour les déchets devrait être dimensionnée en fonction du type d'activité, du type de machines, des matériaux de fabrication, de la cadence de production, etc.

- **Surface pour les accès (Sa) :** La méthode « 0+5+X Planning model » permet de calculer la surface dédiée aux accès selon leur nature. Elle propose d'ajouter une surface équivalente à la longueur du côté de l'accès par une profondeur de 1 m pour les opérations et de 0,4 m pour les services. Cette particularité permet d'intégrer facilement des critères de prévention à travers les distances de sécurité préconisées dans les normes. Nous proposons ainsi de nouvelles dimensions à ajouter à chaque côté d'accès, afin de prendre en compte les préconisations de sécurité :

a) Accès aux équipements

- 1 m en profondeur pour les côtés ou des accès liés à des activités de production sont prévus.
- 0,6 m en profondeur pour les côtés ou des accès liés à des interventions occasionnelles sont prévus.
- 0,4 m en profondeur pour les côtés de façon à laisser au minimum 0,8 m libres entre 2 machines.
- 1,5 m si l'activité à réaliser implique une position agenouillée au lieu des 1m pour un accès principal ou 0,80 pour un accès occasionnel.
- 0,5 m en plus pour les accès aux équipements ayant des portes ou des tiroirs afin de tenir compte de leur débattement (ED 6122, 2018).

b) Accès aux unités de stockage

Il est conseillé de laisser un accès de 0,5 m entre palettes et conteneurs. Nous proposons donc de prévoir un accès d'une profondeur de 0,25 m de chaque côté de l'unité de manutention.

- **Surface d'évolution ou des allées de circulation secondaires (Sas) :** Les moyens de manutention utilisés au

sein du secteur de production et ceux utilisés entre secteurs ne sont pas toujours les mêmes. Il serait souhaitable, dans ce cas, de dimensionner la surface d'évolution et les allées de circulation principales en deux étapes distinctes. Comme nous l'avons vu, le coefficient d'évolution K proposé par la méthode Guerchet sert à calculer une surface d'évolution approximative, néanmoins pas assez précise. Nous proposons donc de conserver cette approche à condition d'apporter des modifications dans la détermination et dans la manière d'intégrer ce coefficient K dans le calcul de la surface Sas.

Les paramètres qui ont une corrélation directe avec la surface d'évolution et qui devraient être pris en compte pour définir la valeur du coefficient K sont :

- Surface et nombre de moyens de manutention
- Nombre d'opérateurs
- Nombre d'accès et les dimensions de la machine
- Taille des pièces
- Flux de matière

Inversement, K devrait également prendre en compte le rapport entre d'une part la hauteur des machines et des opérateurs et d'autre part, la hauteur à laquelle le moyen de manutention transporte la pièce. Ce rapport a en effet une corrélation inverse avec la surface d'évolution car il permet de passer au-dessus des machines pour le transport des produits

Les modifications suivantes sont également proposées :

- La valeur K est appliquée sur **la surface des accès opérationnels des équipements primaires** et non sur la surface propre plus la surface de gravitation.
- La valeur de K sera supérieure à 1 lorsque la manutention d'une pièce, du fait de sa taille ou de celle du moyen de manutention, dépasse les dimensions de l'accès opérationnel
- Dans les autres situations, l'accès ne sera pas majoré (K = 1).

- **Surface des allées de circulation principales (Sap) :** l'estimation de cette surface constitue l'une des principales difficultés pour le dimensionnement. Plusieurs auteurs proposent des pourcentages pour dimensionner les allées. Muther (1970) conseille de multiplier par un facteur allant de 1,3 à 1,8, tandis que Stephens et Meyers (2013) proposent un facteur allant de 1,5 à 2. Le tableau 6 montre les facteurs nécessaires pour trouver la surface réelle modifiée dans chaque cas d'étude.

Cas d'études	Surf. Prod. modifiée	Surf. Prod. + Allées	% à majorer
Cas 1	173.4	262.7	1.5
Cas 2	230.0	344.6	1.5
Cas 3	45.3	83.9	1.9
Cas 4	110.2	147.9	1.3

Tableau 6. Estimation des allées de circulation (m²)

Comme nous pouvons le constater, les pourcentages pour les cas d'études réalisés se trouvent dans un intervalle allant de 1,3 à 1,9. Ces facteurs sont ainsi compris dans la fourchette proposée par les différents auteurs.

