

Circuit de préparation

Un exemple de problème P

Hugues GENVRIN

30 janvier 2026

1 Le problème du circuit de préparation dans un entrepôt

Nous nous proposons de donner le cas d'une optimisation d'un circuit de préparation d'unités logistiques.

1.1 Présentation du problème pour un circuit de préparation

Un document de préparation Doc_1 est une grille formée de lignes de préparations. Chaque ligne de préparation ℓ_i étant constituée d'une quantité q_i d'unités logistiques $ul(\ell_i)$ et d'un produit p_i référencés par un ou plusieurs champs qui l'identifient. Le document de préparation doit être réalisé en un temps fini à partir d'une date de remise.

1.1.1 Le document de préparation

Le produit est un énoncé qui rassemble des unités élémentaires d'information notées up , qu'on peut la plupart du temps identifier à des champs de la base : fixes ou calculés. Ainsi tout produit $p^k = \{up_1^k, up_2^k, \dots, up_n^k\}$. On pourra définir des classes de produits comme des sous ensembles de l'ensemble de produits, par exemple $\widehat{up_5^k, up_7^k}$ représentera l'ensemble des produits dont les attributs des unités élémentaires d'information 5 et 7, vaudront les attributs pris par p^k .

Les unités logistiques sont des unités associés à des processus logistiques. Cette dernière étant à date une activité assez large d'une firme, bien qu'initialement elle représentait les opérations de transport. On a entendre la logistique dans son sens maximal, et plus simplement comme une classe particulière de produits. D'un point de vue concret on retrouvera les UL_c qui seront les unités de vente consommateur aussi notées UVC. Les UL_d représenteront un ensemble d'unités logistique demandées : sur un bon de préparation pour un client, un bon de transfert inter-magasins. Les UL_s représenteront les unités logistiques de stockage, et les UL_{sd} les unités logistiques disponibles à la vente. Dans une autre optique, l'unité de conditionnement élémentaire, l'unité de colisage, et l'unité de palettisation formeront des unités logistiques pour un produit donné.

On peut alors définir une relation de congruence entre des unités logistiques. Soit ul_1 une unité logistique relative à un produit p^1 . On dira que $ul_2 \cong ul_1(p^1)$ si $ul_2 \in \overline{p^1}$. Si $ul_2 \neq ul_1$ est transformable en ul_1 , alors on pourra dire que $ul_2 \equiv ul_1(p_1)$, dans le cas contraire cela pourra correspondre à un produit disponible en matière première mais pas en produit transformable sous les contraintes demandées.

Afin de convertir les unités logistiques, on utilisera une unité logistique élémentaire qui est un sous-ensembles de R_*^+ .

$$\begin{aligned} \epsilon_\alpha : UL &\rightarrow \mathbb{R}_*^+ \times UL_e \\ ul &\mapsto q \times ul_e \end{aligned}$$

Prenons le cas d'une quantité q d'unités logistiques demandées, représentant $q \times q_e ul_e$ (unités logistiques élémentaires). Si l'unité logistique demandée n'existe pas en stock, mais qu'on a en disponible $q' ul_{sd}$ équivalentes au sens précédent, telle que $\epsilon(ul_{sd}) = q'_e ul_e$, alors on pourra couvrir les besoins en produisant les unités logistiques demandées au moyen des unités logistiques en stocks. Soit κ la fonction de production, il faudra utiliser $\lceil \frac{q_e}{q'_e} \times q \rceil$ unités logistiques disponible.

1.2 L'entrepôt de stockage

C'est une zone de la firme où sont stockés des produits : au sol ou dans des palettiers. Si les premiers permettent de définir une zone de stockage de masse, ou de stockage temporaire, les palettiers peuvent être alignés en vis-à-vis et définir des allées de circulation pour une préparateur de commandes. Les racks sont formés d'échelles et de lisses qui représentent les supports verticaux et horizontaux, définissant des alvéoles où pourront être stockées des marchandises, par l'utilisation de supports de charges (palettes) ou directement sur des planches en aggloméré sur certaines alvéoles.

Le matériel permettra de définir des possibilités et restrictions d'accès à certains emplacements. On inclut l'ensemble vide, une échelle, un transpalette manuel, un transpalette électrique, des chariots élévateurs. On distinguera les différents chariots suivant leur capacité et leur nature : frontal, bi ou tri-directionnel.

A chaque alvéole on pourra définir un ou plusieurs emplacements pour renseigner dans LF_1^0 l'endroit où sont casés l'unité logistique correspondante.

1.3 Modélisation

Pour traiter le document, on procédera en deux étapes, on va tout d'abord vérifier que ul_d sont bien disponibles en stocks, dans le cas contraire on recherchera des unités logistiques disponibles équivalentes. On complète alors le document initial par les unités logistiques à piocher, la quantité et leur représentation en quantité élémentaire, ainsi que l'adresse de l'unité logistique. Ensuite on procède à l'ordonnancement du circuit pour qu'il soit le plus logique possible. On va devoir passer des paramètres et déclarer des variables.

1.3.1 Paramètres

Les paramètres sont des variables qui vont prendre une valeur constante tout au long du circuit. On distinguera les paramètres objectifs et les paramètres subjectifs.

Les paramètres objectifs sont relatifs à la structure de l'entrepôt.

