

MASTER 2 CSMI

Optimisation d'algorithme d'entrée et libération des trieurs 25 et 26 de l'atelier PAM1

MÉLISSA UNTZ

TUTEUR DE STAGE : HERVÉ JEHEL, CHEF DE PROJET TRANSVERSE INGÉNIERIE
ENSEIGNANT RÉFÉRENT : CHRISTOPHE PRUD'HOMME

Année scolaire 2021-2022

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Contexte général	2
1.2	Explication du sujet	2
1.3	Feuille de route	5
1.3.1	Première version	5
1.3.2	Deuxième version	5
2	Description des trieurs 25 et 26	7
2.1	Structure physique des trieurs	7
2.2	Flux logistique trieurs vers postes d'emballage	8
2.3	Stockage - déstockage d'une pièce dans un emplacement	11
2.4	Structure d'un emplacement de stockage	11
3	Algorithme initial d'entrée des pièces dans les trieurs	12
3.1	Répartition des pièces entre les deux trieurs	12
3.2	Répartition des pièces entre les différents emplacements d'un trieur	12
3.2.1	Critères à respecter obligatoirement	12
3.2.2	Critères que l'on souhaite vérifier pour avoir la place la plus adaptée	13
3.3	Décortiquage de l'algorithme de choix des emplacements	14
3.3.1	Description et explication de la fonction principale ZielPlatzErmitteln (détermination de l'emplacement cible)	14
3.3.2	Description de la fonction IsZielPlatzGeeignet (emplacement cible est-il approprié)	17
3.3.3	Fonctions secondaires utilisées dans la détermination de l'emplacement cible	18
4	Simulation virtuelle des trieurs à partir du code source	19
4.1	Implémentation de la structure physique des trieurs	19
4.2	Sélection des fichiers de données réelles	21
4.2.1	Stock de référence (à un instant t)	22
4.2.2	Flux d'entrée en stock et mouvements dans les trieurs	24
4.2.3	Flux de sortie initial des trieurs	25
4.2.4	Inclusion des pannes dans les boxs	26
4.3	Reproduction du fonctionnement des trieurs	27
4.3.1	Historisation des mouvements d'un trieur	27
4.3.2	Comparaison des résultats avec les données réelles, en suivant l'ordre de libération initial	28

5	Simulation virtuelle des trieurs à partir d'un logiciel	29
5.1	Reproduction de la structure physique des trieurs	29
5.2	Description des différents scénarios à simuler	29
5.2.1	Scénarios d'algorithmes d'entrée	29
5.2.2	Scénarios d'ordres de libération	30
5.3	Résultats des simulations	30
5.3.1	Etude des indicateurs	33
5.3.2	Décision de modification d'algorithme	34
5.4	Impact des modifications sur la production	35
6	Développement des algorithmes de libération des trieurs	38
6.1	Calcul des multi-colis	38
6.2	Ordre de libération des listes	38
6.2.1	Cas des pièces de meubles sur-mesure	38
6.2.2	Cas des pièces START	39
7	Conclusion	41
	Bibliographie	42

1 Introduction

1.1 Contexte général

De nos jours, toutes les entreprises sont soumises à la concurrence et doivent sans cesse tenter d'innover et d'améliorer leurs performances pour devenir plus compétitives et générer davantage de bénéfices. Parmi les pistes à explorer pour dynamiser la productivité industrielle, on trouve l'optimisation des processus, notamment en remplaçant les installations existantes par des technologies plus innovantes et plus efficaces.

Ici, nous nous concentrons sur le projet de remplacement de la ligne d'emballage au sein de l'atelier PAM (panneaux multiples) de l'Unité 1 de Sélestat (U1). Cette nouvelle installation permettra d'automatiser l'emballage carton des panneaux et de regrouper, lorsque c'est possible, des pièces d'une même commande dans un même colis (multi-colis). Cette modification aura pour but d'augmenter la cadence de production de l'atelier (5000 panneaux emballés par jour) et de diminuer la main d'oeuvre (le nombre d'opérateurs emballeurs).

Le sujet du projet est proposé par Hervé Jehel, chef de projet transverse Ingénierie chez Schmidt Groupe. Schmidt Groupe est une entreprise française créée en 1934 par Hubert Schmidt. Elle conçoit, produit et distribue une large gamme de meubles pour cuisines, salles de bains et rangements. Elle est connue sous les enseignes et marques Schmidt et Cuisinella. Schmidt Groupe occupe aujourd'hui le premier rang des fabricants de cuisines en France et le cinquième rang des fabricants de cuisines en Europe. L'entreprise possède actuellement 4 sites de production : à Sélestat, France (3 usines : Unité 1, Unité 2/2BIS, Unité 3), à Lièpvre (France), à Bergheim (France) et à Türkismühle (Allemagne) [1].

1.2 Explication du sujet

La figure 1 est un plan de l'atelier PAM U1, nommé aussi PAM1. La partie de l'atelier entourée en rouge à la zone à laquelle mon projet est relié.

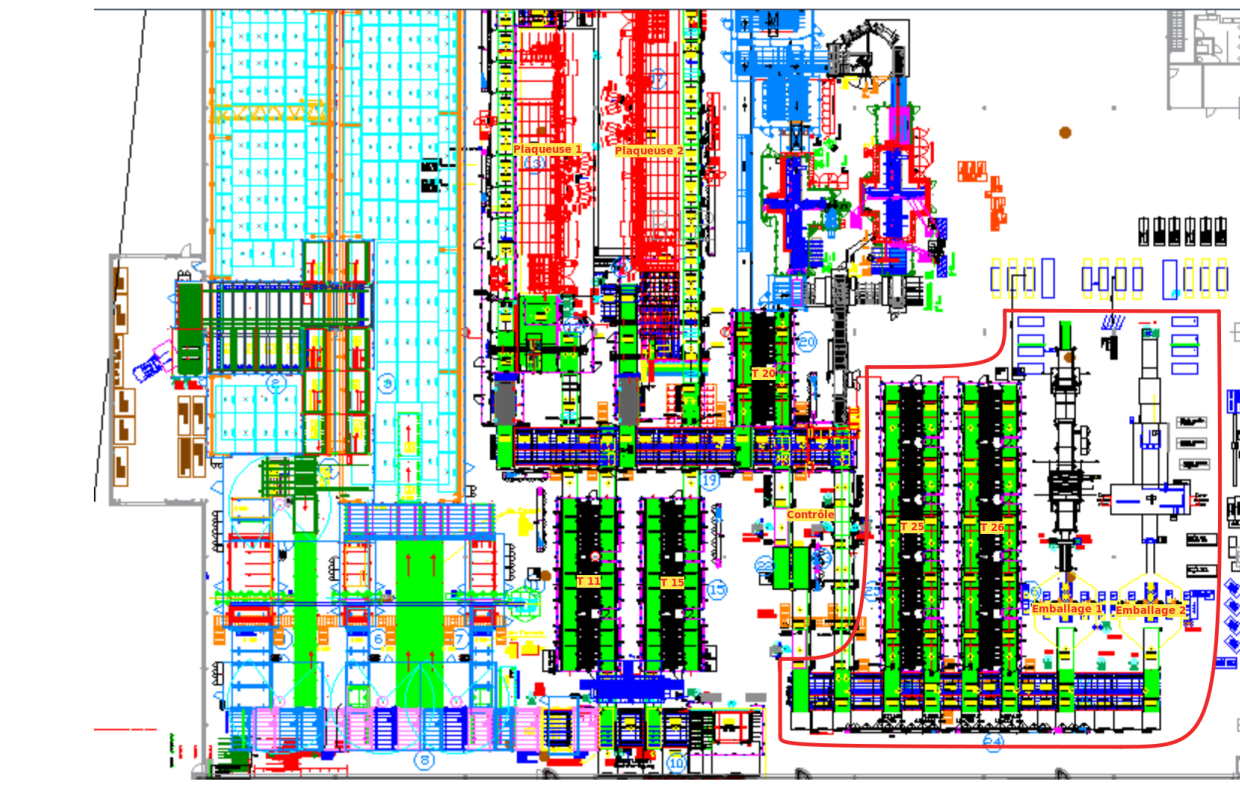


FIGURE 1 – Plan de l'atelier PAM1 (Source : logiciel AutoCad)

Chaque panneau qui est expédié de l'atelier PAM1 suit un certain flux logistique, qui peut varier d'une pièce à l'autre :

- Tous les panneaux sont initialement stockés dans l'une des deux zones de stockage disponibles à l'atelier. On y trouve plus de 400 références différentes (en épaisseurs et en coloris). L'épaisseur d'un panneau varie entre 8 et 50 mm.
- Le panneau d'épaisseur et de coloris commandé est débité
- S'il doit être redimensionné il passe dans des scies pour être découpé
- Des chants peuvent être collés sur le panneau en passant par les plaqueuses
- Les pièces spécifiques (perçage, quincaillerie) passeront par le poste d'usinage
- Les pièces terminées passent sous les yeux et les mains des contrôleurs pour vérifier leur qualité
- Une fois contrôlées les pièces sont stockées dans l'un des deux trieurs 25 ou 26
- Les pièces sont libérées des trieurs et emballées (dernier poste de l'atelier) avant d'être expédiées sur d'autres sites du groupe Schmidt.

La zone de l'atelier reliée à mon projet est représentée sur la figure 2. On y voit le poste de contrôle des pièces, les trieurs (T25 et T26) dans lesquelles les pièces seront stockées et les postes d'emballage que les trieurs alimentent.

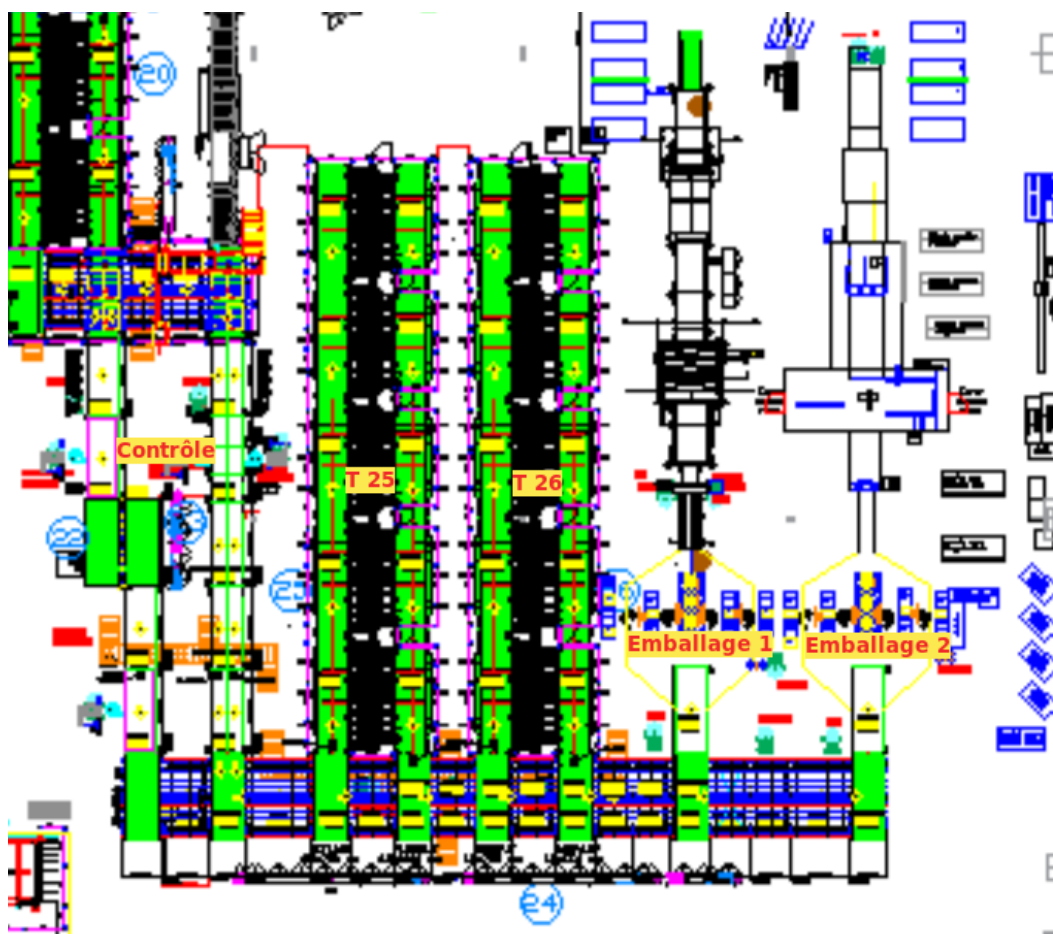


FIGURE 2 – Plan du contrôle, des trieurs 25/26 et de l'emballage à la PAM1 (Source : logiciel AutoCad)

Les pièces stockées dans les trieurs 25 et 26 sont actuellement libérées des trieurs puis emballées individuellement (voir schéma 3 ci-dessous), selon un ordre aléatoire.

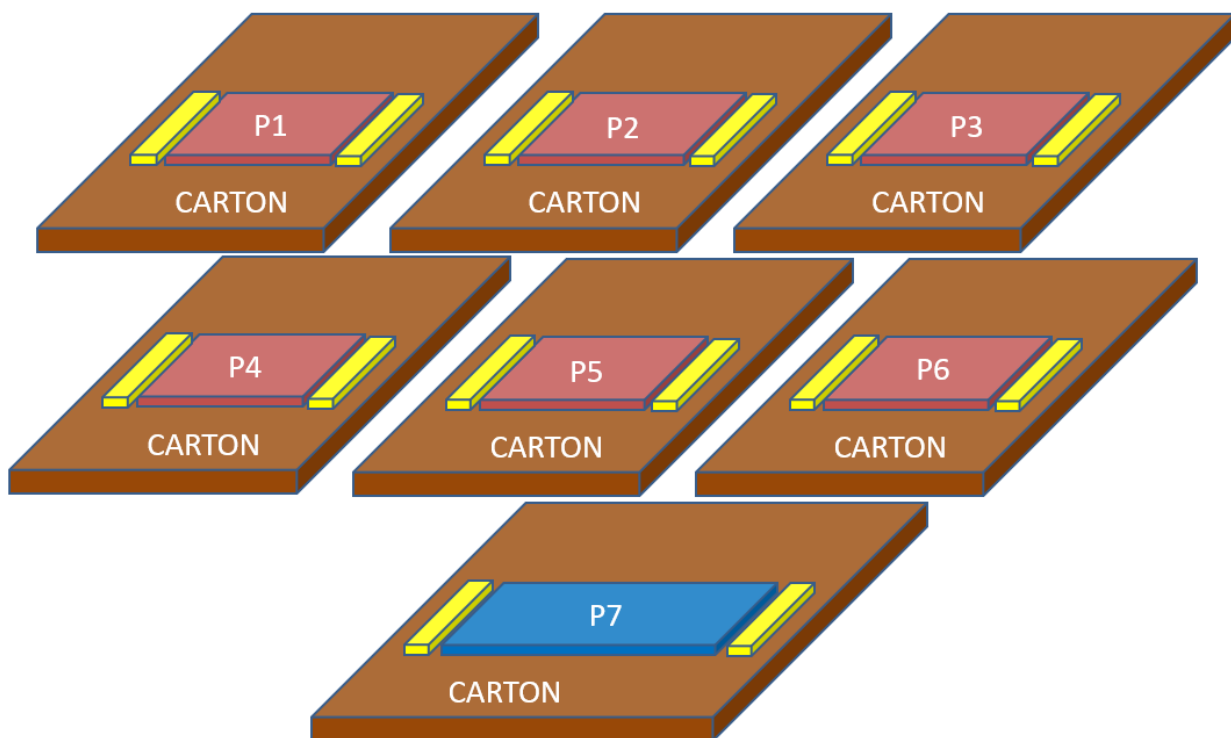


FIGURE 3 – Schéma représentant des colis individuels

La nouvelle installation permettra de faire des colis multiples, comme dans l'exemple du schéma 4 ci-dessous. Il faut alors définir un autre ordre de sortie qui prend en compte la possibilité de regrouper certaines pièces dans un même colis. Les conditions à vérifier pour former un multi-colis ont été préalablement définies selon les capacités des machines (voir section 6).

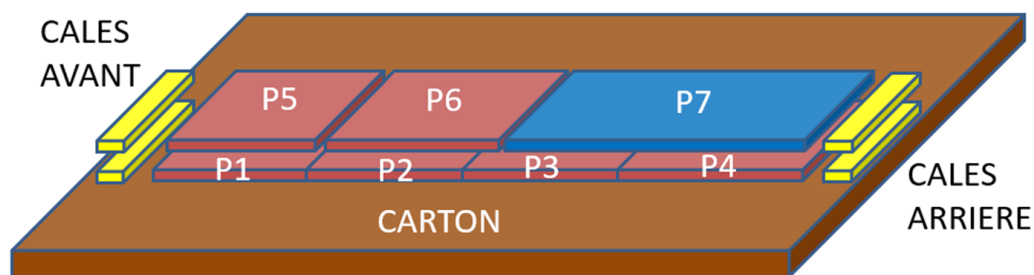


FIGURE 4 – Schéma représentant des multi-colis

Ainsi, l'objectif du projet est de modifier l'algorithme d'entrée et de libération des pièces dans les trieurs 25 et 26, afin de générer des multi-colis tout en garantissant le maintien de la cadence de production cible (5000 panneaux par jour).

1.3 Feuille de route

1.3.1 Première version

Pour avoir une vision globale du projet, j'ai créé une première version de la feuille de route ("road map"), résumée dans un diagramme de Gantt. Elle définit les différentes tâches à effectuer pour atteindre les objectifs. Les dates approximatives des rendus intermédiaires y sont également affichées. Ce premier diagramme apparaît sur la figure 5 et est accessible sur le lien [ici](#).