Vu que la configuration des secteurs n'est généralement pas connue lors de la phase d'implantation générale, nous proposons d'utiliser un facteur compris entre 1,3 et 2 qui permet de pré-dimensionner au mieux la surface S_{AP} . Il convient de faire définir ce facteur sur la base des ateliers semblables (même industrie, même types de machines ou des processus, etc.).

5 CONCLUSIONS

La démarche de prévention des risques professionnels est toujours plus efficace et plus économique lorsqu'elle est intégrée dès la phase de conception. Dans cette optique, il est souhaitable de dimensionner les espaces de travail au plus tôt, dès la phase de conception architecturale, en incorporant des critères de prévention, afin de prévoir un espace suffisant pour le bon déroulement des activités.

Nous avons identifié deux méthodes de dimensionnement d'espaces de travail théoriques qui ont constitué le cadre d'orientation de cette étude : la méthode de Guerchet et la méthode « 0+5+X Planning model ». Ces méthodes ont été ensuite appliquées sur les données issues de 4 cas d'étude industriels, afin de comprendre leurs subtilités et leur fonctionnement qui ne sont pas nécessairement détaillés dans la littérature. De cette manière il a été possible d'étudier leur potentiel et leurs limites pour dimensionner des espaces adaptés aux activités.

La méthode de Guerchet ne permet pas contrairement à la méthode « 0+5+X Planning model » de dimensionner correctement la surface pour les accès aux équipements. En ce qui concerne les surfaces d'évolution des moyens de manutention les deux méthodes présentent des limites. Si le principe du facteur K proposé par la méthode de Guerchet est intéressant, sa définition et son domaine d'application ont été revus pour être plus proche de la réalité. La méthode « 0+5+X Planning model » ne permet pas de faire la distinction entre la surface d'évolution et les allées de circulation principales.

Un modèle intégré qui met à profit les avantages des 2 méthodes a été ainsi proposé. Des propositions pour résoudre les limitations repérées sont également exposées, notamment l'adjonction d'une surface pour les déchets, la prise en compte des distances de sécurité pour le calcul des accès et l'ajustement de la valeur K pour le dimensionnement de la surface d'évolution.

En perspective, une étude focalisée sur la valeur K devra être réalisée pour améliorer l'estimation des surfaces d'évolution (ou circulations secondaires), vérifier les ratios standardisés de K et d'intégrer les nouveaux types de

moyens de manutentions non pris en compte actuellement (ex : bras manipulateurs manuel ou automatisé).

REFERENCES

- Coniel, F. et Quenea, M., 2016. Méthode de Guerchet. Étude d'un poste de travail. Pairform.
- Guerchet, P. 1954. "Calcul Des Surfaces d'implantation." Revue Travail et Méthodes, 43-47.
- Marsot, J. 2018. "L'industrie Du Futur : De Quoi Parle-t-On ?" Hygiène et Sécurité Au Travail. Décryptage N°235.
- Martin P., Daille-Lefevre b., Siadat A., Marsot J., Godot X., Lux A., Etienne A., Abba G., Dantan J.Y. 2019. "Les Nouveaux Challenges de Santé - Sécurité Au Sein de l'usine Du Futur." CIGI QUALITA. Montréal, Québec.
- Muther, R., 1970. Distribución en planta. Espagne: McGraw Hill Book Company.
- Muther, R. et Hales, L., 2015. Systematic Layout Planning. États-Unis 4è édition : Management & Industrial Research Publications.
- NF EN ISO 6385. 2016. "Principes Ergonomiques de La Conception Des Systèmes de Travail." Paris: AFNOR.
- NF EN ISO 14122-2. 2017. "Sécurité Des Machines — Moyens d'accès Permanents Aux Machines — Partie 2 : Plats-Formes de Travail et Passerelles." Paris: AFNOR.
- QLIO Transfert Annecy. "IMPACT : Logiciel d'implantation d'atelier." <http://qlio-annecy-transfert.com/logiciel/impact/>.
- Schenk, M., Wirth, S. et Müller, E., 2010. Factory Planning Manual. Londres: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Stephens, M. et Meyers, F., 2013. Manufacturing Facilities: Design and Material Handling. West Lafayette, Indiana: Purdue University Press.
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y. et Tanchoco, J., 2010. Facilities Planning. États-Unis : Wiley-Blackwell
- Valdez, L., Castro, N., Nacerau, D., Solano, W. et Vega, I., 2015. Análisis comparativo para la determinación de superficies teórica y real, a través del método Guerchet. Revista de Investigación, Tecnología y Liderazgo Mexicano, 3 (2015), 78-92.
- INRS, 2018. Sécurité des équipements de travail. Prévention des risques mécaniques. ED 6122.