

TPs de Simulation des systèmes industriels

Filière: SCM2

École Nationale des sciences appliquées de
Tétouan

Abdellah El Fallahi

Dernière mise à jour le :Wednesday 1^{er} October, 2025

Contents

1	Objectif	3
2	TP1: Basic Process	3
3	TP 2: Advanced Process	8
4	TP3: Advanced Process avec la gestion des conditions des files d'attente	14
5	TP4: Simulation des opérations dans un port maritime	19
6	TP5: Generic Call Center System: Rockwell book	23

1 Objectif

L'objectif principal de ce TP est de développer dans un premier temps un modèle pour les systèmes à états discrets, ensuite en utilisant le simulateur ARENA-SIMON on cherchera à simuler le fonctionnement de ce système. Il faut commencer par les modules du Panel "basic Process". Il est demandé aussi de se familiariser avec la manipulation des différentes statistiques, les files d'attente et leurs attributs et fonctions.

Note Importante : Vu le grand nombre de modules que ce soient graphiques ou des données disponible en ARENA, il est impossible de travailler avec la totalité de ces modules, l'étudiant est donc invité à manipuler et s'entraîner en utilisant le maximum possible de ces modules dans des travaux hors classes. Juste à titre indicatif le travail hors classe doit être au moins 5 fois celui en classe.

2 TP1: Basic Process

Les entités arrivent à un système à deux machines selon une distribution entre arrivées exponentielle de moyenne 20 minutes. En arrivant, les entités sont orientés vers la machine 1 pour un premier traitement. Le temps de traitement sur cette machine suit la loi TRIA(4.5,9.3,11) minutes. Ensuite, les entités sont envoyés vers la deuxième machine pour un deuxième traitement dont le temps de service suit la loi TRIA(16.4,19.1,21.8) minutes. En sortant de la machine 2 les entités passeront une deuxième fois par la machine 1 pour un deuxième traitement ayant le même temps de service que dans le premier passage. Ensuite les parties finies sortent des systèmes.

Travail à faire :

1. Modéliser ce processus par un réseau de PETRI
2. Exécuter la simulation sous ARENA pour une seule réplication de 2000 mn
3. Donner la taille de chaque file d'attente
4. Calculer le temps moyen de séjour d'une entité dans le système
5. Donner le nombre d'entités traités durant les 2000 mn
6. donner le nombre de pièces en WIP

pour le premier processus create il faut fixer ses attributs comme dans la figure 2

le processus de traitement sur la machine 1 doit être fixer comme le montre la figure 3

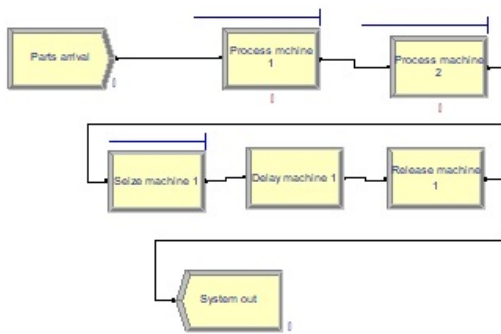


Figure 1: Modèle de simulation ARENA

Name:		Entity Type:	
Parts arrival		part	
Time Between Arrivals			
Type:	Value:	Units:	
Random (Expo)	20	Minutes	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
1	Infinite	0.0	

Figure 2: détail du module create pour le premier cas

en sortant de la machine 1 les entités sont traitées sur la machine 2 selon le module de la figure 4.

Pour un deuxième passage des entités sur la machine 1, il faut tout d'abord réserver la machine avant son utilisation. cette tâche peut être faite de plusieurs manières, une de ces manières est l'utilisation du module seize du panel advanced process comme le montre la figure 5.

Après la réservation de la machine 1 pour un deuxième traitement on utilisera le module Delay pour indiquer le temps de cette deuxième réservation comme le montre la figure 6

A la fin de la réservation il faut libérer la machine 1 pour cela on utilise le module release comme dans la figure 7

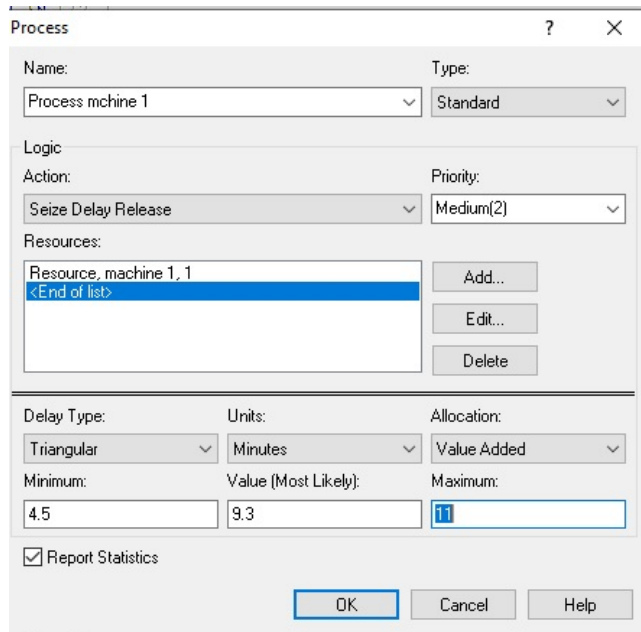


Figure 3: détail du module processus sur la machine 1

le tableau 1 montre les valeurs des indicateurs demandés.

Table 1: Résultats de la simulation pour le premier cas

Machine	Indicateur	Valeur
M1	Nombre moyen dans la file d'attente	1.0109 parts
M1	Nombre maximum dans la file d'attente	8 parts
M1	Temps moyen de séjour dans la file d'attente	10.0093 mn
M 1	Temps maximum de séjour dans la file d'attente	66.8206 mn
M2	Nombre moyen dans la file d'attente	8.36 parts
M2	Nombre maximum dans la file d'attente	32 parts
M2	Temps moyen de séjour dans la file d'attente	160.73 mn
M 2	Temps maximum de séjour dans la file d'attente	597.98 mn

Analyse :

Après la réalisation et l'exécution de la simulation de ce modèle on observe que les entités passent en moyen 10 minutes dans la première machine et 2h41mn plus dans la deuxième machine. Dans la première machine on observe qu'on une entité en attente en moyenne avec un numéro maximum de 8 entités; tant que dans la deuxième machine la moyenne d'entités en attente est de 8 et ce numéro peut atteindre 32 entités en attente.