Diagramme de Gantt V1

UNTZ Mélissa

Intitulé du projet : Optimisation algorithme entrée/libération trieurs 25/26 PAM1

Tuteur : Hervé JEHEL

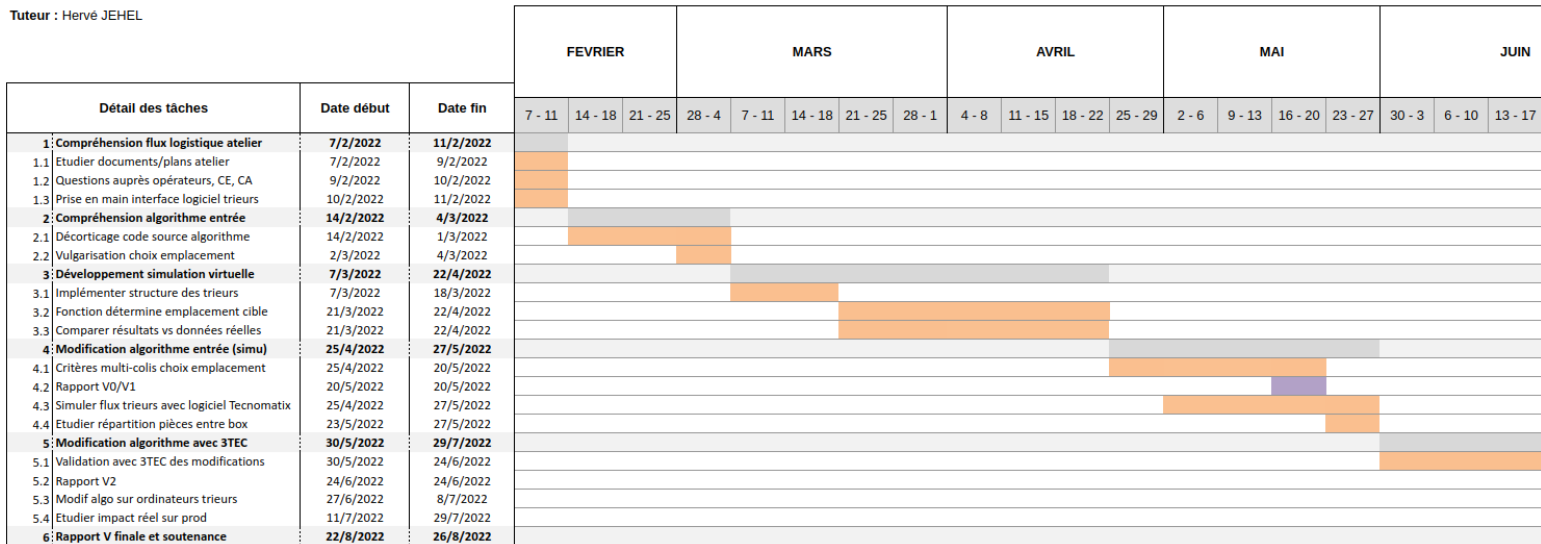


FIGURE 5 – Extrait du diagramme de Gantt V1

1.3.2 Deuxième version

La deuxième feuille de route fait suite à l'insatisfaction de la simulation virtuelle à partir du code source. Le diagramme prend maintenant en compte le projet de collaboration avec un ingénieur allemand qui utilise le logiciel Tecnomatix (Siemens) pour les simulations d'installations dans l'industrie de l'ameublement.

Le diagramme apparaît sur la figure 6 et est accessible sur le lien [ici](#).

Diagramme de Gantt V2

UNTZ Mélissa

Intitulé du projet : Optimisation algorithme entrée/libération trieurs 25/26 PAM1

Tuteur : Hervé JEHEL

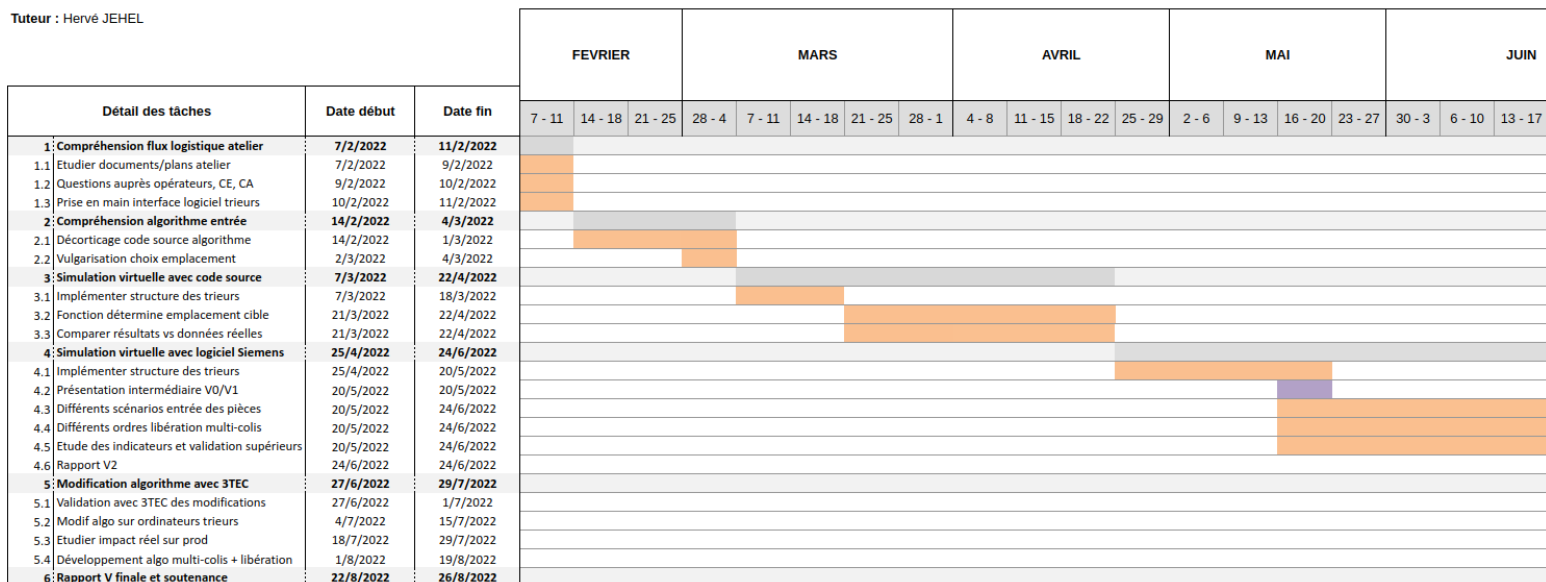


FIGURE 6 – Extrait du diagramme de Gantt V2

2 Description des trieurs 25 et 26

2.1 Structure physique des trieurs

Les figures 7 et 8 décrivent la structure des deux trieurs qui précèdent la ligne emballage. Chaque trieur contient 5 boxs et chaque box possède des emplacements de stockage sur ses deux côtés. Chaque côté contient 44 emplacements et dans chaque emplacement on peut y stocker jusqu'à 8 pièces.

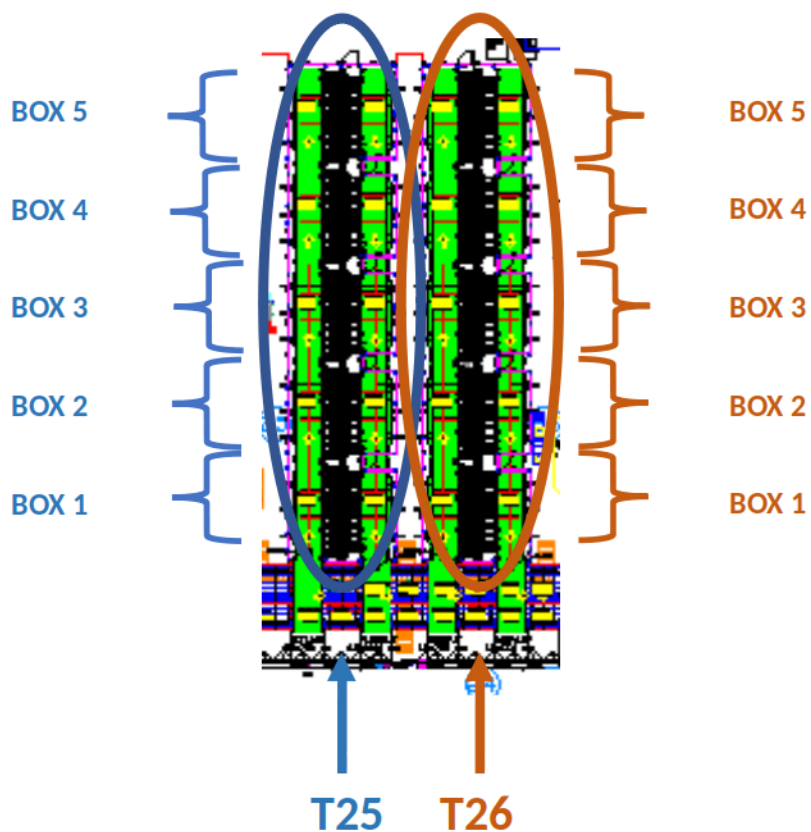


FIGURE 7 – Répartition des boxs dans les trieurs (Source : logiciel AutoCad)

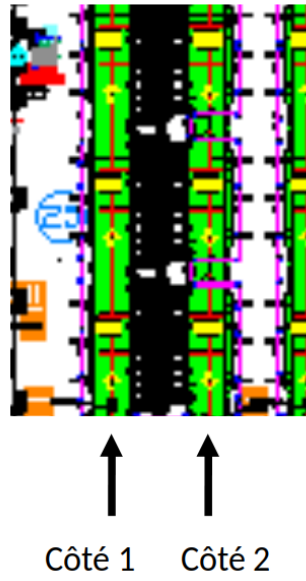


FIGURE 8 – Côté 1 et côté 2 d'un trieur (Source : logiciel AutoCad)

Dans le côté 1 du trieur, on privilégie le stockage des pièces de petites dimensions (longueur inférieure à 2925 mm), tandis que dans le côté 2 on stocke majoritairement les pièces de plus grandes dimensions (longueur inférieure à 3070 mm).

2.2 Flux logistique trieurs vers postes d'emballage

Après avoir été contrôlées, les pièces sont dirigées vers des trieurs pour y être stockées avant d'être emballées. Elles atteignent le trieur 25 ou 26 en circulant via des convoyeurs.

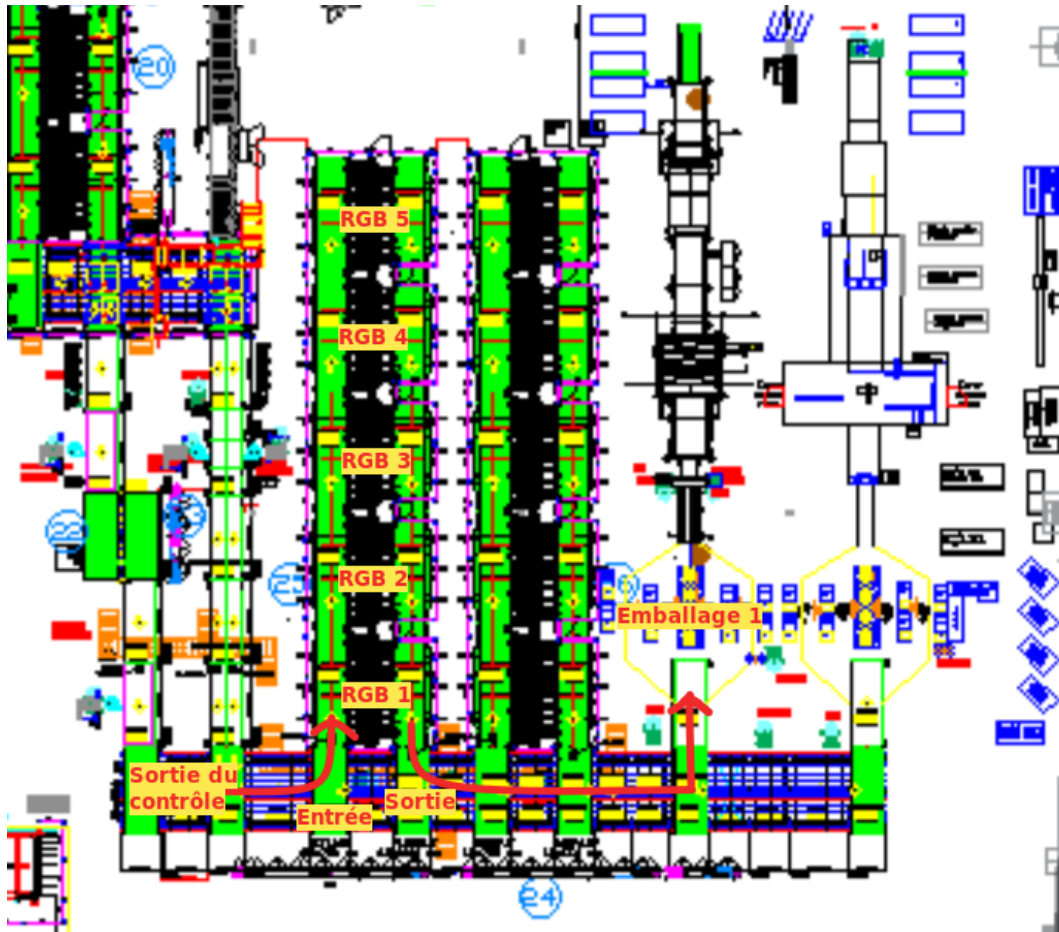


FIGURE 9 – Flux des pièces dans le trieur 25 (Source : logiciel AutoCad)

La figure 9 illustre le flux des pièces qui entrent dans le trieur 25. De même, la figure 10 illustre le flux des pièces qui entrent dans le trieur 26. Ces panneaux se déplacent entre box grâce aux mouvements des convoyeurs d'entrée et de sortie. Les mouvements internes au box sont effectués par le préhenseur, que l'on nomme parfois par son acronyme allemand "RGB". Il s'agit d'un robot qui déplace les pièces selon l'axe Y (accès aux deux côtés) et selon l'axe Z (accès aux différents étages).

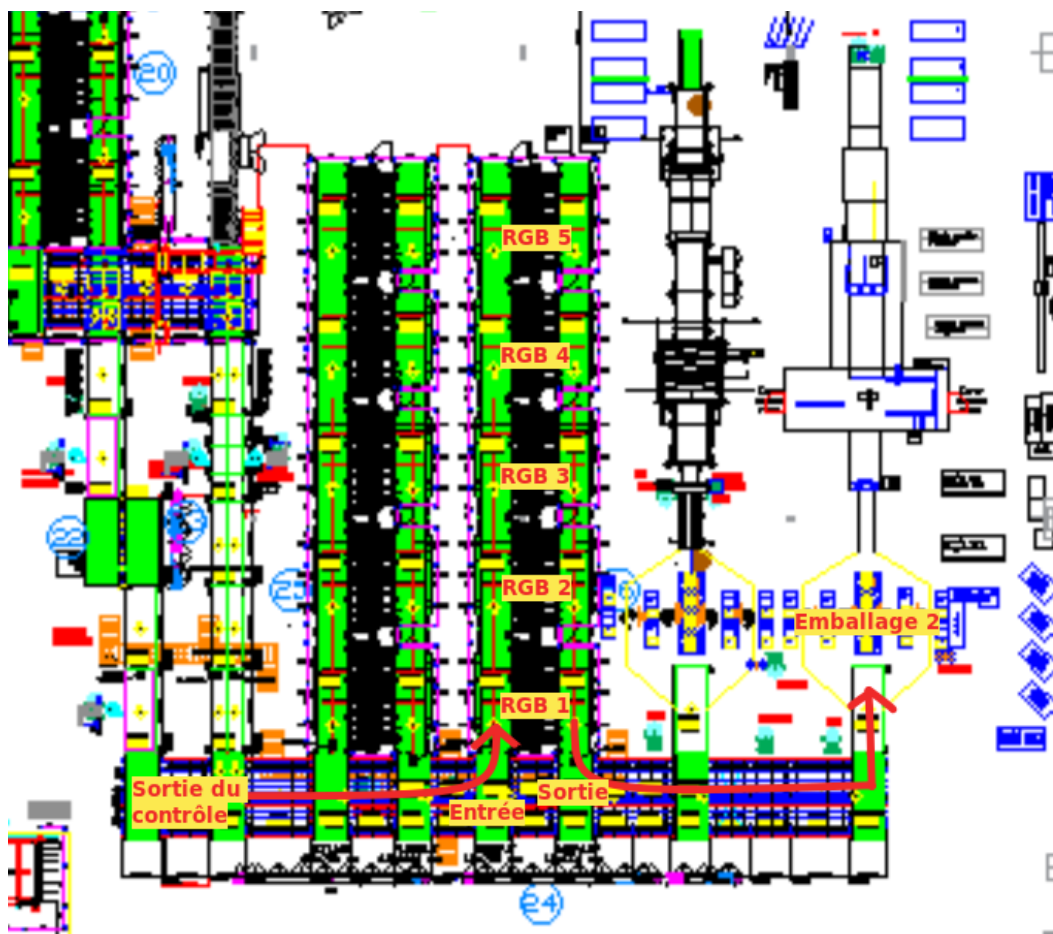


FIGURE 10 – Flux des pièces dans le trieur 26 (Source : logiciel AutoCad)

Le contenu de ces deux trieurs alimente les deux postes d'emballage. Ainsi, une pièce stockée dans le trieur 25 sera emballée au poste emballage 1 et une pièce stockée dans le trieur 26 sera emballée au poste emballage 2.

2.3 Stockage - déstockage d'une pièce dans un emplacement

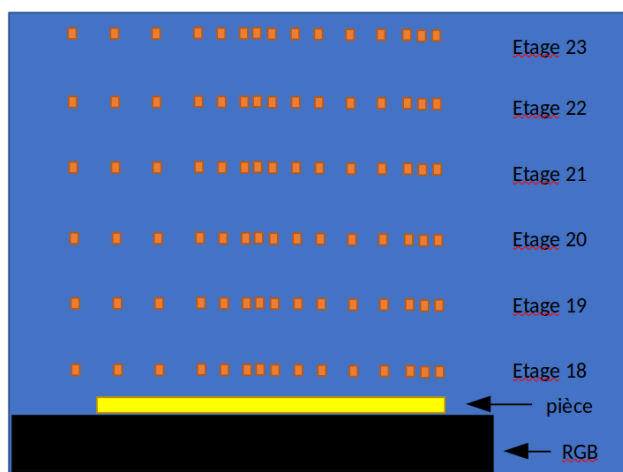


FIGURE 11 – Stockage côté 1 - étape 1

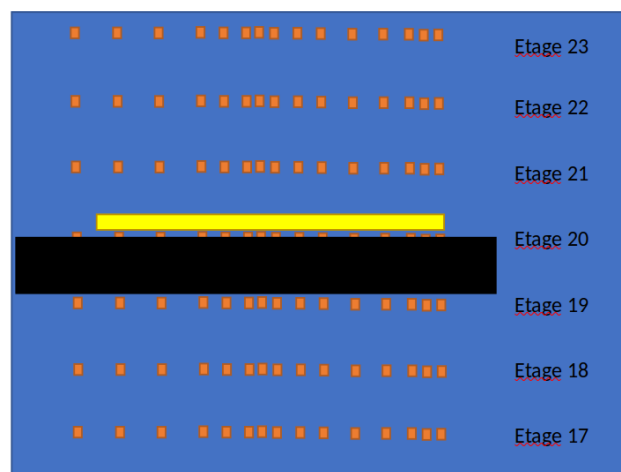


FIGURE 12 – Stockage côté 1 - étape 2

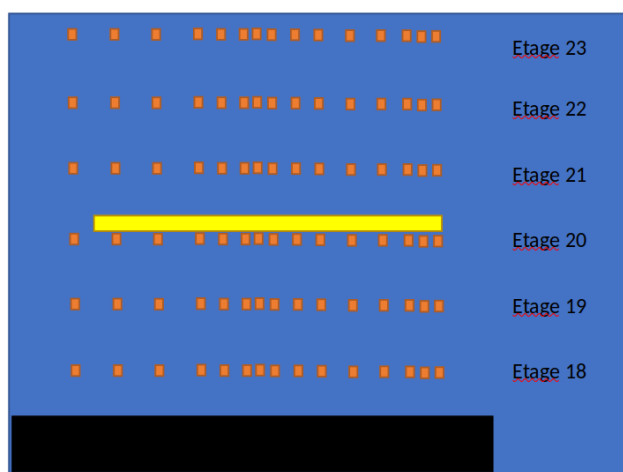


FIGURE 13 – Stockage côté 1 - étape 3

Les figures 11, 12 et 13 illustrent comment se comporte le préhenseur lorsqu'il stocke une pièce dans un emplacement. La sortie d'une pièce du box s'effectue de la même manière que le stockage.