Épaisseur d'une lisse	s_1
Épaisseur d'une planche d'aggloméré	s_2
Hauteur du socle d'une palette à vide	s_3
Sens de parcours d'une allée	$\sigma_a(w) = (-1; 1)$
Définition par segment de la hauteur inférieure du support (sol ou agrès) à partir du plan supérieur de positionnement, immédiatement inférieur.	$h_1(e_1, e_3)$
Définition de la hauteur de pose de la première couche de colis reposant sur un support de charge.	$h_2(e_1, e_3)$
Liste des matériels utilisés par le préparateur	p_i

FIGURE 1 – Paramètres objectifs

Les paramètres subjectifs sont des variables passées en constantes par incomplétude du systèmes d'information existant relativement ces variables, ou par choix d'un responsable. Prenons le cas du volume, de la hauteur d'un colis, cela peut s'avérer extrêmement coûteux et fastidieux pour une firme de prendre les mesures de tous les types de colis qui sont réceptionnés ou produits, destinés à rentrer en stock. Soit le nombre d'allées totale de l'entre-

Hauteur d'un colis	s_4
Volume d'un colis	v_1
Volume d'une couche de colis sur une palette	v_2
Hauteur atteignable pour attraper un colis dans un parcours avec le matériel p_i	$s_5(p_i)$

FIGURE 2 – Paramètres subjectifs

pôt, il convient de déterminer un circuit ordonnant les allées à emprunter, les séquences dans une allée, et l'ordonnancement des travées. Voici le tableau qui sera à compléter :

Allée	Ordo. allée	Palettier	Séquence	Ordo. travée
$A(e_1)$	$F'_5(e_1)$		$F'_1(e_1)$	$\sigma_A(e_1)$
AB	1	A	2	1
AB	1	A	2	-1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

FIGURE 3 – Exemple de définition d'un circuit

1.3.2 Variables

Désignation	Déclaration	Domaine de définition
Allées	e_1	$[A, \dots, Z, \dots]$
Travée palettier	e_2	$[1, \dots, e_2^{max}]$
Etage	e_3	$[1, \dots, e_3^{max}]$
Emplacement dans alvéole	e_4	$[1, \dots, e_4^{max}]$
Nombre d'unités logistique à collecter		$\#(ul_s)$
Equivalence en unités logistiques élémentaires		$\#(ul_e)$
Quantité d'unités logistiques à l'emplacement		$\#ul_s(e_1, e_2, e_3, e_4)$

FIGURE 4 – Liste des variables

Un emplacement est déterminé par un quadruplet alphanumérique (e_1, e_2, e_3, e_4) . On a représenté les palettiers par des lettres de l'alphabet qu'on peut prolonger sur plusieurs caractères si nécessaire, les travées, ainsi que la hauteur et la position dans une alvéole étant représentées par des entiers bornés. Ainsi on pourra avoir pour ensemble de définition des emplacements : $\mathcal{D}_e = [A, B, \dots, Z, \dots] \times [1, 2, \dots, e_2^{max}] \times [1, 2, \dots, e_3^{max}] \times [1, 2, \dots, e_4^{max}]$.

1.3.3 Contraintes

On va définir une fonction qui va retourner la hauteur de pose d'une unité logistique :

$$P(e_1, e_2) = \sum_{i=0}^2 h_1(e_i) + e_2 \times s_1 + h_2(e_1, e_2) + \lfloor s_4 \times \frac{\#ul_s(e_1, e_2, e_3, e_4)}{v_2} \rfloor.$$

Cela nous permet de déterminer des règle d'affectation de matériel pour atteindre un unité logistique du document de préparation, ce sera une fonction définie par segment.

Hauteur de pose	Matériel
$P(e_1, e_2) \leq p_1$	P_1
$p_1 \leq P(e_1, e_2) \leq p_2$	P_2
$p_2 \leq P(e_1, e_2) \leq p_3$	P_3
\vdots	\vdots

FIGURE 5 – Règle d'affectation d'un matériel à la collecte d'une ligne de préparation

1.3.4 Ordonnancement du parcours

On va affecter chaque ligne de préparation d'un ou plusieurs indices permettant d'ordonner la collecte, en y joignant la quantité d'unités logistiques et son équivalent en unités élémentaires à prendre.

On va associer à chaque ligne de préparation le nombre i définit par :

$$i = F_1(e) \times 10^8 + F_2(e) \times 10^6 + F_3(e) \times 10^4 + F_4(e) \times 10^2 + F_5(e) \quad (1)$$

qui permettra alors d'ordonner le circuit de préparation.

Fonctions	Objet
$F_1(e) = \#D_a + 1 - F'_1(e_1)$	Retourne l'indice ordonné de passage dans une allée sur le circuit.
$F_2(e) = \#D_{e_2} - e_2 \times \sigma_a(e_2)$	Renvoie l'indice de parcours d'une travée de l'adresse de stockage d'un palettier.
$F_3(e) = e_4$	Retourne la partie de l'adresse de stockage où l'on collecte les unités logistiques.
$F_4(e) = e_3 + 1$	Indique le niveau du plan de l'adresse de stockage, sachant qu'on collecte de bas en haut à partir du sol.
F_5	Extrait l'indice représentant les couples Allées/Palettier de même indice de passage pour ordonner les séquences sur ces allées.
F^*	sera une fonction indicatrice pour savoir s'il faut casser une unité logistique.

FIGURE 6 – Fonctions intermédiaires

2 Le COTS associé

On retiendra pour cette application l'usage du tableur Excel, qui permet d'importer aisément des jeux de la base et d'utiliser des modules en visual basic application pour procéder à au mapping et au traitement. L'application existe dans le cadre d'une entreprise, le codage n'est pas mis en ligne pour des raisons de confidentialité.

Table des matières

1	Le problème du circuit de préparation dans un entrepôt	1
1.1	Présentation du problème pour un circuit de préparation . . .	1
1.1.1	Le document de préparation	1
1.2	L'entrepôt de stockage	2
1.3	Modélisation	3
1.3.1	Paramètres	3
1.3.2	Variables	4
1.3.3	Contraintes	5
1.3.4	Ordonnancement du parcours	5
2	Le COTS associé	6