Process

Name: Process machine 2 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, machine 2, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Triangular Units: Minutes Allocation: Value Added

Minimum: 16.4 Value (Most Likely): 19.1 Maximum: 21.8

Report Statistics

OK Cancel Help

Figure 4: détail du module processus sur la machine 2

Seize

Name: Seize machine 1 Allocation: Other Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, machine 1, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Queue Type: Queue Queue Name: Seize machine 1.Queue

OK Cancel Help

Figure 5: détail du module réservation de la machine 1

Delay

Name: Delay machine 1 Allocation: Other

Delay Time: TRIA(4.5, 9.3, 11) Units: Minutes

OK Cancel Help

Figure 6: détail du module delay de la machine 1

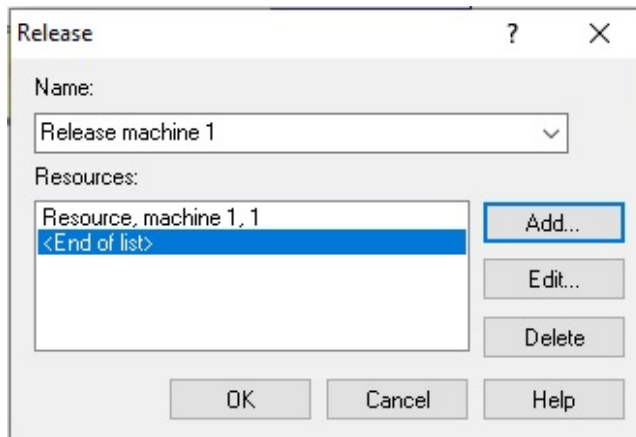


Figure 7: détail du module release de la machine 1

3 TP 2: Advanced Process

Un ensemble de planches de bois arrivent à un service de coupe avec un temps entre arrivées qui suit la distribution EXPO(10); tous les temps sont en minutes. Dans le service on a deux machine de coupe, une principale et la deuxième secondaire. Toutes les entités qui arrivent sont envoyées vers la machine principale. Si la file d'attente devant la machine principale est inférieure à 5, les entités entre alors dans la file d'attente de celle-ci pour être traitée selon un temps TRIA(9,12,15). Autrement, si la taille de la file d'attente devant la machine 1 est supérieure à 5 alors les entités sont envoyées vers la machine 2 ayant une file d'attente de taille infinie. La coupe sur la machine secondaire prend un temps TRIA(17,19,21). Après avoir traité 25 entités sur la machine 1, alors il faut l'arrêter pour une opération de nettoyage qui prend un temps EXPO(30). Durant cette période, les entités dans la file d'attente de la machine 1, doivent attendre la réutilisation de cette machine.

le travail demandé est de modéliser le fonctionnement de ce système en exécutant avec animation la simulation durant 5000 minutes. Donner les indicateurs de performance suivants:

1. Les statistiques de chaque machine
2. Le temps de cycle des entités
3. le taux d'utilisation des ressources
4. Le temps d'attente dans chaque file d'attente
5. Le nombre d'entités en attente devant chaque machine

Il est très conseillé" d'utiliser les modules du Panel advanced process. Un des modèles possible pour se cas est celui présenté par la figure 8.

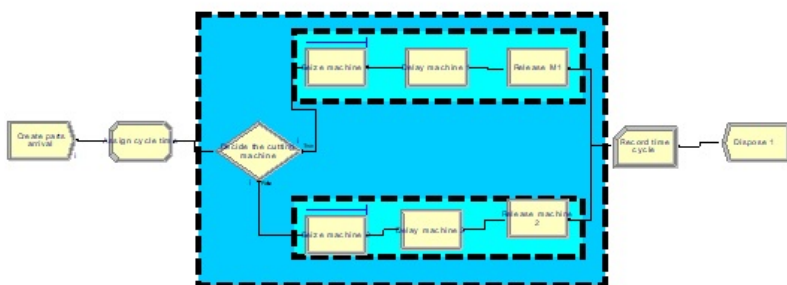


Figure 8: Modèle de simulation global

le premier processus de ce système est celui de la création des arrivées et doit être configuré comme le montre la figure 9.

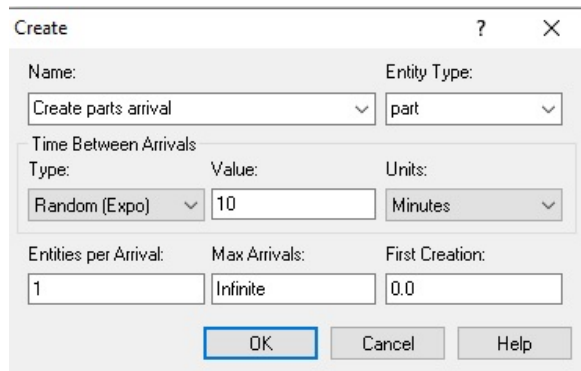


Figure 9: détail du module create

Après la création des entités il faut déterminer l'attribut qui va être utilisé pour calculer le cycle de temps. Le module assign permet de d'attribuer à chaque entité entrante un attribut de temps comme le montre la figure 10

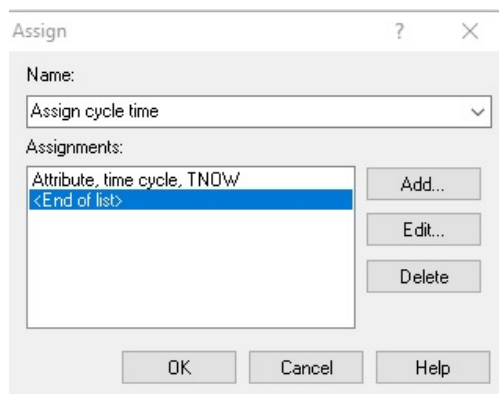


Figure 10: détail du module assign

Après il faut décider la voie qui va suivre l'entité entrante soit elle passe par la machine M1 si la taille de sa file d'attente est inférieure à 5 sinon elle sera envoyée vers la machine 2. Le module décide à utiliser doit être configuré comme dans la figure 11.

En ce qui concerne la première voie, la voie passant par la machine m1 la configuration des trois modules utilisés à savoir le seize, delay et release doit se faire comme le montrent les figures 12, 13 et 18.

Decide

Name: Decide the cutting machine Type: 2-way by Condition

If: Expression

Value: NQ(machine 1) < 5

OK Cancel Help

Figure 11: détail du module decide

Seize

Name: Seize machine 1 Allocation: Other Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, machine 1, 1
<End of list>

Add... Edit... Delete

Queue Type: Queue Queue Name: Seize machine 1.Queue

OK Cancel Help

Figure 12: détail du module seize de la première voie

pour la configuration des modules de la deuxième voie il faut suivre les figures 15, 16 et 17.