2.4 Structure d'un emplacement de stockage

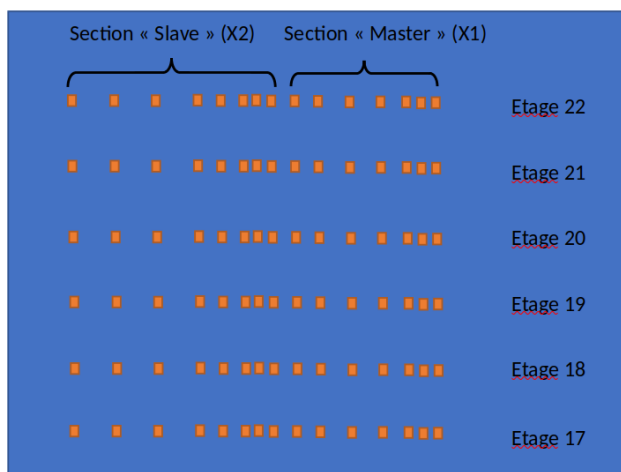


FIGURE 14 – Section master et section slave

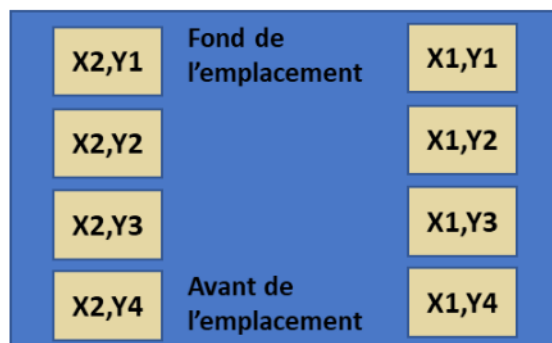


FIGURE 15 – Positions dans un emplacement

Les figures 14 et 15 illustrent les deux sections qui composent chaque emplacement d'un box :

- une partie correspondant aux positions $X1, Yi$ ($i \in [1; 4]$), que l'on nomme section "Master" et qui mesure 1400 mm de long.
- l'autre partie correspondant aux positions $X2, Yi$, que l'on nomme section "Slave" et qui mesure 2375 mm de long.

La position Y1 correspond à la position la plus au fond de l'emplacement. La profondeur d'un emplacement mesure actuellement 1460 mm.

3 Algorithme initial d'entrée des pièces dans les trieurs

Il s'agissait ensuite de comprendre comment sont stockées dans les trieurs 25 et 26 les pièces produites à la PAM1. La première étape était de connaître la logique derrière la répartition entre les deux trieurs, puis de décortiquer le code source auquel j'avais accès pour comprendre le fonctionnement de l'algorithme d'entrée des pièces dans chacun des trieurs.

3.1 Répartition des pièces entre les deux trieurs

Une mise sur liste consiste en le fait de définir toutes les pièces qui doivent être produites pour les commandes d'un jour de livraison fixé. Cette mise sur liste s'effectue à J-10, c'est-à-dire dix jours avant l'expédition des commandes par camions. Au moment de la mise sur liste, un algorithme répartit de manière équilibrée toutes les pièces qui seront stockées dans les trieurs 25 et 26 à la PAM1. Le choix de répartition se fait parmi 64 scénarios. Chaque scénario respecte certaines règles. Pour les décrire il faut d'abord définir le terme "partie de journée". On peut diviser un jour d'expédition en quatre créneaux : 5h-9h, 9h-13h, 13h-17h, 17h-21h. A chacun de ces créneaux on associe une lettre, différente pour les différents sites de l'entreprise :

- Site de Lièpvre (LVR) : A, B, C, D (R et S pour SAV/urgences)
- Site U2 (Unité 2 Sélestat) : M, N, O, P (I et L pour SAV/urgences)
- Site U3 (Unité 3 Sélestat) : **A, B, C, D**

Le site de Türkismühle (TM), en Allemagne, possède deux parties de journées : T, U (Q et Z pour SAV/urgences).

Le site de Bergheim (CL1) produit la gamme Start (meubles standardisés, non sur-mesure). Les parties de journées associées sont 1, 2, 3, 4, 5, 6, K.

Théoriquement, les pièces doivent être expédiées dans les camions du créneau associé à la partie de journée.

Finalement, dans chacun des scénarios on fait en sorte que toutes les pièces de deux parties de journée soient dans un trieur, et que les pièces des deux autres parties soient dans l'autre trieur.

Exemple :

- T25 → A, N, O, D, T, **AB**, Q, R, S, Z
- T26 → M, B, C, P, U, **CD**, I, L, Start (PMEMS), EFJH, listes oubliées

3.2 Répartition des pièces entre les différents emplacements d'un trieur

Le choix de l'emplacement de chaque pièce stockée dans les trieurs 25 et 26 est basé sur un système de « meilleur score ». Le calcul de ce score est décrit dans le code informatique source, développé par une société allemande spécialisée dans les logiciels d'automatisation industrielle ; un extrait d'une fonction développée, nommé *ZielPlatzErmitteln.cs* est disponible dans le dossier *Code*.

Pour chaque nouvelle pièce entrée en stock, l'algorithme parcourt tous les emplacements existants dans les 5 boîtes du trieur choisi (25 ou 26). Dans le cas d'un mouvement à l'intérieur d'un box, l'algorithme parcourt uniquement tous les emplacements du box dans lequel se trouve la pièce. Chaque emplacement est « noté » selon 6 critères obligatoires et 9 critères souhaitables, ce qui permet de les trier et de finalement sélectionner le plus adapté au composant pour un instant t. Les critères sont définis par une valeur plus ou moins grande en fonction de leur degré d'importance, stockés dans l'attribut *ErmZielplatz_Bewerter* de l'emplacement considéré. On précise que l'ordre de priorité est modifiable. Décrivons brièvement l'ordre actuellement défini.

3.2.1 Critères à respecter obligatoirement

Les valeurs associées aux variables ci-dessous sont des nombres hexadécimaux (c'est-à-dire écrits en base 16), leur conversion en nombre binaire et décimal est précisée entre parenthèses.

- Pflicht_PlatzIstKeinTabuPlatz = 0x20000 (10000000000000000000₂ = 131072₁₀)
Il s'agit actuellement de la donnée la plus prioritaire, elle permet de savoir si la place testée est une place non « taboue ». Cependant, le code dont nous disposons à ce jour montre qu'elle n'est pas utilisée car le tableau contenant les places taboues est vide.
- Pflicht_BoxErreichbar = 0x10000 (10000000000000000000₂ = 65536₁₀)
Cette donnée permet de vérifier que le box considéré est accessible par voie de transport, c'est-à-dire que le préhenseur associé au box est en statut « actif (12) » ou « automatique prêt à travailler (13) ».
- Pflicht_EingangNichtGesperrrt = 0x8000 (10000000000000000000₂ = 32768₁₀)
Ce critère permet de vérifier que l'entrée dans l'emplacement n'est pas en statut « verrouillée ».
- Pflicht_Materialstaerke_Erlaubt = 0x4000 (10000000000000000000₂ = 16384₁₀)
Cette donnée a pour but de vérifier que l'épaisseur du composant rentre dans l'emplacement considéré. Actuellement, les grosses pièces (d'épaisseur supérieure à 26 mm) doivent être stockées dans un emplacement de hauteur supérieure ou égale à 90 mm.
- Pflicht_PlatzIstLagerPlatz = 0x2000 (10000000000000000000₂ = 8192₁₀)
Ce critère permet de savoir si l'emplacement considéré est bien une place de stockage (StandardPlatz).
- Pflicht_ZielplatzHatAusreichendPlatz = 0x1000 (10000000000000000000₂ = 4096₁₀)
Cette donnée permet de savoir si l'emplacement testé possède suffisamment de place pour accueillir le composant que l'on souhaite stocker. C'est toujours le cas si l'emplacement vérifie le test IsZielPlatzGeeignet (voir plus bas, à partir de page 16).

3.2.2 Critères que l'on souhaite vérifier pour avoir la place la plus adaptée

- WUNSCH_Materialstaerke = 0x400 (1000000000000₂ = 1024₁₀)
Ce critère permet de privilégier un emplacement cible de petite hauteur (inférieure ou égale à 60 mm) pour les composants de petite épaisseur (inférieure à 26 mm), et un emplacement cible de hauteur plus grande (supérieure à 60 mm) lorsque les composants ont une grande épaisseur (supérieure à 26 mm).
- WUNSCH_PlatzNormaVerwenden = 0x200 (100000000000₂ = 512₁₀)
Cette donnée dit que l'emplacement cible est une place que l'on peut utiliser normalement : les pièces très volumineuses ont des emplacements de destination différents (étages du bas).
- WUNSCH_SektionsBelegungFachWirdVoll = 0x100 (1000000000₂ = 256₁₀)
Cette donnée permet de savoir si la largeur restante (profondeur de l'emplacement), après avoir entré en stock le composant, est inférieure à 60 mm. Si c'est le cas, on considère que l'emplacement sera plein après l'entrée en stock.
- WUNSCH_PlatzAusfuellungFachOptimal = 0x80 (100000000₂ = 128₁₀)
Ce critère permet de savoir si la largeur restante, après avoir entré en stock le composant, est supérieure ou égale à une largeur optimale définie (voir fonction ErmittelnOptimaleRestBreite) additionnée à la distance minimale entre deux composants dans un box (iMinabstand2Platten_Y) selon l'axe Y.
- WUNSCH_SektionsBelegungFachOptimal = 0x40 (10000000₂ = 64₁₀)
Ce critère permet de savoir si l'affectation de l'emplacement est optimale. Le code montre que cette valeur est toujours activée lorsqu'une position dans la profondeur de l'étagère est trouvée dans l'emplacement cible, sauf dans un cas précis (page 17) où on vérifie que l'étage de l'emplacement cible soit supérieur à 20.
- WUNSCH_Seite = 0x8 (1000₂ = 8₁₀)
Si la longueur du composant est supérieure à 2 375 mm, alors cette donnée permet de privilégier les emplacements du côté 1. Si la longueur du composant est inférieure ou égale à 2 375 mm, alors on privilégie le côté 2.
- WUNSCH_RechenNoWait = 0x4 (100₂ = 4₁₀)
Cette donnée privilégie le fait de ne pas attendre au râteau. Si aucun composant n'est en déplacement pour ce box, au niveau du râteau, on préférera l'emplacement cible concerné à un autre.

- WUNSCH_AusgleichNUM_LIST = 0x2 ($10_2 = 2_{10}$)
Ce critère privilégie la répartition équilibrée de la liste numérique entre les différents boxs du trieur, c'est-à-dire si le box stocke moins de 5 composants d'une même liste ou qu'il en stocke moins que les quatre autres box.
- WUNSCH_LeeresFach = 0x1 ($1_2 = 1_{10}$)
On émet le souhait de privilégier les emplacements vides du trieur lorsqu'au moins 25 le sont réellement. On émet aussi le souhait de remplir d'abord les emplacements qui ont uniquement la première profondeur occupée (POS_Y = 1).

3.3 Décortiquage de l'algorithme de choix des emplacements

3.3.1 Description et explication de la fonction principale ZielPlatzErmitteln (détermination de l'emplacement cible)

Principale fonction pour déterminer l'emplacement de destination d'une pièce

L'ensemble des étapes décrites ci-dessous est effectué pour chaque nouvelle pièce que l'on souhaite entrer en stock :

1. Dans le fichier de suivi/exploitation, on écrit la demande de stockage « ANFRAGE-> » du composant, suivie des données dont on dispose :
 - BARCODE (code barre)
 - ACT_LENGTH_PC (longueur du composant)
 - ACT_WIDTH_PC (largeur du composant)
 - ACT_THICKNESS_PC (épaisseur du composant)
 - PLACE_NO (emplacement actuel → convoyeurs 24 ou convoyeurs dans trieurs)
 - POS_X (compteur de position du composant sur le convoyeur, dans l'axe de la longueur)
 - POS_Y (compteur de position du composant sur le convoyeur, dans l'axe de la largeur)
 - aBoxID (box de destination du composant → de 1 à 5 si déjà dans le trieur, -1 sinon)
 - aXPosVorgabe (position de destination du composant dans l'emplacement → 1 ou 2 si déjà dans le trieur, -1 sinon)

Lorsque les deux dernières variables sont fixées à -1, cela signifie que le composant est encore sur l'un des convoyeurs en position 24, on ne connaît pas encore le numéro de box ni la position de destination.

2. On construit une statistique qui sera utilisée pour répartir de manière équilibrée les listes numériques dans les 5 boxs du trieur. Il s'agit de compter, pour chaque box, le nombre de pièces associées à la même liste numérique que la pièce considérée. Pour chaque box, on additionne le nombre trouvé pour le côté gauche (1) et le côté droit (2).
3. On détermine la largeur restante optimale pour l'avant-dernière partie. En effet, on crée un tableau dans lequel on stocke toutes les largeurs de toutes les pièces stockées dans le trieur. Cette liste est triée dans l'ordre croissant (de la plus petite largeur à la plus grande). On fixe une frontière d'indice égale à la formule suivante : $\text{taille_de_la_liste_des_largeurs} * 0.15 + 1$. Cette frontière permet de considérer 15 % des pièces les moins larges du trieur. On décide alors que :
 - (a) Si ces 15 % correspondent à plus de 10 pièces, la largeur restante optimale est associée à la largeur de la pièce sur cette frontière de 15 %.
 - (b) Si cela représente moins que 10 pièces, on considère que la largeur optimale restante est 300 mm.
4. On parcourt tous les emplacements cibles du trieur, et pour chacun d'entre eux :
 - On initialise à 0 leurs compteurs de positions temporaires POS_X et POS_Y (dans le code TEMP_POS_X et TEMP_POS_Y).

- On détermine le type de la place étudiée. Avant de décrire cette partie, il faut définir les sections Master et Slave. Ces deux sections correspondent aux deux zones POS_X définies dans un emplacement : quand POS_X = 1 il s'agit de la section Master et lorsque POS_X = 2 on est dans la section Slave. Ainsi, MasterLaenge et SlaveLaenge correspondent respectivement aux longueurs des sections Master et Slave, c'est-à-dire 1400 et 2375 mm. Une place peut alors être de type Master (cas jamais considéré), Slave (cas jamais considéré), Master-Slave couplés (pièces empiètent sur l'autre section), Master-Slave non couplés. Ce résumé est détaillé dans l'algorithme ci-dessous : Si l'emplacement est vide, on considère que l'espace peut être utilisé pour tout type de pièce. Sinon :
 - (a) Lorsque la pièce dans l'emplacement a une position POS_X = 1 :
 - i. Si la longueur de la pièce est plus grande que MasterLaenge, alors il s'agit d'un emplacement de type Master-Slave couplés.
 - ii. Sinon il s'agit d'un emplacement de type Master-Slave non couplés.
 - (b) Lorsque la pièce dans l'emplacement a une position POS_X = 2 :
 - i. Si la longueur de la pièce est plus grande que SlaveLaenge, alors il s'agit d'un emplacement de type Master-Slave couplés.
 - ii. Sinon il s'agit d'un emplacement de type Master-Slave non couplés.
- On cherche le box associé à l'emplacement.
- On « active » la variable Pflicht_BoxErreichbar si l'emplacement est accessible par voie de transport, c'est-à-dire que le préhenseur est en statut « actif (12) » ou « automatique prêt à travailler (13) ».
- On « active » la variable Pflicht_PlatzIstLagerPlatz si l'emplacement est bien une place de stockage (StandardPlatz).
- On « active » la variable Pflicht_EingangNichtGesperrt si l'entrée vers l'emplacement n'est pas verrouillée.
- On vérifie si le trieur possède plus de 25 emplacements vides. Dans ce cas, on « active » la variable WUNSCH_LeeresFach si l'emplacement considéré fait partie des places vides du trieur, afin de le privilégier.
- On fait appel à la fonction IsZielPlatzGeeignet pour vérifier si l'emplacement considéré est une cible appropriée, c'est-à-dire s'il convient à la dimension du composant (voir à partir de la page 16).
- Si l'emplacement cible considéré est approprié selon la fonction IsZielPlatzGeeignet :
 - (a) On détermine le nombre de places normalement utilisées. Les pièces très volumineuses ont des emplacements de destination différents, toujours disponibles (dans la mesure du possible). Cela permet d'activer, ou non, le critère WUNSCH_PlatzNormaVerwenden.
 - (b) On active le critère Pflicht_ZielplatzHatAusreichendPlatz (suffisamment de place dans l'emplacement).
 - (c) Si l'emplacement cible n'est pas vide et que la position POX_Y calculée est égale à 1, on active le critère WUNSCH_LeeresFach pour le privilégier, car la place restante est satisfaisante.
 - (d) On souhaite ne pas attendre au râteau, donc on privilégie l'emplacement cible (avec le critère WUNSCH_RechenNoWait) si aucun composant n'est en déplacement pour ce box, au niveau du râteau.
 - (e) On privilégie la répartition équilibrée de la liste numérique entre les différents box du trieur, donc on active le critère WUNSCH_AusgleichNUM_LIST si le box stocke moins de 5 composants d'une même liste ou qu'il en stocke moins que les quatre autres box.
- On vérifie que l'épaisseur du composant soit compatible avec la hauteur de l'emplacement cible en activant les critères Pflicht_Materialstaerke_Erlaubt ou WUNSCH_Materialstaerke :
 - (a) Les 4 premiers niveaux du box sont de hauteur 90 mm et 60 mm pour les autres niveaux.
 - (b) Dans le cas où le composant est d'épaisseur supérieure à 26 mm, l'emplacement cible doit être de hauteur supérieure ou égale 90 mm pour que le stockage soit autorisé. Dans le cas où le composant est d'épaisseur inférieure ou égale à 26 mm, le stockage est autorisé (Pflicht_Materialstaerke_Erlaubt).

- (c) De manière générale, lorsque le composant est d'épaisseur inférieure à 26 mm, on favorisera l'emplacement cible de hauteur inférieure ou égale à 60 mm, et lorsque le composant est d'épaisseur supérieure à 26 mm, on favorisera l'emplacement cible si sa hauteur est supérieure à 60 mm (WUNSCH_Materialstaerke).
 - (d) On fixe la longueur minimale pour les grands composants à $Langteil_MinLaenge = 2\,375$ mm.
Si la longueur du composant à stocker est supérieure à $Langteil_MinLaenge$, alors on privilégie l'emplacement cible s'il est du côté 1 avec le critère WUNSCH_Seite. De même, si la longueur du composant à stocker est inférieure ou égale à $Langteil_MinLaenge$, alors l'emplacement cible est privilégié s'il est du côté 2.
5. On parcourt tous les emplacements du trieur, et pour chacun d'entre eux :
 - (a) On effectue une comparaison bit à bit du score obligatoire avec la variable Notwendig. Notwendig correspond au score obtenu dans le cas où tous les critères nécessaires au stockage sont vérifiés.
 - (b) Si les conditions obligatoires sont respectées, l'emplacement cible aura donc le statut « adapté » (Geeignet en allemand), sinon il sera « inadapté ». Le statut est accessible dans l'attribut result de l'emplacement considéré.
 6. Après avoir assigné le bon statut, selon les critères obligatoires, à chaque emplacement, on trie l'ensemble des emplacements selon leur score total, c'est-à-dire les conditions obligatoires et les critères souhaités :
 - (a) L'emplacement dont le score est le plus élevé est stocké en première position du tableau m_tres (tableau contenant l'ensemble des emplacements cibles possibles).
 - (b) Dans le cas où deux emplacements ont un score égal, on compare leur étage dans le box : l'emplacement situé à l'étage le plus bas sera privilégié.
 7. Finalement, on extrait du tableau m_tres l'emplacement situé en première position, c'est-à-dire ayant le plus grand score total.
 - (a) Si son statut est bien « adapté », on modifie un certain nombre d'attributs du composant à stocker :
 - i. On lui assigne le numéro de l'emplacement cible dans l'attribut TARGET_PLACE.
 - ii. On actualise son état de changement à la date et l'heure de l'instant t (CHANGE_STATE_TS).
 - iii. On fixe son état STATE avec la variable « aNewLagenStatus_EinlagernOK » pour préciser que le lieu de stockage a été trouvé.
 - iv. On modifie les positions POS_X_TMP et POS_Y_TMP du composant dans l'emplacement final, à partir des positions trouvées par la fonction IsZielPlatzGeeignet (POS_X et POS_Y).
 - v. Dans le fichier de suivi/exploitation, on écrit les informations « ERGEBNISS [OK ...] für » suivi des données associées au composant :
 - A. BARCODE (code barre)
 - B. TARGET_PLACE (numéro d'emplacement de destination)
 - C. POS_X_TMP (compteur de position, dans la longueur de l'emplacement → 1 ou 2)
 - D. POS_Y_TMP (compteur de position, dans la largeur de l'emplacement → 1, 2, 3 ou 4)
 - E. COORD_Y_TMP (coordonnées exactes de l'unité de commande, en mm. Ce n'est pas la coordonnée de comptage Y mais la coordonnée de position)
 - vi. On stocke informatiquement le composant et les données qui lui sont associées dans une base de données.
 - (b) Si son statut est « inadapté » :
 - i. On fixe son état STATE avec la variable « aNewLagenStatus_EinlagernNichtOK » pour préciser que le lieu de stockage n'a pas été trouvé.
 - ii. On modifie à 0 les positions POS_X_TMP et POS_Y_TMP du composant dans l'emplacement final.
 - iii. Dans le fichier de suivi/exploitation, on écrit qu'aucune place n'a été trouvée « ERGEBNISS [KEIN PLATZ] für », suivi du code barre du composant.

3.3.2 Description de la fonction IsZielPlatzGeeignet (emplacement cible est-il approprié)

Cette fonction prend en paramètres un numéro de box, le composant à entrer dans le stock, un emplacement cible (celui considéré dans la boucle 4) de la fonction ZielPlatzErmitteln), une position pré-requise aXPosVorgabe (négative si on ne veut pas la fixer, 1 ou 2 sinon) et une largeur restante pour l'avant-dernière partie fOptimale-ResteBreiteAufPlatz. Ensuite, 5 variables sont modifiées lors de l'appel à cette fonction :

- POS_X (compteur de position, dans la longueur de l'emplacement → 1 ou 2)
- POS_Y (compteur de position, dans la largeur de l'emplacement → 1, 2, 3 ou 4)
- SektionsBelegungOptimal (Affectation de section optimale)
- PlatzAusfuellungFachOptimal (Remplissage d'emplacement optimal)
- PlatzWirdVoll (Emplacement devient plein)

Les trois dernières permettent d'« activer » respectivement les critères WUNSCH_SektionsBelegungFachOptimal, WUNSCH_PlatzAusfuellungFachOptimal et WUNSCH_SektionsBelegungFachWirdVoll. Elles auront donc une influence sur l'ordre de préférence entre les emplacements cibles.

1. Pour toutes les pièces dans tous les emplacements des différents boxs (+ les préhenseurs), on vérifie que leur position est différente de la position cible proposée.
2. On teste si l'emplacement cible est composé uniquement d'une section Master ou Slave, mais ici ce n'est jamais le cas.
3. Si le paramètre aXPosVorgabe a été précisé, c'est-à-dire qu'on souhaite fixer la position POS_X de la pièce dans l'emplacement :
 - (a) Si XPosVorgabe est égal à 1,
 - i. Si la longueur du composant est inférieure à MasterLaenge
 - A. Si le type de la place cible est non décidé ou qu'il s'agit d'un type Master-Slave non couplés, alors on cherche une position POS_Y associée à POS_X = 1 pour le composant.
 - Si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à la POS_X = 1, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activées » pour privilégier cet emplacement.
 - Si aucune valeur de POS_Y n'est possible, cela signifie que la largeur utilisée dans l'emplacement additionnée à la largeur de la pièce dépasse la profondeur de l'emplacement. On fixe alors POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - B. Sinon on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.
 - ii. Sinon :

Si le type de la place cible est non décidé ou qu'il s'agit d'un type Master-Slave couplés, alors on cherche une position POS_Y associée à POS_X = 1 pour le composant.

 - A. Si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à la POS_X = 1, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activées » pour privilégier cet emplacement.
 - B. Si aucune valeur de POS_Y n'est possible, cela signifie que la largeur utilisée dans l'emplacement additionnée à la largeur de la pièce dépasse la profondeur de l'emplacement. On fixe alors POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - (b) Si XPosVorgabe est égal à 2 :
 - i. Si le type de la place cible est non décidé ou qu'il s'agit d'un type Master-Slave non couplés, alors on cherche une position POS_Y associée à POS_X = 2 pour le composant.
 - Si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à la POS_X = 2, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activées » pour privilégier cet emplacement.
 - Si aucune valeur de POS_Y n'est possible, cela signifie que la largeur utilisée dans l'emplacement additionnée à la largeur de la pièce dépasse la profondeur de l'emplacement. On fixe alors POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - ii. Sinon on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.
 - (c) Sinon XPosVorgabe est différent de 1 ou 2, on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.

4. Si l'emplacement cible est composé d'une section Master et d'une section Slave (cas le plus utilisé actuellement) :
 - (a) Si la place cible est de type Master-Slave non couplés et que la longueur du composant est inférieure à SlaveLaenge
 - i. Si la longueur du composant est supérieure à MasterLaenge et inférieure ou égale à SlaveLaenge, alors on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 2.
 - ii. Sinon :
 - i. Si la longueur du composant est supérieure à MasterLaenge et que MAXPOS_X de la cible est égal à 2, alors on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 0.
 - ii. Sinon on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 1.
 - iii. Ensuite si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à POS_X = aZielXPosVorgabe, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activés » pour privilégier cet emplacement.
Si aucune valeur de POS_Y n'est possible (cas i. au-dessus) :
 - A. Si la longueur du composant est inférieure ou égale à SlaveLaenge, alors on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 2. Puis, si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à POS_X = aZielXPosVorgabe, alors les critères WUNSCH_SektionsBelegungFachWirdVoll et WUNSCH_PlatzAusfuellungFachOptimal sont activés pour privilégier cet emplacement. Le critère WUNSCH_SektionsBelegungFachOptimal est vérifié uniquement si l'étage de l'emplacement cible est supérieur à 20. Si aucune valeur de POS_Y n'est possible alors on fixe POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - B. Sinon on fixe POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - (b) Si la place cible est de type Master-Slave couplés (uniquement pour les gros panneaux) :
 - a. Si la longueur du composant est supérieure à SlaveLaenge :
 - i. Si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à POS_X = 1, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activés » pour privilégier cet emplacement.
 - ii. Si aucune valeur de POS_Y n'est possible alors on fixe POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - b. Sinon on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.
 - (c) Si le type de la place cible est non décidé :
 - i. Si la longueur du composant est supérieure à MasterLaenge et inférieure ou égale à SlaveLaenge, alors on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 2.
 - ii. Sinon on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 1.
 - iii. Ensuite si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à la POS_X = aZielXPosVorgabe, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activés » pour privilégier cet emplacement.
Si aucune valeur de POS_Y n'est possible :
 - i. Si la longueur du composant est supérieure à MasterLaenge et inférieure ou égale à SlaveLaenge, alors on fixe la position POS_X de l'emplacement cible en mettant aZielXPosVorgabe = 1. Puis, si on arrive à obtenir une valeur de POS_Y associée à POS_X = aZielXPosVorgabe, alors les trois critères décrits au-dessus sont « activés » pour privilégier cet emplacement. Si aucune valeur de POS_Y n'est possible alors on fixe POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - ii. Sinon on fixe POS_X = 0 et POS_Y = 0.
 - (d) Sinon on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.
5. Finalement, on regarde la valeur de POS_X de l'emplacement cible : si POS_X est inférieure ou égale à 0 ou supérieure à 2, alors on dit que l'emplacement cible n'est pas approprié.
6. Pour tous les composants dans l'emplacement cible, si l'un d'entre eux n'a pas sa position POS_X définie (inférieure ou égale à 0), alors l'emplacement est considéré comme non libéré et donc non approprié.

3.3.3 Fonctions secondaires utilisées dans la détermination de l'emplacement cible

- *ErmittleOptimaleRestBreite()* : permet de déterminer la largeur restante optimale pour l'avant-dernière partie
- *AnzahlTeileUnterwegsFuerDieseBoxUndHubrechen* : détermine le nombre de pièces en route pour un box et un "hubrechen" (râteau de levage) précis
- *DieseBoxBeiNumListAusgleichBevorzugen* : permet de tester si un box peut être préféré à un autre, afin d'équilibrer au mieux le nombre de pièces de chaque liste entre les box
- *CalcYPos* : calcule la position, dans la profondeur, d'une pièce dans un potentiel emplacement cible
- *GetAnzFreiPlaetzeImLager()* : compte le nombre de places libres et disponibles dans le trieur
- *GetPlaceTypeSorter* : permet de connaître comment est actuellement utilisé un emplacement → grandes pièces et petites pièces, juste grandes pièces, juste petites pièces, si vide aucune utilisation spécifique
- *SatistikFuerNumListAufbauen* : construit les statistiques pour la méthode *DieseBoxBeiNumListAusgleichBevorzugen* → compte le nombre de pièces qui ont la même liste que celle concernée, dans chaque box

4 Simulation virtuelle des trieurs à partir du code source

Détaillons la partie pratique du projet : la simulation des entrées et mouvements des pièces dans les trieurs 25 et 26.

4.1 Implémentation de la structure physique des trieurs

Le code source des trieurs a été développé en C# et mon choix de langage pour la simulation s'est porté sur C++. Le code développé et les exemples sont accessibles dans le dossier *Code*.

Décrivons les attributs des quatre classes que j'ai utilisées pour représenter la structure physique des trieurs 25 et 26. Pour chacun des attributs, on le décrit puis on définit le type et le format à respecter (s'il y en a un).

- La classe **piece** contient toutes les informations spécifiques à une pièce qui sera produite à l'usine :

nom d'attribut	description
codebarre	code-barre de la pièce
fab	date d'expédition de la pièce dans les camions
pos_X	position de la pièce dans la longueur de l'emplacement
pos_Y	position de la pièce dans la profondeur de l'emplacement
YPositionCalc	distance, en mm, entre l'entrée de l'emplacement et le début de la pièce
before_akt_place	l'emplacement précédent de la pièce par rapport à l'emplacement actuel
akt_place	l'emplacement actuel de la pièce
target_place	l'emplacement de stockage cible de la pièce
liste	numéro de liste à laquelle appartient la pièce (1 liste = 1 camion, plusieurs commandes par liste)
dim	respectivement la longueur, la largeur et l'épaisseur de la pièce
num_groupe_theo	des pièces ont le même numéro de groupe théorique lorsqu'elles peuvent être emballées dans le même camion
liberation	position de la pièce dans l'ordre de libération des trieurs parmi l'ensemble des pièces concernées

nom d'attribut	type	format
codebarre	long (flottant long)	xxxxxxxxxx
fab	string (chaîne de caractères)	jj/mm/aaaa
pos_X	int (entier)	1 si X1 ou 2 si X2
pos_Y	int	1 si Y1, 2 si Y2, 3 si Y3 ou 4 si Y4
YPositionCalc	double (flottant)	/
before_akt_place	int	/
akt_place	int	/
target_place	int	/
liste	int	/
dim	double[3] (tableau)	en mm
num_groupe_theo	int	/
liberation	int	/

- La classe **place** permet d'avoir accès à toutes les informations d'un emplacement pour un instant t :

nom d'attribut	description
num	numéro associé à l'emplacement
nb_pieces	nombre de pièces actuellement stockées dans l'emplacement
pos_XY	test pour savoir si une position dans la place est déjà prise
hauteur	hauteur de l'emplacement
type_place	utilisation de l'emplacement selon les dimensions des pièces
verrouille	statut de verrouillage associé à l'emplacement
standard	fonction de l'emplacement dans le flux
score	score reflétant les critères vérifiés par l'emplacement
temp_pos_x	position de la dernière pièce entrée en stock, dans la longueur de l'emplacement
temp_pos_y	position de la dernière pièce entrée en stock, dans la profondeur de l'emplacement
YPositionCalc	pour la dernière pièce entrée en stock, distance entre l'entrée de l'emplacement et le début de la pièce
tab_num_piece	code-barre des pièces actuellement stockées dans l'emplacement

nom d'attribut	type	format
num	int	/
nb_pieces	int	/
pos_XY	tableau 2x4 multi bool (booléen)	1 si position prise, 0 sinon
hauteur	double	en mm
type_place	int	0 non décidé, 1 master-slave couplés, 2 master-slave non couplés
verrouille	int	0 non verrouillé, 1 verrouillé, 2 Input
standard	int	0 non standard, 1 standard, 2 Vorkommissplatz
score	long	entre 0 et 260047
temp_pos_x	int	1 pour X1 ou 2 pour X2
temp_pos_y	int	1 pour Y1, 2 pour Y2, 3 pour Y3 ou 4 pour Y4
YPositionCalc	double	en mm
tab_num_piece	vector<long>	/

Un emplacement est de type "non décidé" si aucune pièce n'y est encore stockée → cela signifie que l'on autorise des pièces de toutes dimensions, pas de restriction.

Un emplacement est de type "master-slave couplés" si au moins une pièce stockée a une longueur supérieure à 2375 mm → la pièce est sur la position X1 (master) et X2 (slave) pour Y_i fixé.

Un emplacement est de type "master-slave non couplés" si aucune pièce stockée ne se trouve simultanément sur la position X1 et X2 pour Y_i fixé.

Un emplacement est "standard" lorsqu'il joue son rôle de place de stockage, c'est-à-dire que l'on peut y stocker des pièces.

Un emplacement est une "Vorkommissplatz" lorsqu'il s'agit d'un emplacement tampon, c'est-à-dire lors d'une libération en attendant que les convoyeurs soient libres, ou lors de mouvements des pièces en attendant d'être replacées dans l'emplacement de stockage initial.

Un emplacement est "non standard" lorsqu'il n'est ni le premier cas, ni le deuxième cas. Cela peut englober différentes situations mais il n'est pas intéressant de le préciser ici.

- La classe **box** contient toutes les informations nécessaires pour connaître la situation et le contenu du box à un instant t :

nom d'attribut	description
status	statut de disponibilité/accessibilité du box
num_box	numéro associé au box, le premier étant le plus proche des convoyeurs d'entrée/sortie du trieur
nb_place	nombre d'emplacements de stockage contenus dans le box
list_place	numéros des emplacements de stockage contenus dans le box
nb_pre	nombre d'emplacements de convoyage (RGB, convoyeurs, râtaux) dans le box
list_pre	numéros des emplacements de convoyage dans le box

nom d'attribut	type	format
status	int	12 prêt, 13 actif, 9 pas bon
num_box	int	1, 2, 3, 4 ou 5
nb_place	int	/
list_place	int * (tableau d'entiers)	/
nb_pre	int	/
list_pre	int * (tableau d'entiers)	/

Un box peut être indisponible/inaccessible pour différentes raisons : blocage manuel, panne de machines, pièces de travers...