Table 2: Temps de cycle

Indicateur	Valeur
Temps moyen de cycle	51.82 mn
Temps maximum de cycle	155.64 mn

Résultats

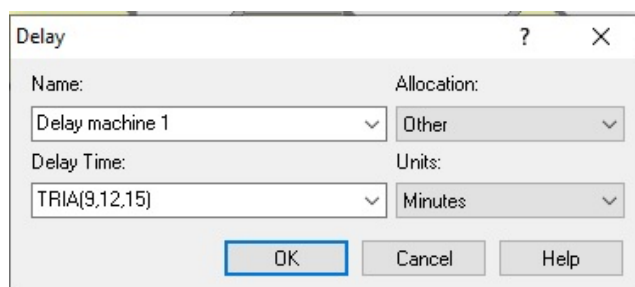


Figure 13: détail du module delay de la première voie

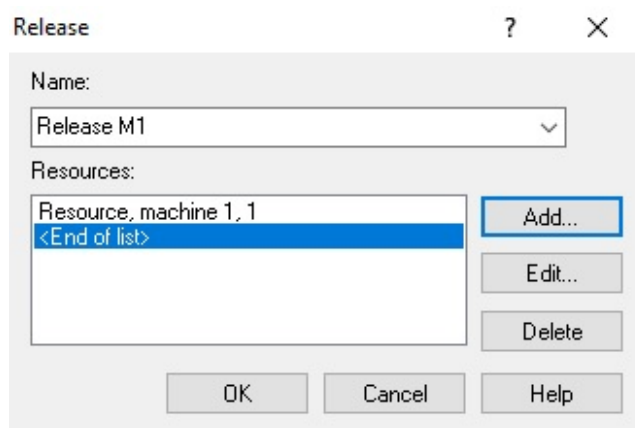


Figure 14: détail du module release de la première voie

Analyse des résultats On peut observer que le taux d'utilisation de la première machine est de 92%; tant que la deuxième machine a un taux d'occupation de 40%. Beaucoup de planches coupées par la première machine attendent dans la file d'attente en moyenne 42mn38s ce temps d'attente peut atteindre 2h21mn15s vu le temps de nettoyage de cette machine. Les planches coupées par la deuxième machine attendent seulement 24mn19s en moyenne et le temps maximum d'attente devant cette machine est de 1h17mn47s. Le nombre moyenne de planche en attente devant la machine 1 est de 3 par contre devant la machine 2 ce nombre est de 0 ou 1 en arrivant à enregistrer 5 et 8 planches au maximum.

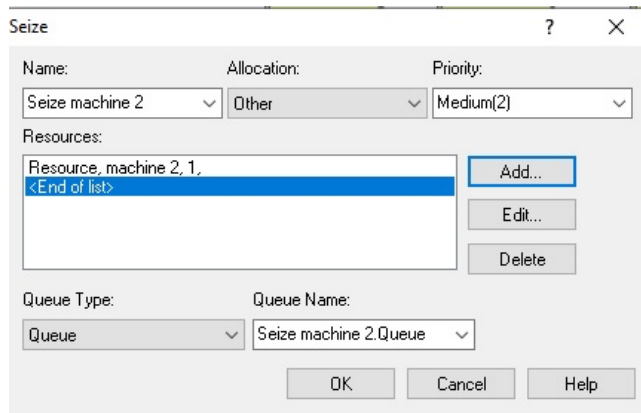


Figure 15: détail du module seize de la deuxième voie

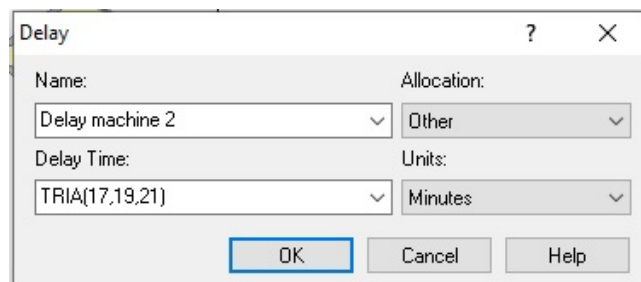


Figure 16: détail du module delay de la deuxième voie

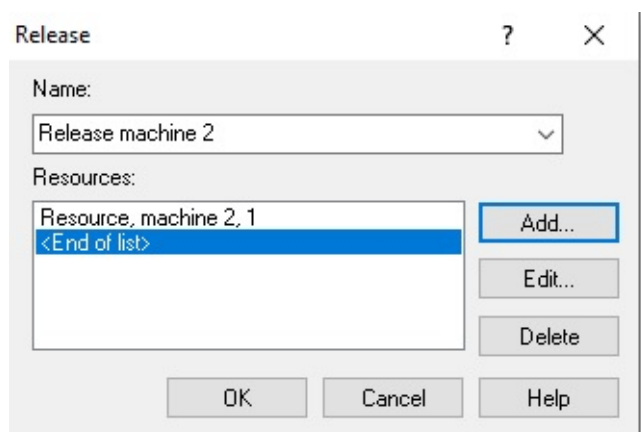


Figure 17: détail du module release de la deuxième voie

Table 3: Résultats de la simulation pour le cas 2

Machine	Indicateur	Valeur
cutting machine 1	utilization	0.9151
	average number in the queue	3.2366
	maximum number in the queue	5
	average time in the queue	42.22 mn
	maximum time in the queue	141.25 mn
Cutting machine 2	Utilization	0.4029
	average number in the queue	0.52
	maximum number in the queue	8
	average time in the queue	24.31
	maximum time in the queue	137. 79

4 TP3: Advanced Process avec la gestion des conditions des files d'attente

Les camions arrivent à un entrepôt avec un temps expo(9) entre arrivées. qui dispose de trois quais. Les temps de déchargement sont $\text{tria}(25,28,30)$, $\text{tria}(23,26,28)$ et $\text{tria}(22,25,27)$ pour les trois quais 1, 2 et 3 respectivement. S'il y a un quai libre le camion se dirige vers celui-là directement. Le temps de voyage pour chaque quai est supposé null, le camion se dirige de préférence vers le quai de plus grand numéro (3,2,1). Si tous les quais sont occupés, alors un camion qui arrive entrera dans la file d'attente du quai ayant la file d'attente la plus petite, en cas d'égalité il entre de préférence dans la file d'attente du quai ayant l'indice le plus petit (1,2,3).

Travail à faire :

1. Développer un modèle de simulation de ce système en utilisant les modules du Panel advanced process, pour la logique de sélection il faut utiliser les modules du Basic Panel
2. Exécuter le modèle pendant 20000 minutes
3. Donner les statistiques suivantes:
 - Utilisation des quais
 - Numéro des camions dans chaque file d'attente
 - Le temps de séjour dans les files d'attente
 - Le temps de séjour dans le système
 - Le pourcentage des camions traiter par quai

le modèle de simulation pour ce cas d'étude est donnée para la figure 19.