- La classe **trieur** donne accès aux emplacements et aux box du trieur à un instant t :

nom d'attribut	description
num_tri	numéro associé au trieur
nb_places	nombre d'emplacements de stockage contenus dans le trieur
list_places	numéros des emplacements de stockage contenus dans le trieur
nb_conv	nombre d'emplacements de convoyage (RGB, convoyeurs, râtaux) dans le trieur
list_conv	numéros des emplacements de convoyage dans le trieur
box1	premier box du trieur ainsi que toutes les informations qui lui sont associées
box2	deuxième box du trieur ainsi que toutes les informations qui lui sont associées
box3	troisième box du trieur ainsi que toutes les informations qui lui sont associées
box4	quatrième box du trieur ainsi que toutes les informations qui lui sont associées
box5	cinquième box du trieur ainsi que toutes les informations qui lui sont associées

nom d'attribut	type	format
num_tri	int	25 ou 26
nb_places	int	/
list_places	int *	/
nb_conv	int	/
list_conv	int *	/
box1	box * (pointeur vers box)	/
box2	box *	/
box3	box *	/
box4	box *	/
box5	box *	/

4.2 Sélection des fichiers de données réelles

Afin d'exploiter les fichiers qui m'ont été fournies par le logiciel de la société allemande, j'ai implémenté différents parsers, généralement définis par des classes.

L'objectif était, dans un premier temps, de stocker dans des fichiers CSV uniquement les données numériques utiles à la simulation. Ensuite, ces fichiers CSV pouvaient être immédiatement intégrés dans la simulation, ou exploitées dans des tableaux excel en cas de modifications nécessaires.

Certaines données demandées étant stockées dans des fichiers différents, il s'agissait de croiser les tableaux à ma disposition à l'aide des outils Excel. Les données incomplètes pouvaient généralement être retrouvées dans les historiques des pièces produites dans l'usine, avec le logiciel SUMA. Il permet de consulter toutes les pièces produites dans l'usine, ainsi que toutes les informations qui leur sont associées.

Finalement, les informations recueillies me permettaient d'initialiser et lancer ma simulation.

Présentons le contenu et le format des fichiers utilisés durant la simulation.

4.2.1 Stock de référence (à un instant t)

Les figures 16 et 17 sont la représentation du stock du trieur 26 en temps réel. Ce tableau est créé à partir d'une requête SQL. Il donne de nombreuses informations sur les pièces stockées ainsi que sur leur emplacement précis dans le trieur.

Ces données sont les fondations de la simulation, c'est à partir d'un état de stock à un instant t que l'on va simuler les entrées des pièces dans le trieur.

PAM I

3TEC

Données de production Données de base Perceuse Evaluations Outils Service Langues Info Connexion

\\Vs1-pro-pam-app\SQLscripts

Evaluation SQL

Pièce en stock

BARCODE	DateDecoupe	DateFab	Partie	Partieorigine	IS_TEIL_Schnellsc	liste	lgneCM	Contremarque	Contenant	PMTRI	PMEMB	PMSTR	OptiStock	DesignationPF
1056181514	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	EXPO		1	0	0	0	IP01S 7 V V ... V
1056181552	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	EXPO		1	0	0	0	IP01S 7 V V ... V
1056181613	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	EXPO		1	0	0	0	IP01S 7 V V ... V
1056181651	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	EXPO		1	0	0	0	IP01S 7 V V ... V
1056196365	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	CAUSSE LAURE...		1	0	0	O_2204210003	ICTIE V 51 ... L
1056196426	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	CAUSSE LAURE...		1	0	0	O_2204210003	ICBTINE V 26 51 ... L
1056196440	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	CAUSSE LAURE...		1	0	0	O_2204210003	ICBTINE V 26 51 ... L
1056222989	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	BLESZ NADINE	P7	1	0	0	O_2204210003	U19 V V ... C L
1056222996	2022-04-21	2022-05-05	A	A	0	40914	0	BLESZ NADINE	P7	1	0	0	O_2204210003	U19 V V ... C L
1056138600	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	40916	0	COCHE PIERRE ...		1	0	0	O_2204210003	J2F 19 V ... L
1056207306	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	40916	0	LEPLAT CAMILLE		1	0	0	O_2204210003	ICBTCHA V 39 49 ... L
1056207351	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	40916	0	LEPLAT CAMILLE		1	0	0	O_2204210003	ICBTCHA V 39 49 ... L
1056210313	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	3820	0	RASINES BEAT...	P1	1	0	0	O_2204210003	J1F 19 V ... L
1056238157	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	40916	0	LELONG THIER...	P7	1	0	0	O_2204210003	U19 V V ... G L
1056238201	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	40916	0	LELONG THIER...	P7	1	0	0	O_2204210003	IP0 17 V V ... G L
1056254867	2022-04-21	2022-05-05	B	B	0	3818	0	COTTON		1	0	0	0	J2F 19 V ... L

FIGURE 16 – Première partie de la vue sur le stock du trieur 26, pour le 02/05/2022 à 08h22 (Source : 3TEC)

PAM I

3TEC Données de production Données de base Perceuse **Evaluations** Outils Service Langues Info Connexion

\\Vst1-pro-pam-app\SQLscripts

Evaluation SQL

Pièce en stock

OptiStock	DesignationPF	ColExt	Collnt	DimXfini_mm	DimYfini_mm	DimZfini_mm	PLACE_NO	POs_X	POs_Y	POs_Z	Box	Coté	Etage	DateEntree
O_2204280014	IDOSS V V	MUR	MUR	1408	908	8	265220	2	1	1	5	2	20	28/04/2022 19:46
O_2204280015	IPO 17 V V	G	NBK	596	1036	19	264205	1	3	1	4	2	05	29/04/2022 17:30
O_2204280005	IDOSS V V	MUR	MUR	1790	570	8	263123	2	1	1	3	1	23	29/04/2022 11:46
O_2204280015	IPO L V V	L	NBK	596	256	19	261222	1	2	1	1	2	22	29/04/2022 17:33
O_2204280015	ICTIPH V 49	NBK	NBK	596	126	19	265209	2	3	1	5	2	09	29/04/2022 18:31
O_2204280005	IDOSS V V	MUR	MUR	1790	570	8	261235	2	1	1	1	2	35	29/04/2022 11:46
O_2204280005	ZPHEDBR188	POS	POS	700	150	10	263210	2	1	1	3	2	10	29/04/2022 07:07
O_2204280015	JZF 19 V	NBK	NBK	596	438	19	262213	1	2	1	2	2	13	29/04/2022 16:49
O_2204280015	JZF 19 V	NBK	NBK	934	120	19	264239	2	1	1	4	2	39	29/04/2022 17:19
O_2204280015	PA8	MUR	MUR	2136	750	8	262118	2	2	1	2	1	18	29/04/2022 19:43
O_2204280015	NRW	BKR		300	3040	10	261140	1	1	1	1	1	40	29/04/2022 19:19
O_2204260009	KEMI1 TRAV	POK	POK	1450	300	25	262214	2	3	1	2	2	14	02/05/2022 05:32
O_2204260009	KEMI1 TRAV	POK	POK	1200	300	25	262221	1	3	1	2	2	21	02/05/2022 05:33
O_2204270008	ETAS2F 25 V 20	MVL	MVL	500	200	25	265220	1	2	1	5	2	20	29/04/2022 13:59
0	IPO15 7 V V	...	VAO	400	790	19	261239	1	3	1	1	2	39	02/05/2022 05:32
O_2204270009	IDOSS V V	LVT	LVT	833	455	8	261218	1	1	1	1	2	18	29/04/2022 15:09
0	IPO15 7 V V	...	VAO	472	790	19	262226	2	1	1	2	2	26	28/04/2022 05:26

FIGURE 17 – Seconde partie de la vue sur le stock du trieur 26, pour le 02/05/2022 à 08h22 (Source : 3TEC)

Expliquons à quoi correspond chaque colonne du tableau :

- **BARCODE** : code-barre de la pièce
- **DateDecoupe** : date à laquelle la pièce a été découpée par les scies
- **DateFab** : date à laquelle la commande qui contient cette pièce sera expédiée dans les camions
- **Partie** : partie de journée à laquelle doit être expédiée la commande qui contient cette pièce
- **PartieOrigine** : partie de journée à laquelle doit être expédiée la commande qui contient cette pièce
- **IS_TEIL_Schnellschuss** : statut d'urgence pour la production de la pièce
- **liste** : numéro de la liste (camion) associée à la commande qui contient la pièce
- **ligneCM** : ligne associée à cette pièce dans la commande
- **Contremarque** : client
- **Contenant** : type de contenant
- **PMTRI** : statut permettant de savoir si la pièce est passée dans le trieur ou non
- **PMEMB** : statut permettant de savoir si la pièce est passée au poste emballage
- **PMSTR** : statut permettant de savoir si la pièce est sortie des trieurs sans passer par l'emballage
- **OptiStock** : optimisation à laquelle était affiliée la découpe de la pièce (poste débit)
- **DesignationPF** : désignation Schmidt du produit fini
- **ColExt** : coloris intérieur
- **Collnt** : coloris extérieur
- **DimXfini_mm** : longueur de la pièce finie (en mm)
- **DimYfini_mm** : largeur de la pièce finie (en mm)
- **DimZfini_mm** : épaisseur de la pièce finie (en mm)
- **PLACE_NO** : numéro de l'emplacement de stockage
- **POs_X** : position de la pièce dans l'emplacement selon l'axe X (longueur)
- **POs_Y** : position de la pièce dans l'emplacement selon l'axe Y (profondeur)
- **POs_Z** : position de la pièce dans l'emplacement selon l'axe Z (hauteur)
- **Box** : numéro du box dans lequel est stockée la pièce
- **Coté** : côté du box dans lequel est stockée la pièce
- **Etage** : étage du box dans lequel est stockée la pièce
- **DateEntree** : date et heure d'entrée de la pièce dans le trieur

4.2.2 Flux d'entrée en stock et mouvements dans les trieurs

La figure 18 représente un fichier temporaire qui historise les demandes d'entrée en stock et de mouvements des pièces dans le trieur 26. On voit également les réponses aux demandes, c'est-à-dire si la demande a abouti, et si oui quel a été l'emplacement privilégié. Ce fichier, au format *.dat* ou *.bak*, est disponible sur l'ordinateur de production associé au trieur concerné (ici le 26).

Ces données sont utilisées pour simuler le flux entrant des pièces dans le trieur ainsi que les mouvements "intra-trieur".

 P_EinlagerPlatzErmittlung.bak - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
29.03.2022	15:13:44.752;	ANFRAGE->>	BC: 1013443884 L:3360 B:130 D:10 AktPlatz: 1265112 AktX: 1 AktY: 1 BOX: 5 X_VORGABE: 1	
29.03.2022	15:13:44.783;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1013443884 ZIELPLATZ: 265115 ZIEL_X: 1 ZIEL_Y: 1 Y_PLC: 1465	
29.03.2022	15:13:44.783;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:13:44.783;			
29.03.2022	15:13:48.987;	ANFRAGE->>	BC: 1055707968 L:537 B:310 D:19 AktPlatz: 1241000 AktX: 1 AktY: 1 BOX: -1 X_VORGABE: -1	
29.03.2022	15:13:49.018;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1055707968 ZIELPLATZ: 261227 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3394	
29.03.2022	15:13:49.018;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:13:49.018;			
29.03.2022	15:13:49.018;	ANFRAGE->>	BC: 1055707999 L:680 B:310 D:19 AktPlatz: 1241000 AktX: 2 AktY: 1 BOX: -1 X_VORGABE: -1	
29.03.2022	15:13:49.049;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1055707999 ZIELPLATZ: 261229 ZIEL_X: 1 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3420	
29.03.2022	15:13:49.049;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:13:49.049;			
29.03.2022	15:13:54.893;	ANFRAGE->>	BC: 1066155390 L:2470 B:1108 D:8 AktPlatz: 1263112 AktX: 1 AktY: 1 BOX: 3 X_VORGABE: 1	
29.03.2022	15:13:54.924;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1066155390 ZIELPLATZ: 263108 ZIEL_X: 1 ZIEL_Y: 2 Y_PLC: 1805	
29.03.2022	15:13:54.940;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:13:54.940;			
29.03.2022	15:14:02.518;	ANFRAGE->>	BC: 1323035434 L:2250 B:719 D:25 AktPlatz: 1241000 AktX: 1 AktY: 2 BOX: -1 X_VORGABE: -1	
29.03.2022	15:14:02.550;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1323035434 ZIELPLATZ: 265211 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 2 Y_PLC: 3831	
29.03.2022	15:14:02.550;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:02.550;			
29.03.2022	15:14:03.878;	ANFRAGE->>	BC: 1013473843 L:1442 B:381 D:19 AktPlatz: 1265111 AktX: 2 AktY: 1 BOX: 5 X_VORGABE: 2	
29.03.2022	15:14:03.909;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1013473843 ZIELPLATZ: 265112 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 2 Y_PLC: 2485	
29.03.2022	15:14:03.909;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:03.909;			
29.03.2022	15:14:05.394;	ANFRAGE->>	BC: 1055707999 L:680 B:310 D:19 AktPlatz: 1261112 AktX: 1 AktY: 1 BOX: 1 X_VORGABE: 1	
29.03.2022	15:14:05.425;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1055707999 ZIELPLATZ: 261229 ZIEL_X: 1 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3420	
29.03.2022	15:14:05.425;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:05.425;			
29.03.2022	15:14:05.612;	ANFRAGE->>	BC: 1055707968 L:537 B:310 D:19 AktPlatz: 1261111 AktX: 2 AktY: 1 BOX: 1 X_VORGABE: 2	
29.03.2022	15:14:05.659;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1055707968 ZIELPLATZ: 261227 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3394	
29.03.2022	15:14:05.659;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:05.659;			
29.03.2022	15:14:06.487;	ANFRAGE->>	BC: 1013473843 L:1442 B:381 D:19 AktPlatz: 1265111 AktX: 2 AktY: 1 BOX: 5 X_VORGABE: 2	
29.03.2022	15:14:06.519;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1013473843 ZIELPLATZ: 265112 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 2 Y_PLC: 2485	
29.03.2022	15:14:06.519;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:06.519;			
29.03.2022	15:14:12.816;	ANFRAGE->>	BC: 1013348516 L:1000 B:600 D:25 AktPlatz: 1241000 AktX: 2 AktY: 1 BOX: -1 X_VORGABE: -1	
29.03.2022	15:14:12.848;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1013348516 ZIELPLATZ: 264220 ZIEL_X: 1 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3670	
29.03.2022	15:14:12.848;	Save 2 DB		
29.03.2022	15:14:12.848;			
29.03.2022	15:14:15.801;	ANFRAGE->>	BC: 1013451711 L:2050 B:598 D:25 AktPlatz: 1263111 AktX: 2 AktY: 1 BOX: 3 X_VORGABE: 2	
29.03.2022	15:14:15.832;	ERGEBNISS [OK ...]	für BC 1013451711 ZIELPLATZ: 263237 ZIEL_X: 2 ZIEL_Y: 3 Y_PLC: 3671	

FIGURE 18 – Fichier temporaire *P_EinlagerPlatzErmittlung.bak* extrait du dossier *3TEC/Proto* de l'ordinateur du trieur 26 (Source : 3TEC)

Décrivons les mot-clés qui apparaissent dans ce fichier, afin d'interpréter les données numériques présentes :

- ANFRAGE : demande de mouvement dans le trieur
- BC : code-barre associé à la pièce
- L : longueur de la pièce
- B : largeur de la pièce
- D : épaisseur de la pièce
- AktPlatz : emplacement de la pièce au moment de la demande
- AktX : position de la pièce sur la place actuelle, dans la longueur de l'emplacement
- AktY : position de la pièce sur la place actuelle, dans la profondeur de l'emplacement

- BOX : box dans lequel se trouve la pièce actuellement
- X_VORGABE : position dans la longueur à respecter lors de la recherche d'emplacement
- ERGEBNISS : réponse à la demande de mouvement (aboutie ou non)
- ZIELPLATZ : emplacement cible retenu pour le mouvement
- ZIEL_X : position de la pièce dans la longueur du nouvel emplacement
- ZIEL_Y : position de la pièce dans la profondeur du nouvel emplacement
- Y_PLC : distance, en mm, entre l'entrée de l'emplacement et le début de la pièce

4.2.3 Flux de sortie initial des trieurs

La figure 19 représente l'ordre de sortie actuel des pièces du trieur 26. Ce tableau est créé à partir d'une requête SQL.

Ces données sont utilisées pour effectuer le flux sortant des pièces, lorsque l'on souhaite simuler le fonctionnement actuel des trieurs. Cependant, elles ne serviront pas lorsque l'on modifiera l'ordre de libération pour les multi-colis.

 **3Ttec** Données de production Données de base Perceuse Evaluations Outils Service Langues Info Connexion

\\Vs1-pro-pam-app\SQLscripts **Evaluation SQL**

Ordre de sortie obtenu trieur par jour

PART_BARCODE	Heure	DEPART	PARTIE	LISTE	Ligne_CM	NumCMD	Consommateur	Contenant	PDC_FINISHED_D	PDC_FINISHED_D	PDC_FINISHED_D
1045238243	02/05/2022 04:54	2022-05-04	B	3789	240	209411800	DOISNEAU CAT		5950	8700	190
1045205399	02/05/2022 04:54	2022-05-04	T	17774	360	208765500	COLLIN ESTELLE	P1	6000	15000	100
1045373173	02/05/2022 04:54	2022-05-04	A	3786	60	211074900	YVRAUT MICHE...	P1	9000	3900	80
1045205436	02/05/2022 04:54	2022-05-04	T	17774	360	208765500	COLLIN ESTELLE	P1	5370	27000	100
1045415224	02/05/2022 04:55	2022-05-04	S	3788	40	249357000	GAUTIER NICOL...	P1	10460	2910	190
1045301077	02/05/2022 04:55	2022-05-04	C	40911	20	210125100	DOMINIAK CYRIL	P7	7480	4591	190
1045382595	02/05/2022 04:55	2022-05-04	C	3804	290	211357700	BOUSQUET CE...	P1	8000	2000	250
1045390941	02/05/2022 04:55	2022-05-04	T	17773	80	211682900	COUNE SEBAST...	P1	20040	7940	80
1045415200	02/05/2022 04:55	2022-05-04	S	3788	40	249356800	GAUTIER NICOL...		3700	10130	80
1045425513	02/05/2022 04:55	2022-05-04	Z	17772	441	250041900	LE PIANE SABRI...		6470	11000	80
1045390965	02/05/2022 04:56	2022-05-04	T	17773	80	211682900	COUNE SEBAST...	P1	25000	2500	80
1045397858	02/05/2022 04:56	2022-05-04	T	17773	10	212191200	JACQUET DARE...		7000	1500	100
1045205535	02/05/2022 04:56	2022-05-04	C	3801	130	208776100	MAITRE ARTHUR		2350	8800	80
1045141215	02/05/2022 04:56	2022-05-04	T	17773	30	205350300	BOUXIN JEAN P...	P1	2000	22000	100
1045141253	02/05/2022 05:08	2022-05-04	T	17773	30	205350300	BOUXIN JEAN P...	P1	2000	22500	100
1045354004	02/05/2022 05:08	2022-05-04	C	3795	250	210749600	BLANC MARC J...	P1	1200	12600	100
1045390934	02/05/2022 05:08	2022-05-04	T	17773	80	211682900	COUNE SEBAST...	P1	25000	1820	80
1045391337	02/05/2022 05:10	2022-05-04	T	17773	230	211683000	COUNE SEBAST...	P1	25500	7000	190
1056072522	02/05/2022 05:11	2022-05-05	M	24763	90	209116100	EXPO 24 ARCO...		5950	2600	190
1045172486	02/05/2022 05:13	2022-05-04	C	3802	180	207497800	HACHET MARTI...	P1	6160	10000	190
1045318648	02/05/2022 05:13	2022-05-04	C	3800	80	210313800	MARTEAU MICH...	P1	4000	23330	100
1056187752	02/05/2022 05:13	2022-05-05	M	24763	220	210801900	EXPO 12 KEY 20...	P2	2000	30060	100
1045201056	02/05/2022 05:14	2022-05-04	C	3795	20	208627500	BEN AHMED CA...	P1	3000	14000	100

FIGURE 19 – Vue sur l'ordre de sortie des pièces du trieur 26, pour le 02/05/2022 (Source : 3TEC)

Expliquons brièvement à quoi correspond chaque colonne du tableau :

- PART_BARCODE : code-barre de la pièce
- Heure : date et heure au moment de la libération de la pièce du trieur
- DEPART : date d'expédition dans le camion de la commande contenant la pièce
- PARTIE : partie de journée durant laquelle la commande contenant la pièce doit être expédiée
- LISTE : liste (camion) à laquelle la commande contenant la pièce est associée

- Ligne_CM : ligne de la commande associée à la pièce
- NumCMD : commande à laquelle la pièce appartient
- Consommateur : client
- Contenant : type de contenant
- PDC_FINISHED_DimXCpsPDC : longueur de la pièce finie
- PDC_FINISHED_DimYCpsPDC : largeur de la pièce finie
- PDC_FINISHED_DimZCpsPDC : épaisseur de la pièce finie

4.2.4 Inclusion des pannes dans les boxes

La figure 20 représente un fichier temporaire qui sauvegarde tous les avertissements, pannes, erreurs qui surviennent dans le trieur 26. Ces données permettent de connaître à quel moment et pendant combien de temps certains boxes ne sont plus accessibles/disponibles durant la journée de production. En effet, lorsqu'un problème est détecté dans un box, tous les emplacements contenus dans celui-ci sont considérés comme verrouillés car inaccessibles via les convoyeurs ou le préhenseur. Ainsi, l'emplacement de stockage cible pour la pièce considérée à l'instant t peut être potentiellement différent de celui prévu s'il n'y avait pas eu d'erreur.

P_PLCMeldungen.dat - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

```

29.03.2022 15:00:23.742;AN 5029: Portail 5: position centrale existe, contrôle 'débord du panneau côté 2 déclenché!!! (sur main + acquit. erreur) = effacer
29.03.2022 15:00:23.742;AN 7925: !!! râteau de levage 51..., 52.. inactif, comme portail 5 pas automatique !!!
29.03.2022 15:02:14.975;AN 2509: Portail 2: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:02:16.069;AN 2509: Portail 2: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:03:56.912;AN 5520: Portail 5: fonction manuelle à ext. pupitre manuel actif !!!
29.03.2022 15:04:00.850;AN 8501: !!! Fonction manuelle active !!!
29.03.2022 15:04:01.397;AN 5549: Portail 5: automatique bloqué!!! - d'abord exécuter à main 'Reset chargeur + liste de jobs SPS'
29.03.2022 15:04:04.131;AN 5027: Portail 5: position centrale existe, contrôle 'tous les bras entrés côté 2' déclenché!!! (sur main + acquit. erreur) = effacer
29.03.2022 15:04:04.131;AN 5029: Portail 5: position centrale existe, contrôle 'débord du panneau côté 2 déclenché!!! (sur main + acquit. erreur) = effacer
29.03.2022 15:04:04.131;AN 5507: Portail 5: axe de levage réglé par codeur absolu
29.03.2022 15:04:04.131;AN 5549: Portail 5: automatique bloqué!!! - d'abord exécuter à main 'Reset chargeur + liste de jobs SPS'
29.03.2022 15:04:04.131;AN 8506: Manu : Reset déclenché
29.03.2022 15:04:04.678;AN 8506: Manu : Reset déclenché
29.03.2022 15:04:06.443;AN 5505: Palan 5 : Mise en référence
29.03.2022 15:04:06.443;AN 5520: Portail 5: fonction manuelle à ext. pupitre manuel actif !!!
29.03.2022 15:04:06.443;AN 8501: !!! Fonction manuelle active !!!
29.03.2022 15:05:04.193;AN 5505: Palan 5 : Mise en référence
29.03.2022 15:05:09.115;AN 7925: !!! râteau de levage 51..., 52.. inactif, comme portail 5 pas automatique !!!
29.03.2022 15:05:27.708;AN 5507: Portail 5: axe de levage réglé par codeur absolu
29.03.2022 15:08:54.754;AN 5509: Portail 5: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:08:55.848;AN 5509: Portail 5: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:52:15.541;AN 1509: Portail 1: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:52:16.088;AN 1509: Portail 1: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:54:54.681;AN 4509: Portail 4: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 15:54:55.774;AN 4509: Portail 4: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 16:18:21.359;AN 1509: Portail 1: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 16:18:21.906;AN 1509: Portail 1: Contrôle 'axe-Z sur position râteau de levage' n'est pas libre
29.03.2022 16:41:54.443;AN 4032: Portail 4: pièce dépasse du rayonnage coté 1.3 déclenchée - Z. (sur main + acquit. erreur)=effacer
29.03.2022 16:41:54.458;AN 7924: !!! râteau de levage 41..., 42.. inactif, comme portail 4 pas automatique !!!
29.03.2022 16:42:58.677;AN 7807: Convoyeur 26.41 : panneau pas en position de 'Section 2' (avant fin du convoyeur)!!!
29.03.2022 16:42:59.771;AN 7807: Convoyeur 26.41 : panneau pas en position de 'Section 2' (avant fin du convoyeur)!!!
29.03.2022 16:44:20.708;AN 8501: !!! Fonction manuelle active !!!
29.03.2022 16:44:21.255;AN 4549: Portail 4: automatique bloqué!!! - d'abord exécuter à main 'Reset chargeur + liste de jobs SPS'
29.03.2022 16:44:23.443;AN 4549: Portail 4: automatique bloqué!!! - d'abord exécuter à main 'Reset chargeur + liste de jobs SPS'
29.03.2022 16:44:26.302;AN 8501: !!! Fonction manuelle active !!!
29.03.2022 16:45:05.130;AN 9028: Interrupteur à clé transport buffer 4 mis en marche
29.03.2022 16:45:05.677;AN 4020: Portail 4: module-Z - position finale approchée
29.03.2022 16:45:05.677;AN 4022: Portail 4: axe-Z - position finale min. approchée (SERCOS)
29.03.2022 16:45:05.677;AN 4023: Portail 4: axe-Z - position finale max. approchée (SERCOS)
29.03.2022 16:45:06.224;AN 9270: Pince d'alimentation 26 - BKP42 (QS01): Aucune tension
29.03.2022 16:45:06.224;AN 9292: Pince d'alimentation 37 - BKS40 (QS01): Aucune tension
29.03.2022 16:45:06.224;AN 9316: Pince d'alimentation 49 - BKT41 (QS01): Aucune tension

```

FIGURE 20 – Extrait du fichier temporaire *P_PLCMeldungen.dat* extrait du dossier *3TEC/Proto* de l'ordinateur du trieur 26, pour le 29/03/2022 (Source : 3TEC)

- Code erreur compris entre 1000 et 1509 : panne dans le box 1
- Code erreur compris entre 2000 et 2509 : panne dans le box 2
- Code erreur compris entre 3000 et 3509 : panne dans le box 3
- Code erreur compris entre 4000 et 4509 : panne dans le box 4

- Code erreur compris entre 5000 et 5509 : panne dans le box 5
- AN pour décrire le moment où la panne a débuté
- AUS pour décrire le moment où la panne s'est terminée

4.3 Reproduction du fonctionnement des trieurs

4.3.1 Historisation des mouvements d'un trieur

Pour reproduire le fonctionnement du trieur 26, il s'agissait d'abord de fixer un instant t et d'initialiser le stock du trieur à cet instant.

Ensuite, on fait les demandes de mouvements/entrées dans le trieur dans l'ordre dans lequel elles apparaissent dans le fichier *P_EinlagerPlatzErmittlung.bak*. Il faut évidemment penser à intercaler, entre les demandes d'entrées/mouvements, les sorties des pièces du trieur. Ces données sont stockées dans un fichier CSV qu'on nommera *entree_sortie.csv*. Les horaires auxquels se font chaque action étant bien sauvegardées, il suffit de trier le fichier CSV selon l'heure, dans Excel.

Ensuite, on lance notre simulation en appelant la fonction *ZielPlatzErmitteln* pour les données et paramètres définis dans le fichier *entree_sortie.csv*.

La figure 21 représente un extrait du fichier CSV généré durant la simulation. On y voit, à gauche (onglet SIMULATION) les réponses obtenues par ma simulation à chaque demande, et à droite (onglet 3TEC) les données référentes de production.

Ce sont ces données qui sont comparées aux réponses obtenues dans la réalité, afin de connaître le pourcentage de réussite de la simulation.

	A	B	C	D	E	F	G
1	8	1013528956	0	0	0	0	0
2	8	1013522503	0	0	0	0	0
3	1	1013493193	1400	779	10	0	0
4	2	1013493193	0	0	0	0	0
5	1	1013493193	1400	779	10	0	0
6	2	1013493193	0	0	0	0	265237
7	1	1055957677	596	300	19	1265000	0
8	2	1055957677	0	0	0	0	265108
9	1	1013528970	1250	200	8	1241000	0
10	2	1013528970	0	0	0	0	261228
11	8	1013359680	0	0	0	0	0
12	1	1013528970	1250	200	8	1261112	0
13	2	1013528970	0	0	0	0	261228
14	8	1013288270	0	0	0	0	0
15	1	1013528970	1250	200	8	1261112	0
16	2	1013528970	0	0	0	0	261228
17	8						
18	1	CB	DIMENSIONS	PLACE			
19	2						
20	1	1323045983	2005	200	10	1241000	0
21	2	1323045983	0	0	0	0	261208
22	1	1013443891	2020	130	10	1263111	0
23	2	1013443891	0	0	0	0	265211
24	1	1310101159	1735	190	8	1241000	0
25	2	1310101159	0	0	0	0	262223
26	1	1323045983	2005	200	10	1261111	0
27	2	1323045983	0	0	0	0	261208
28	1	1013276437	2739	200	10	1241000	0
29	2	1013276437	0	0	0	0	264106

	B	C	D	E	F	G
1	1013493193	1400	779	10	1241000	0
2	1013493193	0	0	0	0	262112
1	1013493193	1400	779	10	1262112	0
2	1013493193	0	0	0	0	262112
1	1055957677	596	300	19	1265000	0
2	1055957677	0	0	0	0	265217
1	1013528970	1250	200	8	1241000	0
2	1013528970	0	0	0	0	261232
1	1013528970	1250	200	8	1261112	0
2	1013528970	0	0	0	0	261232
1	1013528970	1250	200	8	1261112	0

	CB	DIMENSIONS	PLACE
1	1323045983	2005	200
2	1323045983	0	0
1	1013443891	2020	130
2	1013443891	0	0
1	1310101159	1735	190
2	1310101159	0	0
1	1323045983	2005	200
2	1323045983	0	0
1	1013276437	2739	200
2	1013276437	0	0

	CB	DIMENSIONS	PLACE
1	1323045983	2005	200
2	1323045983	0	0
1	1013443891	2020	130
2	1013443891	0	0
1	1310101159	1735	190
2	1310101159	0	0
1	1323045983	2005	200
2	1323045983	0	0
1	1013276437	2739	200
2	1013276437	0	0

	B	C	D	E	F	G
1	1013276437	2739	200	10	1241000	0
2	1013276437	0	0	0	0	264112
1	1310101159	1735	190	8	0	0
2	1310101159	0	0	0	0	0
1	1013366640	2050	120	10	0	0
2	1013366640	0	0	0	0	0
1	1013276437	2739	200	10	1261112	0

FIGURE 21 – Visualisation de la simulation (à gauche la simulation, à droite les données de références)

Expliquons ce que signifie chaque colonne du fichier :

- Colonne A : type de demande/ réponse (valeurs décrites ci-dessous)
- Colonne B : Codebarre de la pièce concernée par la demande (identité unique)
- Colonne C : longueur de la pièce à déplacer
- Colonne D : largeur de la pièce à déplacer
- Colonne E : épaisseur de la pièce à déplacer
- Colonne F : emplacement de la pièce au moment de la demande
- Colonne G : emplacement cible calculé par l'algorithme

Donnons le sens des différentes valeurs de demandes possibles (colonne A) :

- 1 : demande de mouvement dans le trieur
- 2 : aboutissement de la demande de mouvement (emplacement adapté trouvé)
- 3 : demande de mouvement non aboutie (pas d'emplacement adapté)
- 8 : sortie du trieur
- 91 : début de panne dans le box 1
- 92 : début de panne dans le box 2
- 93 : début de panne dans le box 3
- 94 : début de panne dans le box 4
- 95 : début de panne dans le box 5
- 61 : fin de panne dans le box 1
- 62 : fin de panne dans le box 2
- 63 : fin de panne dans le box 3
- 64 : fin de panne dans le box 4
- 65 : fin de panne dans le box 5

4.3.2 Comparaison des résultats avec les données réelles, en suivant l'ordre de libération initial

Revenons sur l'ordre de sortie des pièces défini dans la figure 19. C'est un ordre de libération par liste, en priorisant des listes appartenant à la partie la plus urgente (voir section 3.1).

Il s'agissait de calculer la différence entre les emplacements décidés par mon algorithme et les emplacements de référence (choisis par l'algorithme source). Pour cela, on compare le choix des boxs (5 dans chaque trieur). Si le box de référence et différent de celui obtenu par mon algorithme on considère immédiatement que le choix est mauvais. Ensuite, si les boxs sont identiques pour les deux algorithmes, on étudie le côté du box et l'étage choisis. Le côté doit être identique pour les deux algorithmes mais on s'accorde une tolérance de +/- 5 étages.

Ainsi, j'ai effectué les demandes de mouvements identiques à ceux historisés dans le fichier temporaire *P_EinlagerPlatzErmittlung*. L'objectif était que la simulation propose les mêmes emplacements cibles que ceux retenus dans la réalité, avec la tolérance décrite au-dessus. J'ai obtenu un pourcentage de réussite de 50 % dans le choix des boxs et 20 % dans le choix des emplacements (avec tolérance). Les résultats sont considérés satisfaisants à partir de 80 % de réussite, donc il a fallu tenter de comprendre d'où venait le problème.

Rapidement dans la simulation on constatait que le choix des boxs était mauvais. En supposant que certains boxs étaient indisponibles lors des calculs, j'ai alors exploité et ajouté les données historisées concernant les pannes des préhenseurs (fichier *P_PLCMeldungen*). Cependant, les pourcentages de réussite ont en moyenne diminué de 20 % par rapport à la simulation précédente.

L'une des possibilités pour mieux comprendre ces résultats insatisfaisants serait de pouvoir accéder au score réellement obtenu pour chaque emplacement (= alvéole) lors des lancements de l'algorithme d'entrée. Cela permettrait de savoir quels critères (fixes ou dynamiques) n'ont pas été vérifiés dans ma simulation par rapport à la réalité. Une demande avait été faite auprès des ingénieurs allemands qui ont développé les algorithmes.

Cependant, avant d'obtenir de réponse positive il a été décidé par les membres du groupe de projet de se concentrer sur une collaboration avec un autre ingénieur allemand utilisant des logiciels de simulation.

5 Simulation virtuelle des trieurs à partir d'un logiciel

L'ingénieur collaborateur avait pour mission de simuler le flux dans les trieurs de l'emballage, à l'aide du logiciel Tecnomatix (Siemens) utilisé dans l'industrie de l'ameublement. On donne une liste de pièces à entrer dans le trieur, avec leurs caractéristiques et l'heure d'entrée (réelle), puis on recrée le flux en définissant des algorithmes et en ajustant un certain nombre de paramètres d'entrée.

5.1 Reproduction de la structure physique des trieurs

Dans un premier temps, il s'agissait de fournir toutes les informations sur le fonctionnement du flux et la structure des trieurs 25 et 26.

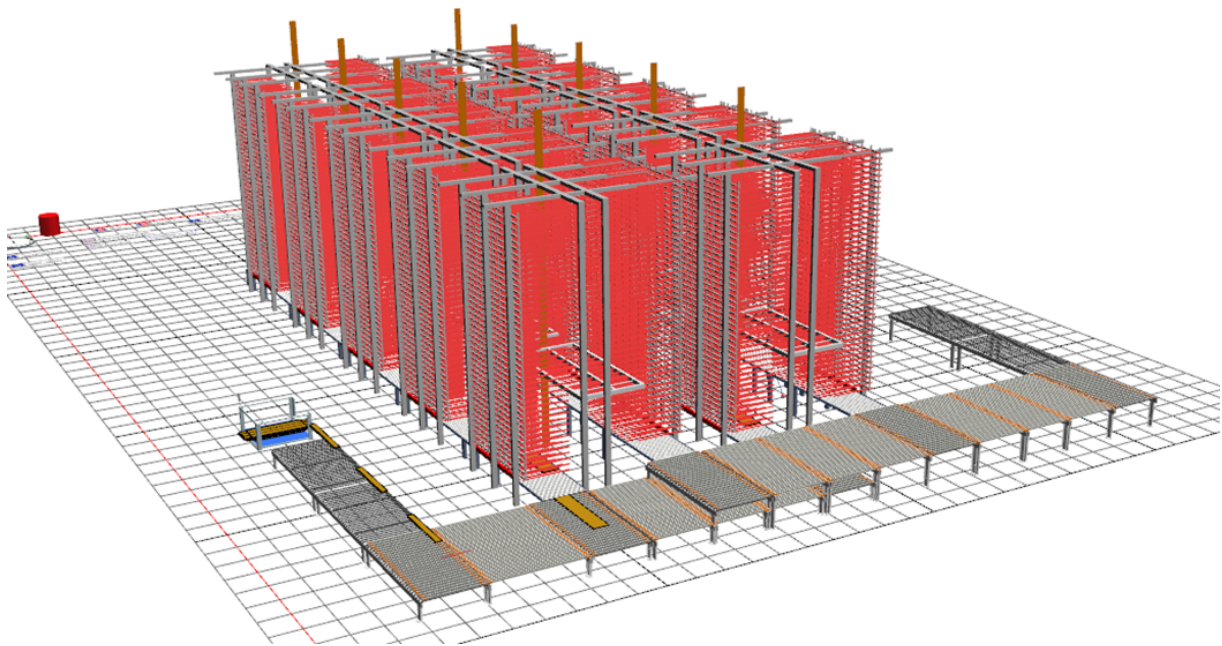


FIGURE 22 – Reproduction de la structure physique des trieurs (Source : Logiciel Tecnomatix)

5.2 Description des différents scénarios à simuler

Ensuite, il a fallu définir des scénarios d'entrée et de libération des trieurs, afin de les simuler dans le logiciel.