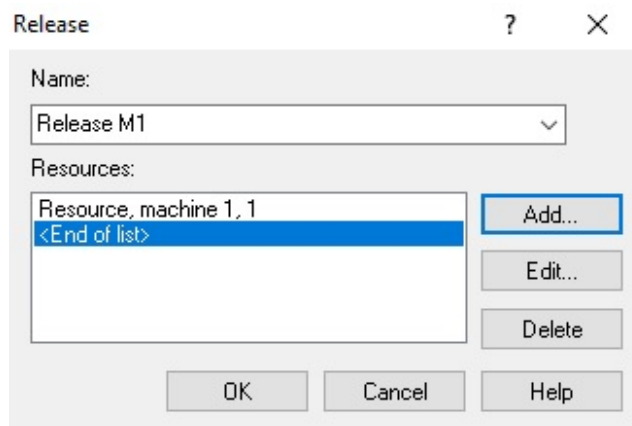


Figure 18: détail du module release de la première voie

4 TP3: ADVANCED PROCESS AVEC LA GESTION DES CONDITIONS DES FILES D'ATTENTE

pour la configuration des modules de la deuxième voie il faut suivre les figures 15, 16 et 17.

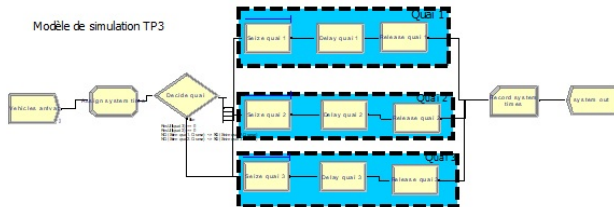


Figure 19: détail du module modèle de simulation

l'arrivée des camions est modélisée comme dans la figure 20.

La boîte de dialogue 'Create' permet de configurer l'arrivée des camions. Les paramètres sont les suivants :

Name:		Entity Type:	
Vehicles arrival		camion	
Time Between Arrivals			
Type:	Value:	Units:	
Random (Expo)	9	Minutes	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
1	Infinite	0.0	

Les boutons 'OK', 'Cancel' et 'Help' sont situés en bas de la fenêtre.

Figure 20: détail du module create TP3

Pour pouvoir traiter les temps de cycle en ajoute le module assign pour affecter le temps d'arrivée à chaque camion comme dans la figure

le module decide permet de diriger les flux des arrivées comme selon la configuration de la figure 22.

Les processus de passage sur chaque quai sont données par les modules des figures 23, 24 et 25, pour les deux autres voies les modules sont les même juste il faut changer la ressource réservée, Q2 ou Q3 et de changer le temps de delay de chaque ressource.

4 TP3: ADVANCED PROCESS AVEC LA GESTION DES CONDITIONS
DES FILES D'ATTENTE

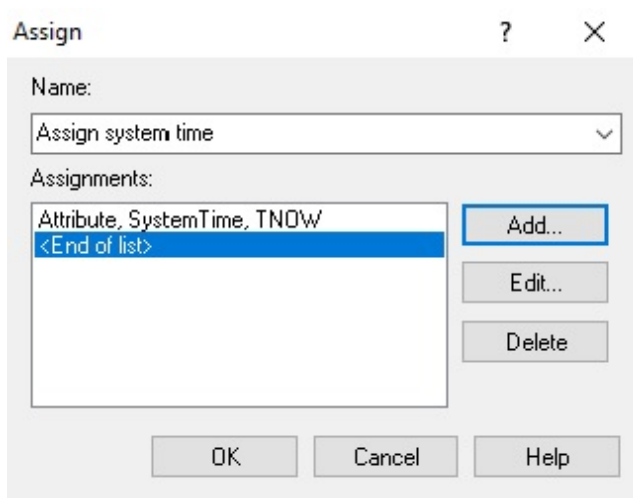


Figure 21: détail du module assign

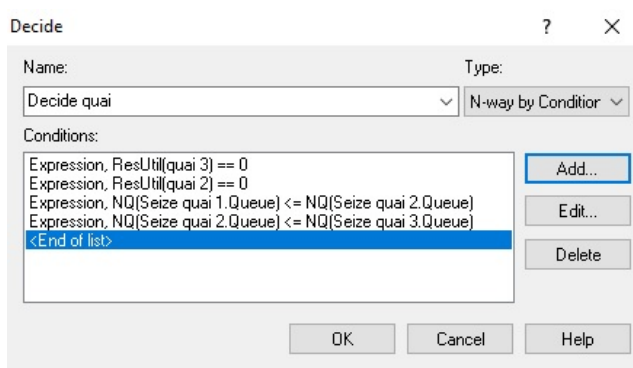


Figure 22: détail du module decide

Table 4: Temps de cycle

Indicateur	Valeur
Temps moyen de séjour dans le système	148.37 mn
Temps maximum de séjour dans le système	420.53 mn

Résultats

Analyse des résultats Après la modélisation, simulation et exécution du modèle pendant le temps imparti on constate que tous les quais ont un taux

4 TP3: ADVANCED PROCESS AVEC LA GESTION DES CONDITIONS DES FILES D'ATTENTE

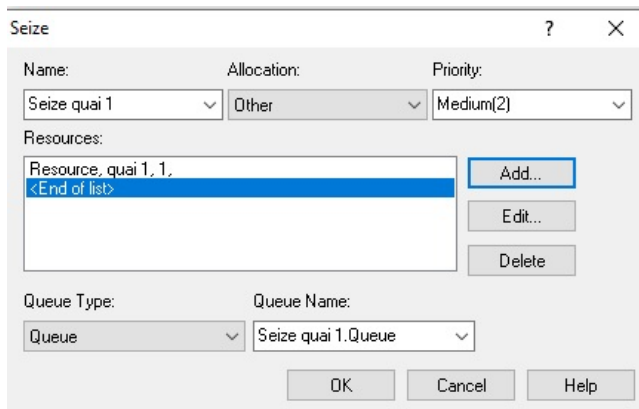


Figure 23: détail du module seize du quai 1

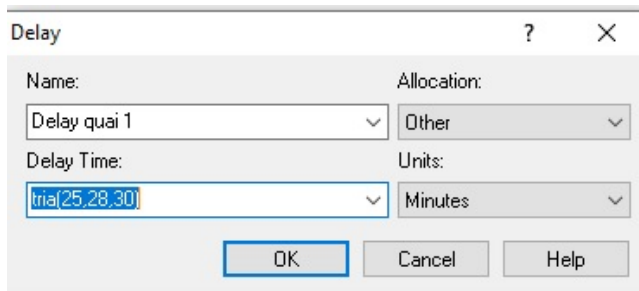


Figure 24: détail du module delay du quai 1

d'utilisation très important autour de 95%. En plus, devant tous les quais on a eu une file d'attente de taille moyenne entre 4 et 5, en arrivant au maximum au 14 ou bien camions en attente. Les camions passent un peu près de deux heures en moyenne dans la zone de chargement déchargement en attendant comment maximum 6h.