5.2.1 Scénarios d'algorithmes d'entrée

Entrée 1

L'idée est de répartir les pièces d'une même liste entre les boxs mais les regrouper dans une même alvéole lorsqu'elles sont dans le même box.

Objectif théorique : diminution du nombre de mouvements des pièces, car on a une concentration des mouvements sur quelques alvéoles, et ces alvéoles se vident progressivement lors de la libération de liste

Piste de réflexion future : lorsque les autres préhenseurs attendent une action, ou lors des pauses/nuits, ils pourraient ordonner les listes contenues dans les boxs, selon l'ordre théorique disponible, pour gagner de la cadence à la libération.

Entrée 2

Pour chaque liste, l'idée serait de répartir entre les boxs toutes les pièces regroupables dans un même colis.

Objectif théorique : répartition plus équilibrée des jobs entre les cinq préhenseurs lors de la libération de liste

Le but est d'éviter de stocker deux pièces d'une même liste qui pourraient appartenir au même multi-colis dans le même box. En effet, la durée des mouvements du préhenseur étant incompressible, il faut limiter au maximum les mouvements "inutiles" / superflux. De plus, pendant ce temps les autres boxs étaient possiblement libres.

Moyen : prendre en considération le *NumGroupeTheorique* calculé pour chaque pièce lors de la mise sur liste par le MES. On privilégie alors les boxs dans lesquelles les pièces stockées sont susceptibles de ne pas être libérées successivement.

Risque théorique : augmentation des mouvements des pièces par rapport au scénario 1

5.2.2 Scénarios d'ordres de libération

Libération 1

Voici l'ordre de sortie fixé dans le scénario, pour une liste de pièces donnée :

1. NUM_GROUPE_THEORIQUE (dans l'ordre croissant) (colis individuels en premier)
2. LARGEUR (dans l'ordre décroissant)
3. EPAISSEUR (dans l'ordre croissant)
4. LONGUEUR (dans l'ordre croissant)

Chaque pièce obtient un numéro d'ordre de libération plus ou moins grand selon son classement. On libérera alors les pièces du trieur ayant les numéros d'ordre de libération les plus petits car prioritaires. L'algorithme de libération final n'étant pas encore développé, on a utilisé la même technique de tri pour l'ensemble des pièces de la simulation.

Libération 2

L'ordre de sortie des pièces de la liste est aléatoire sauf lorsqu'il s'agit de multi-colis.

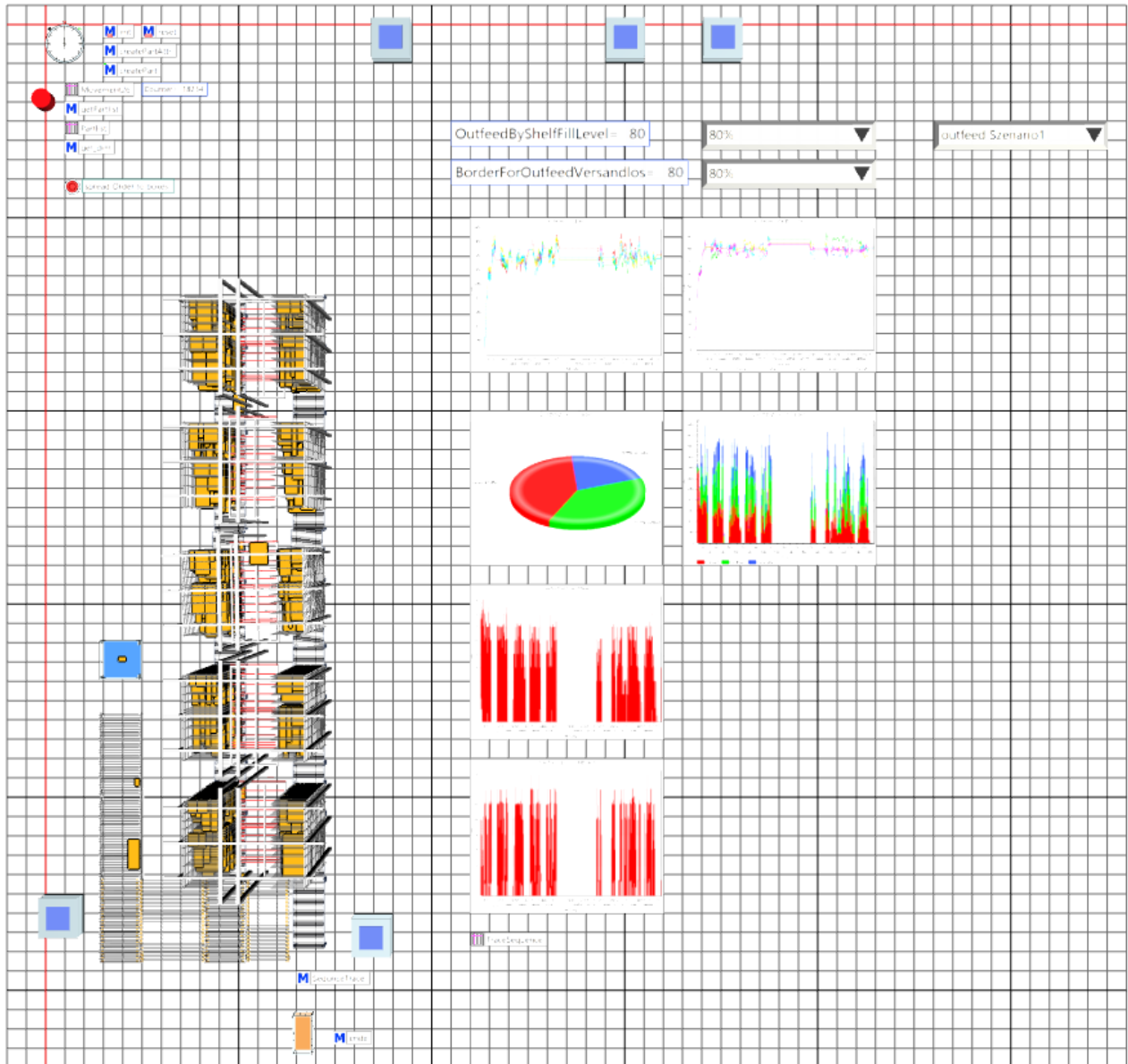
Libération 3

Il s'agit de recalculer l'ordre de sortie selon les pièces disponibles dans le trieur au moment de la libération de la liste (1ère dehors = pièce à l'avant de l'alvéole)

5.3 Résultats des simulations

Le flux des pièces dans le trieur 26 a été simulé sur une période de 10 jours de production, en respectant l'ordre d'entrée réel des pièces.

La figure 23 illustre l'interface de la simulation développée pour le projet.



A gauche on peut voir la simulation des convoyeurs vers l'entrée des trieurs 25 et 26, composés chacun de 5 boxs. A droite on peut voir 5 graphiques qui seront utilisés pour comparer les résultats des différents scénarios.

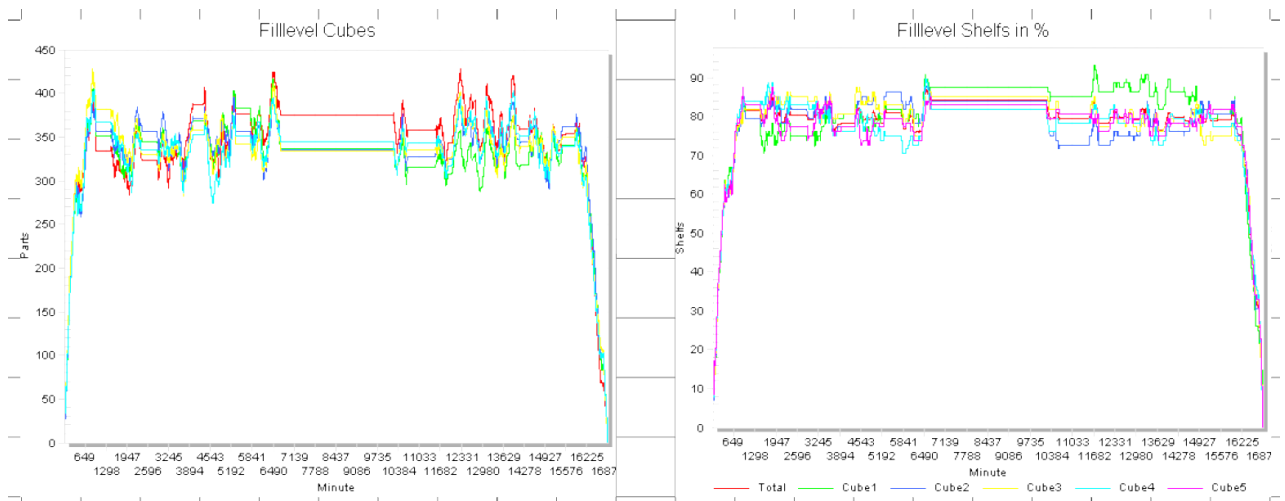


FIGURE 24 – Taux de remplissage des boxs (à gauche) et taux de remplissage des emplacements (à droite) (Source : Logiciel Tecnomatix)

Le graphique 24 montre le taux de remplissage du trieur 26 au cours de la simulation. A gauche, il s'agit du nombre de pièces à chaque minute dans les 5 boxs. A droite il s'agit du taux remplissage des différents emplacements dans chaque box. On considère qu'un emplacement est rempli dès qu'il contient au moins une pièce. On constate que dans les deux graphiques la répartition des pièces est plutôt équilibrée entre les boxs.

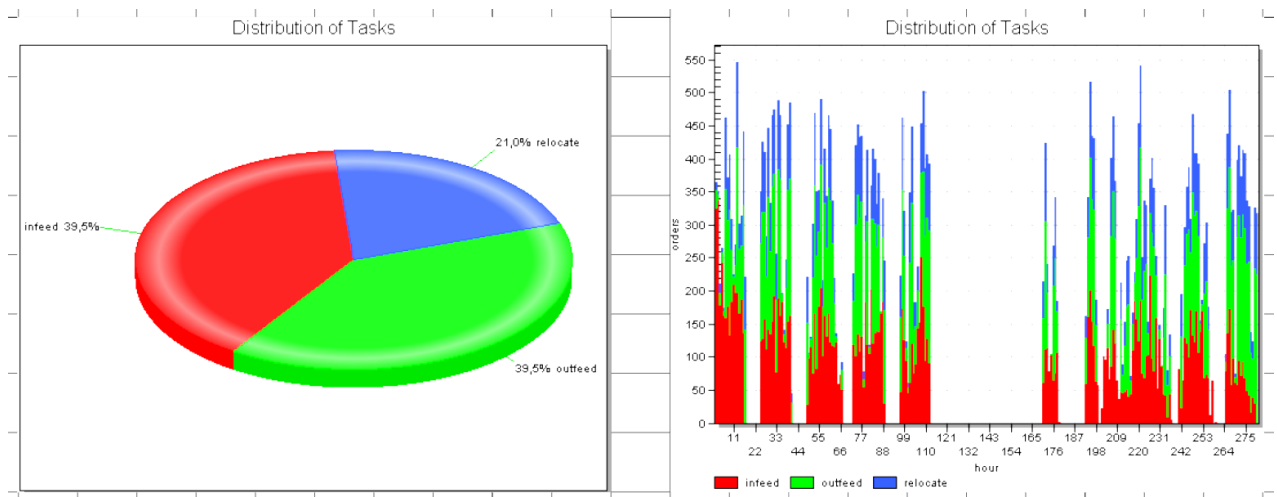


FIGURE 25 – Distribution des différentes tâches du trieur sur l'ensemble de la simulation (à gauche) et par heure (à droite) (Source : Logiciel Tecnomatix)

La figure 25 permet de connaître la quantité d'entrées, de sorties et de relocalisations des pièces dans le trieur, sur l'ensemble du scénario simulé. A gauche on voit le pourcentage de ces tâches sur l'ensemble des tâches réalisées durant la simulation. Le graphique de droite décrit la quantité de ces tâches à chaque heure de la simulation. On constate que le nombre d'entrées et de sorties est équilibré, ce qui permet de conserver un taux de remplissage optimal du trieur.

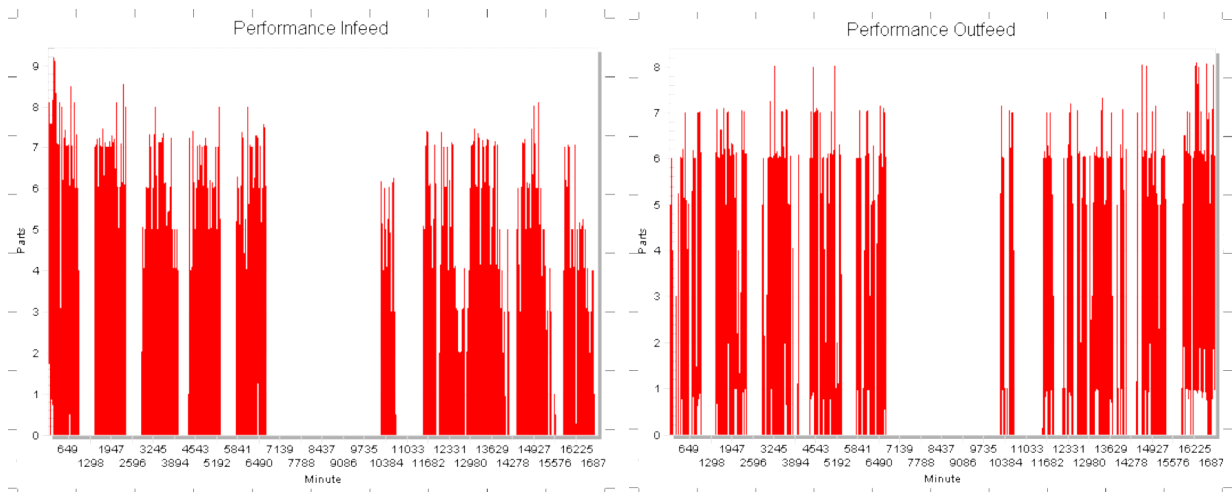


FIGURE 26 – Nombre d’entrées dans le trieur par minute
(Source : Logiciel Tecnomatix)

FIGURE 27 – Nombre de sorties du trieur par minute
(Source : Logiciel Tecnomatix)

Les graphiques 26 et 27 représentent respectivement le nombre d’entrées et de sorties dans le trieur chaque minute. La simulation montre une moyenne de 4 à 5 pièces entrées et sorties par minute. Ceci correspond à la cadence réelle observée en production.

5.3.1 Etude des indicateurs

Avant toute modification d’algorithme, il s’agit d’appréhender avec un maximum de précisions les effets (positifs ou négatifs) de ces changements sur la cadence d’approvisionnement de la ligne d’emballage. Nous étudions alors les résultats obtenus par les simulations.

Les indicateurs sur lesquels nous nous concentrons ici sont les suivants :

- Calculer le taux de remplissage du trieur simulé, au cours du temps
- Calculer la cadence moyenne d’entrée et de libération du trieur (nombre de pièces par minute)
- Compter le nombre de mouvements effectués par chaque pièce dans le trieur

Les données récoltées sont comparées aux historiques de la situation réelle, afin de savoir si la stratégie est intéressante.

De manière globale, on constate un taux de remplissage des alvéoles inférieur à 75 %, un taux de remplissage des boîtes inférieur à 85 % et une répartition approximativement uniforme du nombre de pièces dans chaque boîte.

Les tableaux qui suivent récapitulent les études qui ont été effectuées à l’aide de la simulation.

Nb mouvements pnx	Libér. 1 (palettisation)	Libér. 2 (aléatoire)	Libér. 3 (recalcul pos)	Prod. (historique)
Scénario entrée 1	15962 (-33.7%)	15945 (-33.8%)	15263 (-36.8%)	24078
Scénario entrée 2	16195 (-32.7%)	15945 (-33.8%)	15263 (-36.8%)	24078

Scénario entrée 1	Libér. 1	Libér. 2	Libér. 3	Prod.
Cadence moyenne sortie (pnx / min)	1.84	1.82	1.83	2
Cadence max sortie (pnx / min)	3.87 (+2.7%)	3.72 (-1.3%)	3.75 (-0.5%)	3.77
Médiane cadence sortie (pnx / min)	1.9 (-11.6%)	1.82 (-15.3%)	2.07 (-3.7%)	2.15

5.3.2 Décision de modification d'algorithme

L'étude des indicateurs précédents a permis de prendre certaines décisions quant à la modification des algorithmes des trieurs. Le scénario d'entrée privilégié est de conserver les critères d'entrée actuels (optimisation de l'espace et répartition des listes) mais d'ajouter deux nouveaux critères pour les listes et multi-colis en priorité 7 et 8. Finalement, on obtient l'ordre suivant (du plus au moins prioritaire) :

- 6 premiers critères Pflicht (obligatoires) identiques et dans le même ordre de priorité
- Critères Wunsch (souhaités) :
 7. **WUNSCH_GleicheNumListe_VersandEinheit** (1024_{10}). Ce critère privilégie de regrouper les pièces d'une même liste dans une même alvéole lorsqu'elles sont stockées dans le même box. Cela permet de donner des actions aux 5 préhenseurs de manière équilibrée lors de la libération d'une liste.
 8. **WUNSCH_Multipack** (512_{10}). Ce critère privilégie la répartition entre les boxs des pièces d'une même couche de colis théorique. Cela permet également de mieux répartir les jobs entre les préhenseurs lors de la libération d'une liste.
 9. **WUNSCH_AusgleichNUM_LIST** (256_{10}). Il s'agit du critère déjà existant de répartition des listes entre les boxs.
 10. **WUNSCH_Materialstaerke** (128_{10}) (déjà existant)
 11. **WUNSCH_PlatzNormaVerwenden** (64_{10}) (déjà existant)
 12. **WUNSCH_SektionsBelegungFachWirdVoll** (32_{10}) (déjà existant)
 13. **WUNSCH_PlatzAusfuellungFachOptimal** (16_{10}) (déjà existant)
 14. **WUNSCH_SektionsBelegungFachOptimal** (8_{10}) (déjà existant)
 15. **WUNSCH_Seite** (4_{10}) (déjà existant)
 16. **WUNSCH_RechenNoWait** (2_{10}) (déjà existant)
 17. **WUNSCH_LeeresFach** (1_{10}) (déjà existant)

La modification de l'algorithme d'entrée a demandé un ajout de colonnes dans les tables de données utilisées par les algos des trieurs :

- *NumGroupeReel_THEO* : numéro de colis théorique (unique pour les différents colis d'une liste)
- *GrpSequence_THEO* : ordre de libération théorique de la liste (même valeur quand les pièces peuvent être interchangeables lors de la libération de la liste)
- *GrpSequence_SUB_THEO* : numéro de couche dans le colis (même valeur quand les pièces sont dans une même couche car elles peuvent être interchangeables)

L'ingénieur en charge de la modification de l'algorithme d'entrée a développé une interface permettant de modifier l'ordre de priorité de l'ensemble des critères disponibles (voir capture d'écran 28). Il suffit alors de glisser les différents critères devant la valeur de poids souhaité (puissances de 2).

Nombre	Nom	Text	Critical	Poids
0	WUNSCH_LeeresFach	Wunsch: Leeres Fach	☐	1
1	WUNSCH_RechenNoWait	Wunsch: Muss nicht am Rechen warten	☐	2
2	WUNSCH_Seite	Wunsch: Seite (Std-Teil Rechts,Kann-Teil Links)	☐	4
3	WUNSCH_SektionsBelegungFachOptimal	Wunsch: Sektionsbelegung Fach optimal	☐	8
4	WUNSCH_PlatzAusfuellungFachOptimal	Wunsch: Platz-Ausfüllung Fach optimal	☐	16
5	WUNSCH_SektionsBelegungFachWirdVoll	Wunsch: Sektionsbelegung Fach wird voll	☐	32
6	WUNSCH_PlatzNormalVerwenden	Wunsch: Platz normal verwenden	☐	64
7	WUNSCH_Materialstaerke	Wunsch: Materialstärke	☐	128
8	WUNSCH_GleicheNumListe_VersandEinheit	Wunsch: Box hat Gleiche NumList_Versandheit	☐	1024
9	WUNSCH_AusgleichNUM_LISTE	Wunsch: Ausgleich NUM_LISTE	☐	256
10	WUNSCH_Multipack	Wunsch: Multipack berücksichtigen	☐	512
11	Pflicht_ZielplatzHatAusreichendPlatz	Zielplatz hat ausreichend Platz	☒	4096
12	Pflicht_PlatzIstLagerPlatz	Platz ist normaler Pufferplatz	☒	8192
13	Pflicht_Materialstaerke_Erlaubt	Materialstärke erlaubt	☒	16384
14	Pflicht_EingangNichtGesperrt	Platz ist zugänglich! (Eingang nicht gesperrt)	☒	32768
15	Pflicht_BoxErreichbar	Box ist erreichbar via Transportstrecke!	☒	65536
16	Pflicht_PlatzIstKeinTabuPlatz	Platz ist kein Tabu-Platz	☒	131072

FIGURE 28 – Interface de modification de priorité pour les critères d’entrée en trieurs (Source : 3TEC)

L’intérêt est de pouvoir prioriser d’avantage les critères d’optimisation d’espace dans le cas où la place dans le trieur venait à manquer. L’accès à cette interface est sécurisé par un accès limité aux administrateurs et aux ingénieurs SAI.

5.4 Impact des modifications sur la production

Ensuite, il s’agissait d’étudier l’impact réel des modifications de l’algorithme d’entrée effectuées.

Durant les semaines de production qui ont suivi, on n’a pas constaté de taux de remplissage des trieurs plus important qu’habituellement.

De même, la répartition environ équilibrée du nombre de pièces de chaque liste entre les boxs était respectée.

Un indicateur intéressant pour garantir une meilleure cadence de libération des pièces est le nombre de mouvements effectué par celles-ci dans les trieurs. Il fallait donc comparer le nombre moyen de mouvements dans les trieurs avant et après modifications de l’algorithme d’entrée.

Le diagramme 29 montre les nombres de mouvements de 1000 pièces entre leur entrée et leur sortie du trieur 25, dans les deux cas.

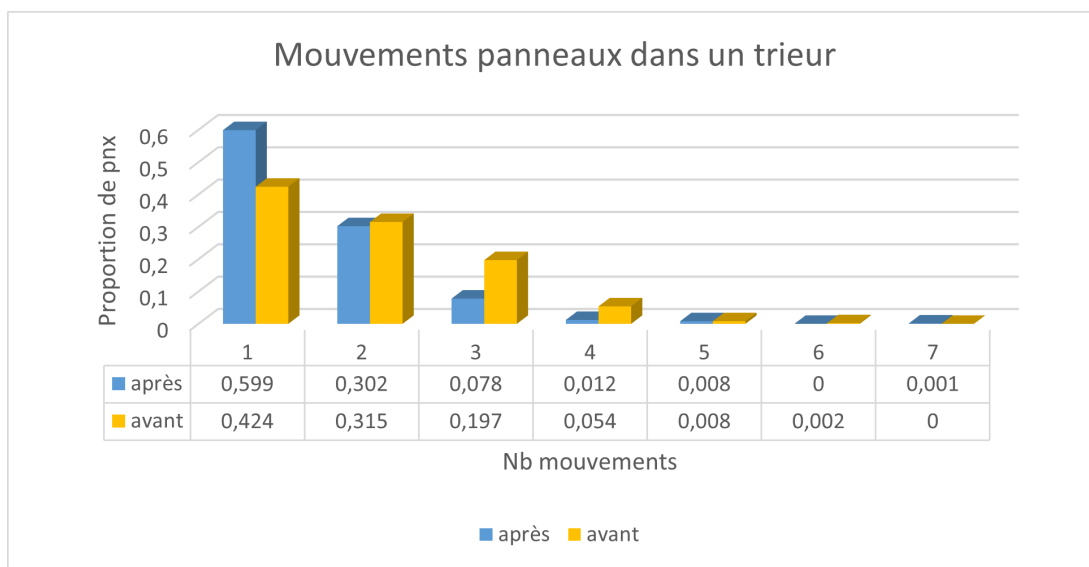


FIGURE 29 – Mouvements de 1000 pièces dans le trieur 25, avant et après modification d’algorithme d’entrée

On constate sur le diagramme 29 qu’avec l’ajout des nouveaux critères, on a augmenté de 41.3 % la proportion de pièces effectuant un seul mouvement dans le trieur : cette proportion atteignait 42 % avant la modification, contre 60 % avec le nouvel algorithme d’entrée. Finalement, on remarque que 90 % des pièces de l’échantillon ont effectué deux mouvements ou moins, avant de sortir du trieur.

Ce constat est cohérent avec l’observation qui suit. En effet, le diagramme 30 montre le nombre de listes différentes contenues dans les alvéoles du trieur 25, avant et après modification d’algorithme. Le trieur contenait 1000 pièces dans les deux cas.

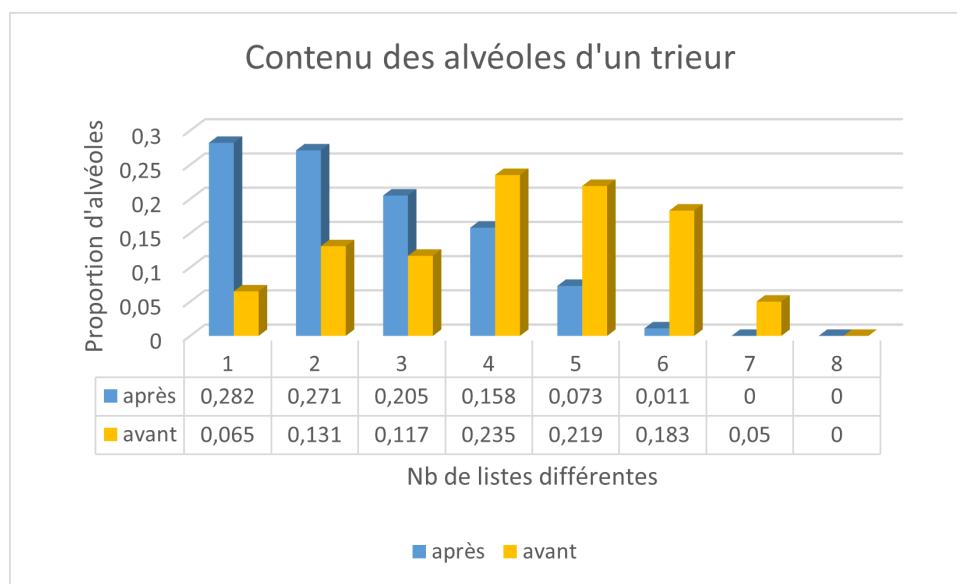


FIGURE 30 – Listes contenues dans les alvéoles d’un trieur stockant 1000 pièces, avant et après modification d’algorithme d’entrée

On remarque qu’avant la modification, 68.7 % des alvéoles stockaient entre 4 et 7 listes différentes. Tandis qu’avec les nouveaux critères, seulement 24 % des alvéoles sont concernées par ces cas.

Finalement, ces observations confirment que le regroupement des pièces d'une même liste au sein d'une alvéole dans chaque box est bien actif dans le nouveau calcul des emplacements. Et ceci explique également que les pièces effectuent moins de mouvements car elles sont moins gênantes lors de la libération des autres listes.

Dans un second temps, il a été décidé que l'ordre de libération des trieurs privilégié prendra en compte les types de contenants de la ligne de palettisation pour améliorer la stabilité lors des transports en navettes et faciliter le travail des opérateurs. Il s'agira alors de trier les colis selon leurs dimensions.

6 Développement des algorithmes de libération des trieurs

L'ensemble des algorithmes de sortie des trieurs a été développé en SQL, sur le logiciel SQL Server Management. L'avantage est qu'il s'agit d'un langage compris et maîtrisé par tous les ingénieurs et techniciens habilités. En effet, ce sont ces personnes qui garantissent la maintenance des systèmes d'automatisation de l'atelier. Elles seront donc chargées de garantir le fonctionnement des algorithmes lors de mises à jour futures, et de les dépanner en cas d'erreurs imprévisibles.

6.1 Calcul des multi-colis

L'algorithme de calcul des multi-colis, accessible dans *Code/MultiColis.sql*, prend en paramètre une liste de pièces appartenant à un même *NumGroupeTheorique*. Ces pièces ont un certain nombre de points communs permettant de les regrouper dans un même colis :

- elles font partie de la même commande faite par un unique client
- elles sont de même épaisseur
- elles sont de même largeur, avec une tolérance de +/- 5mm

Pour ces pièces appartenant à un même *NumGroupeTheorique*, il s'agit de calculer tous les scénarios possibles d'assemblage pour former des couches de colis qui respectent les critères de longueur et poids maximaux (2000 mm et 25 kg). On effectue des combinaisons de 1 à n pièces par couche, selon le nombre de pièces que contient le *NumGroupeTheorique*.

Cependant, on ne calcule pas tous les scénarios de combinaisons possibles : on stoppe la boucle de parcours des pièces dès que les critères de poids ou longueur de couches maximaux ne sont plus respectés. En effet, le fait de rajouter des pièces à une couche incorrecte entraînera forcément une couche incorrecte. Ce filtre est nécessaire pour atteindre un temps d'exécution minimal. (Après une optimisation du parcours des boucles de l'algorithme, le temps d'exécution pour une liste de 30 pièces est passé de 2 minutes 30 secondes à 10 secondes.)

Ensuite, il s'agit de trier l'ensemble des couches calculées de la plus longue à la plus courte. On fixe la plus grande des couches puis on parcourt toutes les autres afin de trouver une éventuelle couche adaptée pour se superposer. La superposition de deux couches est possible lorsque la différence de longueur entre les deux ne dépasse pas 5mm et que la somme de leurs poids n'excède pas 25kg.

De plus, les pièces contenant de la quincaillerie posée doivent obligatoirement être situées dans la couche supérieure du colis. Si aucune couche superposable n'est trouvée, le colis sera composé d'une unique couche. Dans le cas de colis uni-couche en multi-voie, on fixe une largeur maximale de 600 mm. En effet, au-delà de cette limite l'opérateur pourrait avoir des difficultés à poser la cale sur les deux côtés du colis.

On précise que le nombre maximal de couche d'un colis est actuellement fixé à deux. Chaque combinaison de couche est définie par un nombre composé d'autant de chiffres que de pièces dans le *NumGroupeTheorique*. Chaque chiffre peut prendre la valeur 0 ou 1, et sa position fait référence à une pièce précise dans le *NumGroupeTheorique*.

Finalement, le nombre associé à une combinaison permet de connaître aisément toutes les pièces qui la composent. A chaque fois qu'un colis est créé, on calcule les nouvelles combinaisons de couches et colis possibles en fonction des pièces restantes.

6.2 Ordre de libération des listes

6.2.1 Cas des pièces de meubles sur-mesure

Les colis individuels et multi-colis sont considérés comme des colis sans distinction. L'ordre de palettisation pour les différents colis dépend du type de contenant utilisé pour les stocker et les expédier sur les sites suivants.

Contenant de type P1-P5

Ces contenants correspondent à des palettes de type "standard". Ils stockent des colis "non habitat" et de longueurs inférieures ou égales à 2700 mm et de largeurs inférieures ou égales à 950 mm. La majorité de la production est stockée sur ce type de contenant.

Les colis individuels peuvent être de plusieurs épaisseurs (8, 10, 19, 25, 50 mm). En ajoutant les multi-colis, composés d'une à deux couches, il existe alors des épaisseurs intermédiaires entre 8 et 50mm. L'idée est de regrouper les colis de mêmes épaisseurs sur les différentes couches qui composent une palette. Ceci permet de garantir un meilleur équilibre de la palette lors de ses déplacements et de son expédition par navette. Cela permet également de faciliter le travail des opérateurs : actuellement ils perdent du temps à combler correctement les "creux" de chaque couche car les colis arrivent de manière aléatoire au poste de palettisation. Finalement, l'ordre de tri retenu pour ces colis est le suivant :

1. groupement selon épaisseur (tri décroissant des groupes selon le nombre de pièces par épaisseur)
2. largeur décroissante dans chaque groupe d'épaisseur
3. longueur décroissante dans chaque groupe d'épaisseur

Contenant de type P2-P9-P0

Le contenant P9 stocke des colis "habitat" hors gabarits, c'est-à-dire de longueur supérieure à 2700 mm ou de largeur supérieure à 950 mm. Tandis que le contenant P0 stocke des portes placards (JUPLA).

Le contenant P2 correspond à un chariot. Il contient des colis "non habitat" avec une longueur supérieure à 2700 mm ou une largeur supérieure à 950 mm. Les panneaux miroirs y sont également stockés. Les colis sont alors posés sur leur chant le plus long. Afin de favoriser l'accès aux colis, on favorise premièrement le tri selon la largeur. Cela donne l'ordre de libération suivant :

1. largeur décroissante
2. longueur décroissante
3. épaisseur décroissante

Contenant de type P7

Ces contenants sont des chevalets permettant le rangement des colis à la verticale, sur leur chant le plus court. Pour un accès facilité aux colis, la logique était de les trier selon leurs longueurs. On obtient alors l'ordre de libération suivant :

1. longueur décroissante
2. largeur décroissante
3. épaisseur décroissante

Cette logique de palettisation n'est actuellement pas active car les chevalets P7 ne sont utilisés qu'à l'Unité 3 (U3) pour le moment. En attendant, les pièces de contenant P7 sont stockées dans les contenants P1-P5.

6.2.2 Cas des pièces START

Il s'agit des pièces à destination du site de Bergheim. La gamme START contient des coloris plus limités que la précédente et des dimensions standardisées (pas de sur-mesure). Le multi-colis n'est actuellement pas prévu pour la production de ces pièces.

L'ordre de libération a été fixé de la manière suivante, afin de respecter l'alimentation des différentes lignes de production du site :

1. groupement selon poste de charge (BECM2, BECM4, BECM5) de destination dans le site suivant (Bergheim)

2. ordre de palettisation décroissant pour chaque poste de charge
3. largeur décroissante dans chaque ordre de palettisation
4. longueur décroissante dans chaque ordre de palettisation
5. épaisseur décroissante dans chaque ordre de palettisation

Toutes les pièces sont palettisées dans des contenants identiques et plusieurs postes de charge peuvent être stockés sur une même palette. Le "dépotage" de celle-ci est effectué à Bergheim afin d'alimenter les différentes lignes de production.

Durant l'installation des nouvelles lignes d'emballage, l'atelier de production était en arrêt. Ainsi, nous avons uniquement testé les algorithmes de libération en pré-production, c'est-à-dire sur un serveur miroir au serveur de production. Cela a permis de vérifier la cohérence des résultats obtenus par les algorithmes. Il suffira de les copier sur le serveur de production de l'atelier lorsque les lignes d'emballage seront opérationnelles.

7 Conclusion

Finalement, avec la modification de l'algorithme d'entrée des trieurs 25 et 26, leur fonctionnement est désormais plus efficace et plus adapté à la nouvelle logique d'emballage. Tout l'intérêt de cette modification est d'exploiter le calcul des colis théoriques pour adapter l'entrée des pièces dans les trieurs. On sait alors qu'un changement dans le calcul des multi-colis sera également pris en compte lors de l'entrée des pièces dans les trieurs.

Par ailleurs, les nouveaux critères améliorent la fluidité et la simultanéité des actions des préhenseurs lors de la libération des listes.

Enfin, le gain exact pour la cadence de sortie des pièces sera connu lorsque les algorithmes de libération seront mis à jour en production. Cependant, on sait déjà que le nouvel ordre de libération permettra aux opérateurs de gagner du temps sur la stabilisation de la palettisation.

Ci-dessous on liste des potentielles améliorations à développer dans le futur :

- Utiliser l'alvéole juste au-dessus des rostens (râeaux de sortie) pour faire le tri (quand je commence à vider une alvéole, à priori je la finis)
- Possibilité de déposer plusieurs pièces en même temps sur le râteau de sortie à développer
- Prendre en compte le nombre de pièces restantes d'une liste pour choisir de mélanger ou non plusieurs listes au sein d'une même alvéole

Références

[1] Schmidt Groupe. (2022). *Wikipedia*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Schmidt_Groupe