Ces résultats montre qu'elle y a une grande homogénéité dans l'utilisation des quais, le numéro des camions dans les files d'attente. Ces résultats peuvent être expliqués par la politique d'utilisation du quai le moins occupé. Nous pouvons conclure que cette politique mène à une utilisation optimale de tous les quais.

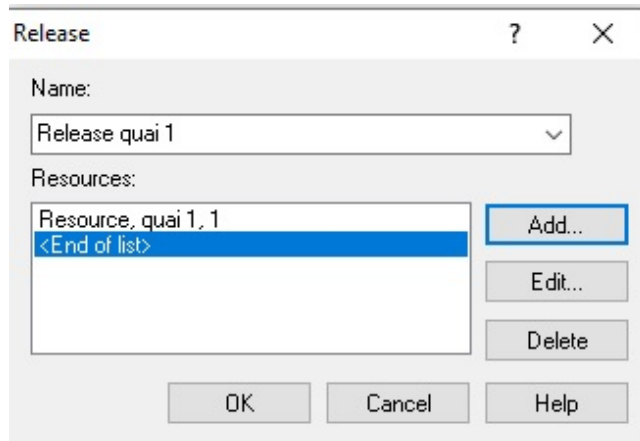


Figure 25: détail du module release du quai 1

Table 5: Résultats de la simulation pour le cas 2

Machine	Indicateur	Valeur
Quai 1	utilization	0.964
	average number in the queue	4.84
	maximum number in the queue	15
	average time in the queue	138.32 mn
	maximum time in the queue	392.14 mn
Quai 2	Utilization	0.95
	average number in the queue	4.49
	maximum number in the queue	14
	average time in the queue	121.04 mn
	maximum time in the queue	361.1mn
Quai 3	Utilization	0.946
	average number in the queue	4.17
	maximum number in the queue	14
	average time in the queue	108.84 mn
	maximum time in the queue	342.88mn

5 TP4: Simulation des opérations dans un port maritime

Objectif : l'objectif de ce TP est la simulation des opérations dans un yard d'un terminal de port à conteneurs. Le travail doit prendre en considération le processus d'arriver et d'arrimage des navires, en suites les conteurs à décharger vont être manipuler dans un premiers temps par les portiques de quai " quay cranes" pour les transporter par les camions du yard. En arrivant à la zone de stockage les conteneurs vont être pris en charge par les RTG. Après la fin de chaque mouvement le moyen utiliser doit être libérer. les processus pour le chargement des navires doit se faire dans le sens inverse des opérations de déchargement. Attention, on peut avoir des opérations de chargement et déchargement d'un même navire. Vu la complexité de ce problème il faut le diviser en plusieurs sous-modèles.

Pour simplifier on peut diviser le travail en deux parties liées:

1. Un modèle pour la gestions des navires
2. Un modèle pour la gestion des camions peut être diviser en quatre sous modèles à savoir:
 - Arriver des camions
 - Processus de dédouanement
 - Chargement des camions vides
 - Déchargement des camions portant des conteneurs

Le modèle global peut être représenté par la figure 26.

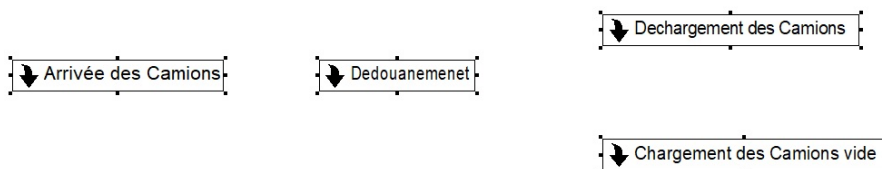


Figure 26: détail du modèle global du port

Le modèle pour la simulation des arrivées des camions est donné par la figure 27.

le dédouanement peut être modéliser comme dans la figure 28.

Les opérations de chargement et de déchargement suiveront les processus illustrées dans les figures 29 et 30. Les détails de chaque processus des sous modèles seront discuter en classe.

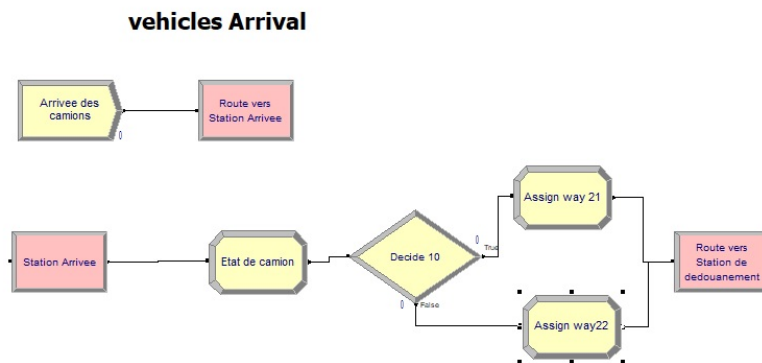


Figure 27: détail du modèle d'arrivée des camions

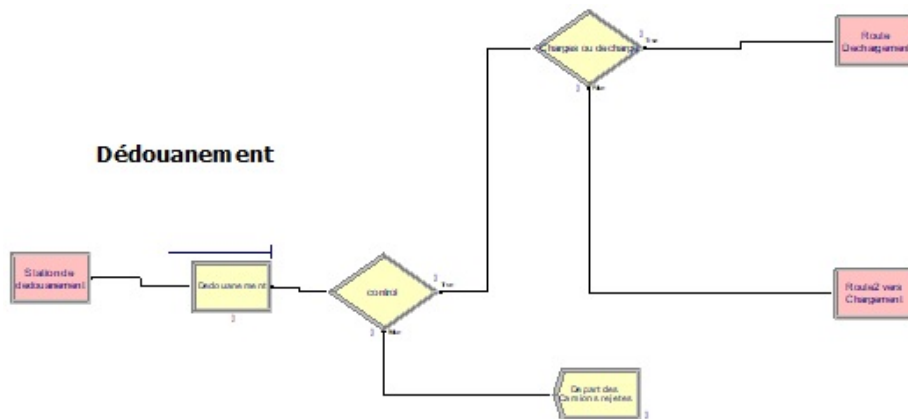


Figure 28: détail du modèle de dédouanement

En ce qui concerne la gestion des navires il faut prendre en considération les points suivants:

1. Vessels arrival
2. Berth allocation
3. Quay Cranes allocation
4. Trucks allocation
5. RTG allocation

le modèle global à développer est celui donner para la figure 31. Les informations à prendre en considération pour ce cas d'étude sont les suivant:

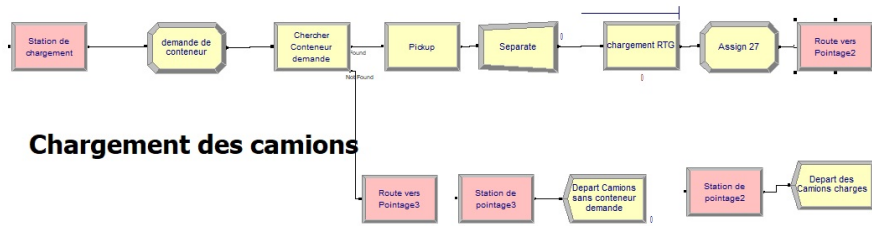


Figure 29: détail du modèle de chargement des camions

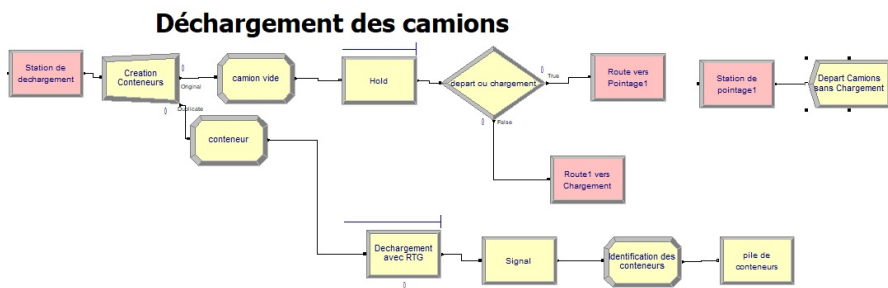


Figure 30: détail du modèle de déchargement des camions

- Le temps entre deux arrivées des navires suit $\text{expo}(1h)$.
- Pour l'arrimage de chaque navire il faut réserver une palce berth
- Il faut réserver un Tug pour aider l'arrimage du navire
- Libérer le Tug après l'arrimage
- Le temps d'arrimage suit une loi $\text{expo}(15mn)$
- Il faut empêcher l'utilisation du Berth tant qu'il est occupé
- Réserver les Quay Crane pour la chargement et le déchargement des navires
- Pour transporter chaque conteneur il faut réserver un truck
- Le temps de transport du truck est $\text{tria}(2,5,7)$ minutes
- Pour décharger le truck il faut réserver une RTG
- Pour le processus de chargement il faut suivre les mêmes processus mais à l'inverse.

6 TP5: Generic Call Center System: Rockwell book

The generic call center system provides a central number in an organization that customers call for technical support, sales information, and order status. This central number feeds 26 trunk lines. If all 26 lines are in use, a caller gets a busy signal; hopefully, the caller will try again later. An answered caller hears a recording describing three options:

1. Transfer to technical support (76%)
2. Sales information (16%),
3. order-status inquiry (8%).
4. the estimated time for this activity is UNIF(0.1,0.6) all times are in minutes

If the caller chooses technical support, a second recording requests which of three product types the caller is using, which requires UNIF(0.1,0.6) minutes. The percentage of requests for product types 1, 2 and 3 are 25%, 34%, and 41%, respectively. If a qualified technical support person is available for the selected product type, the call is automatically routed to that person. If none are currently available, the customer is placed in an electronic queue where he is subjected to annoying rock music until a support person is available. The time for all technical support calls is estimated to be TRIA(3,6,18) minutes regardless of the type of product type. Upon completion of the call, the customer exits the system. However, four percent of these technical calls require further investigation after completion of the phone call. The questions raised by these callers are forwarded to another technical group, outside the boundaries of our model, that prepares a response. The time to prepare these responses is estimated to be EXPO(60) minutes. The resulting response is sent back to the same technical person who answered the original call. This person then calls the customer, which takes TRIA(2,4,9) minutes. These returned calls require the use of one of the 26 trunk lines and receive priority over incoming technical calls. If a returned call is not completed on the same day the original call was received, it's carried over to the next day.

Sales calls are automatically routed to sales staff. If a sales person is not available, the caller is treated to soothing new-age space music (after all, we're hoping for a sale). Sales calls are estimated to be TRIA(4,15,45) minutes sales people tend to talk a lot more than technical support people!. Upon completion of the call, the happy customer exits the system.

Callers requesting order-status information are automatically handled by the phone system, and there is no limit on the number the system can handle (except there are only 26 trunk lines, which is itself a limit, since an ongoing order-status call occupies one of these lines). The estimated time of this transaction is TRIA(2,3,4) minutes, with 15% of these calls opting to speak to a real person after they have received their order-status. These calls are routed to the sales staff where they wait with the same priority as sales calls. These follow-up order-status calls are estimated to last TRIA(3,5,10) minutes. These callers then exit the system.

The call system hours are from 8am to 6 pm, with a small proportion of the

staff on duty until 7 pm. Although the system closes to new calls after 6 pm, all calls that enter the system by that time are answered.

The call arrival rate to this system varies over the course of the day, which is typical of these types of systems, and is expressed in calls per hour for each 30-minute period during which the system is open. These call-arrival rates are given in table 6

Table 6: Call Arrival Rates (Calls Per Hour)

Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate
8:00-8:30	20	10:30-11:00	75	1:00-1:30	110	3:30-4:00	90
8:30-9:00	35	11:00-11:30	75	1:30-2:00	95	4:00-4:30	70
9:00-9:30	45	11:30-12:00	90	2:00-2:30	105	4:30-5:00	65
9:30-10:00	50	12:00-12:30	95	2:30-3:00	90	5:00-5:30	45
10:00-10:30	70	12:30-1:00	105	3:00-3:30	85	5:30-6:00	30

There are seven sales people with the staggered daily schedules summarized as (number of people time period in minute): 3 90, 660, 760, 6120,7120, and 490.

All technical support employees work an eight-hour day with 30 minutes off for lunch (lunch is not included in the eight hours). There are 11 technical support people whose work schedules are shown in table 6. Charity and Noah are qualified to handle calls for product type 1; Thierney, Sean and Emma are qualified to handle calls for product type 2; Shelley, Jenny, and Christie are qualified to handle calls for product type 3. Molly is qualified to handle Product types 1 and 3, and Anna and Sammy are qualified to handle all three product type calls.

Table 5-2. Technical Support Schedules

Name	Product Lines	Time Period (30 minutes)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Charity	1	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*						
Noah	1						*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Molly	1, 3			*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
Anna	1, 2, 3					*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sammy	1, 2, 3				*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Thierney	2	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*					
Sean	2					*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Emma	2				*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Shelley	3	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*					
Jenny	3					*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Christie	3			*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

As a point of interest, we'll considered balking in this system by counting the number of customers calls that are not able to get a trunk line. However, we won't consider renegeing-customers who hang up the phone before reaching a real person.

some statistics of interest for these types of systems are:

1. Number of customers balks (busy signal)
2. Total time on the line by customers type,
3. Time waiting for a real person by customer type
4. Contact time by customer type,
5. Number of calls waiting for service by customer type,
6. Personnel utilization

In this case study the ressources management is the most important task, then be caferfull when handling the set of ressources: 26 lines, slaes staff, technical staff. To simply the complexity of this system, you're invited to split the global model into various submodels. As indication, we can use five submodels:

1. Calls Arrive
2. Technical support calls
3. Sales call
4. Order status calls
5. Arrival Cutoof

The global model of this calls center can be given as in the flowshart 32.

The principals submodels described above are given by the flowsharts 33, 34, 35, 36, 37.

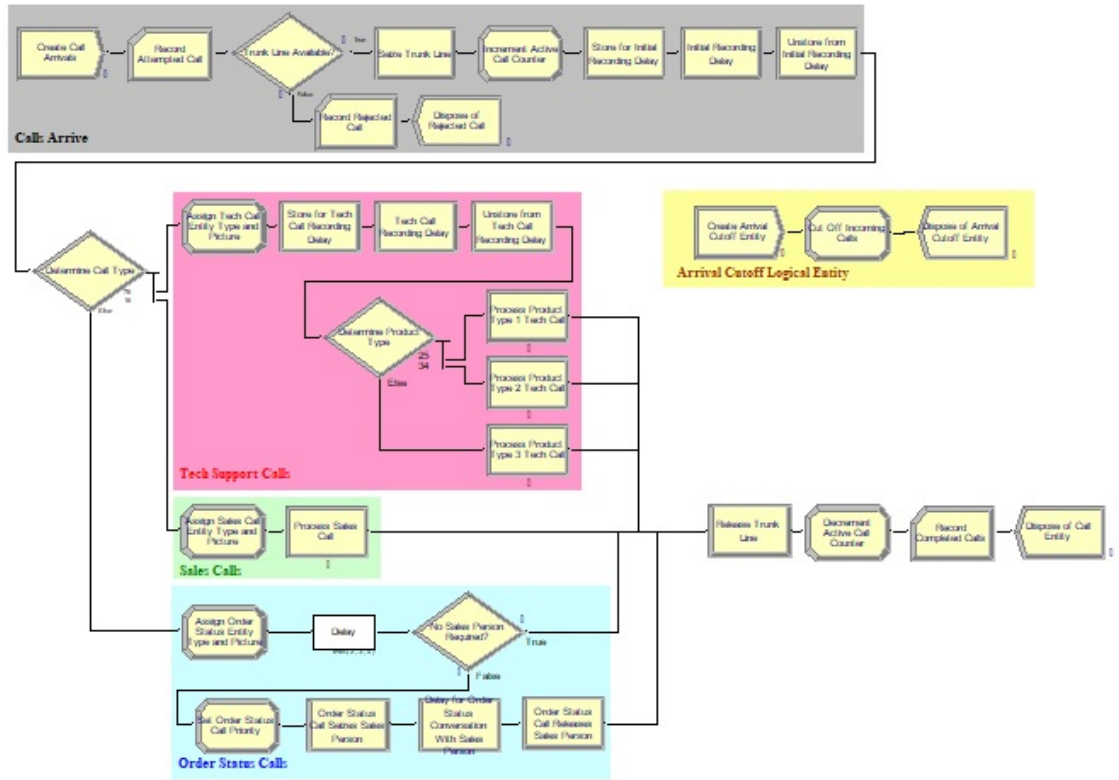


Figure 32: Flowchart of the global model for calls center

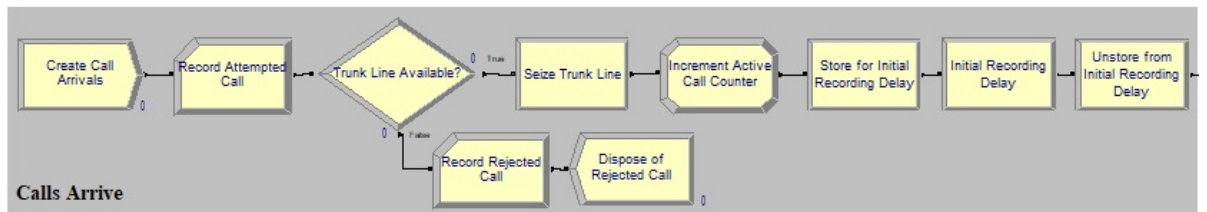


Figure 33: Flowchart of the center arrival calls

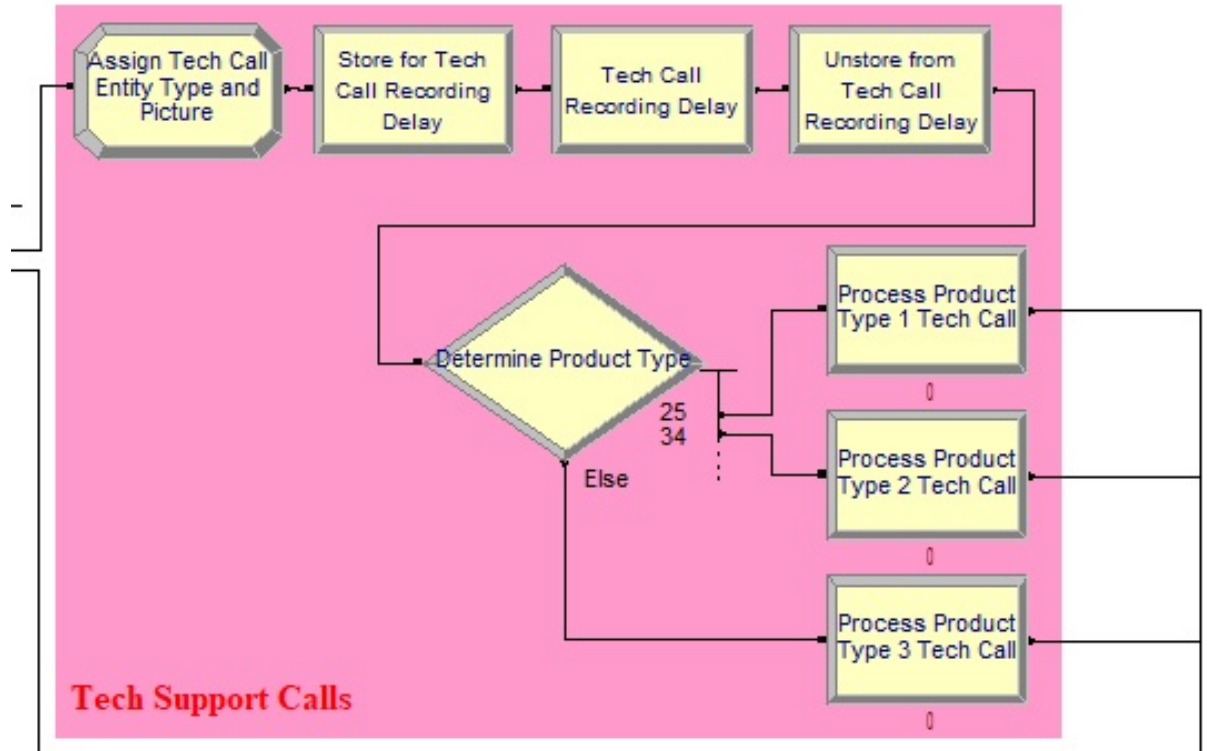


Figure 34: Flowchart of the technical support submodel

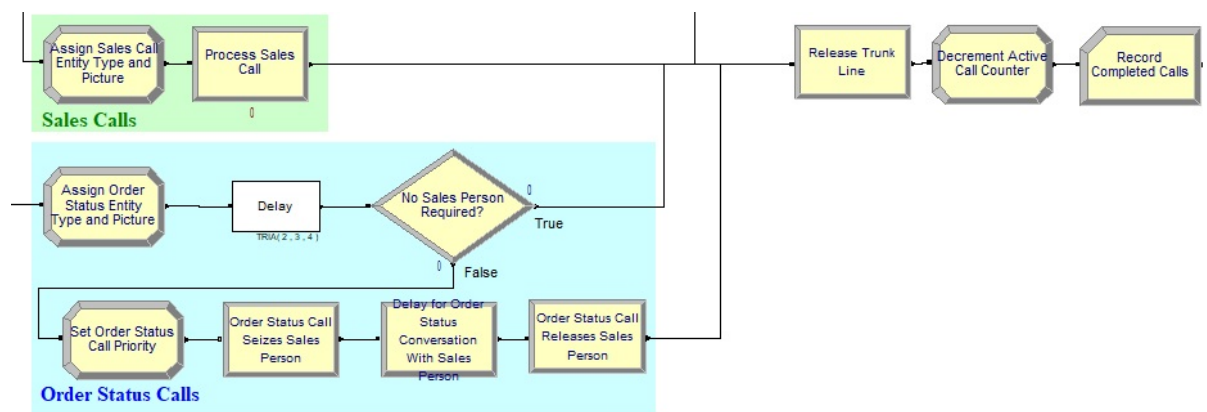


Figure 35: Flowchart of sales and

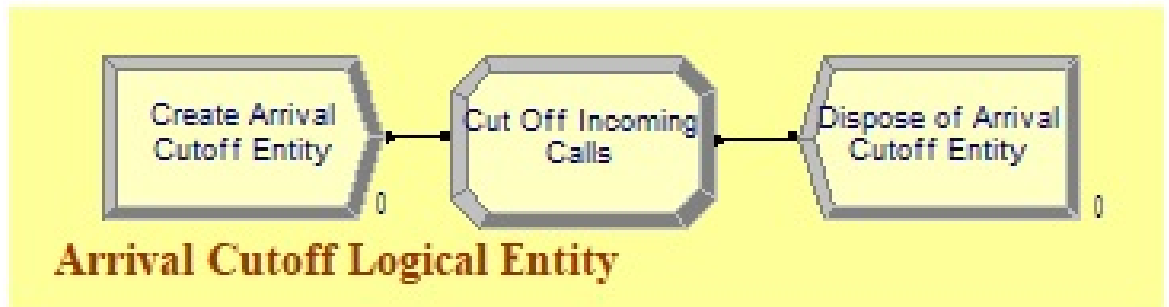


Figure 36: Flowshart of arrival Cutoff submodel

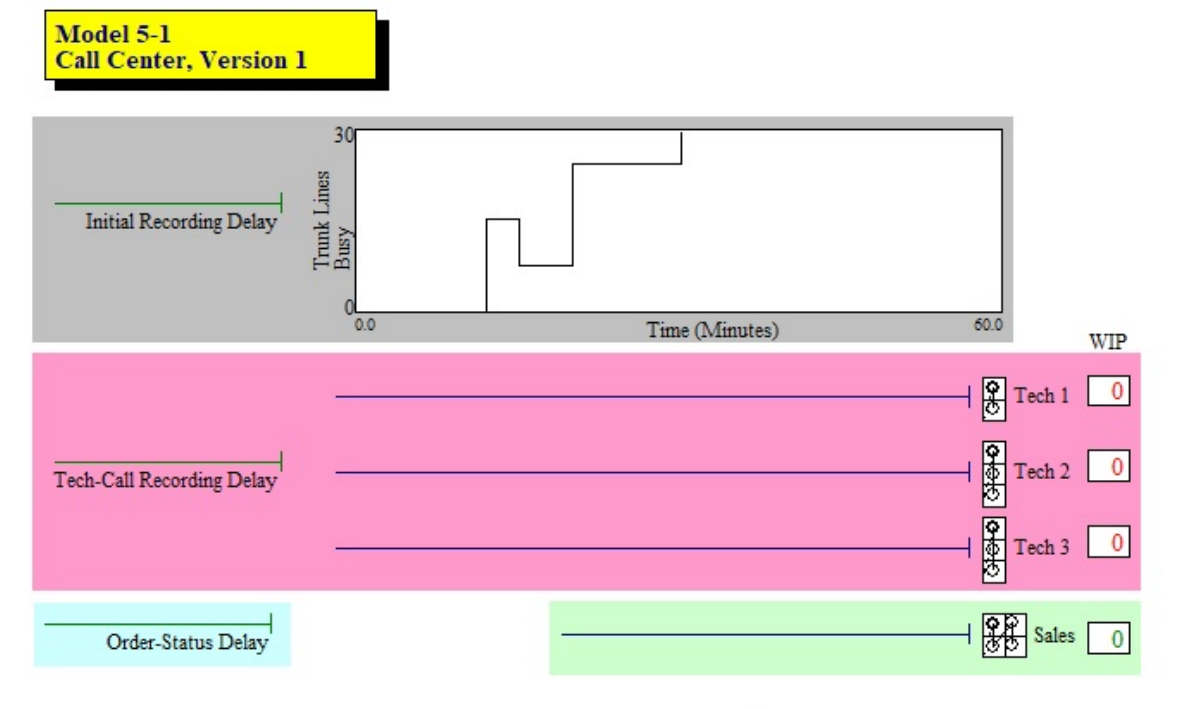


Figure 37: Exemple of a possible animation