



المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية بتطوان
+ⵍⵉⵎⵉⵏⵉⵔⵉⵏⵉⵙⵉⵔⵉⵏⵉⵙⵉⵔⵉⵏⵉⵙⵉⵔⵉⵏ
Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Tétouan

R A P P O R T :

**MODÉLISATION DES
OPÉRATIONS D'APM
TERMINALS MEDPORT TANGIER
AVEC ARENA SOFTWARE**

HATIM BOUCHOUK

ROFAIDA MAROUAN

MALAK MESTINI

MOHAMED ANASS KARBAS

MEMBRES DE GROUPE



ROFAIDA MAROUAN



MALAK MESTINI



HATIM BOUCHOUK



**MOHAMED ANASS
KARBAS**

Table des matières

Table des matières	3
Table des figures	4
Introduction	5
Objectifs de l'Étude	6
1. Objectifs spécifiques :	6
2. Indicateurs clés de succès :	6
Description du Système	7
Modélisation dans Arena	8
Analyse des KPI	13
1. Les files d'attentes :	13
a. Temps d'attente moyen (Average) :	13
b. Largeur de demi-intervalle (Half Width) :	14
c. Valeurs minimales et maximales :	14
• KPIs et Recommandations	14
2. Le nombre d'attentes :	15
a. Nombre moyen d'entités en attente (Average)	15
b. Largeur de demi-intervalle (Half Width)	16
c. Valeurs minimales et maximales	16
• KPIs et Recommandations	17
3. Le temps d'usage des ressources :	18
a. Utilisation Instantanée (Instantaneous Utilization)	18
b. Nombre d'Entités Occupées (Number Busy)	19
c. Nombre d'Entités Planifiées (Number Scheduled)	19
• KPIs et Recommandations	19
Conclusion	21
Annexe	22



Table des figures

Figure 1 : Modèle ARENA8

Figure 2 : Table des distances 110

Figure 3 : Table des distances 211

Figure 4 : Table des distances 312

Figure 5 : Table des distances 412

Figure 6 : Queue Waiting time13

Figure 7 : Queue number waiting15

Figure 8 : Ressources utilization18



Introduction

APM Terminals MedPort Tangier, situé dans le port stratégique de Tanger Med, joue un rôle essentiel dans le commerce maritime international. En tant que terminal de classe mondiale, il gère chaque année des millions de conteneurs, constituant ainsi un maillon clé des chaînes logistiques globales. Cependant, l'augmentation constante du volume de conteneurs et la complexité croissante des opérations présentent des défis importants, notamment l'optimisation des ressources et la gestion des délais.

Dans un contexte où les exigences en matière de rapidité, d'efficacité et de compétitivité ne cessent de croître, il devient impératif de modéliser les processus opérationnels. Cette modélisation permet d'identifier les goulots d'étranglement, d'évaluer les performances actuelles et de proposer des améliorations pour maximiser l'efficacité globale. Parmi les processus concernés figurent l'arrivée des navires, le déchargement et le chargement, le stockage, les inspections douanières, et l'expédition des conteneurs.

L'objectif principal de cette étude est d'utiliser le logiciel Arena pour simuler et analyser les opérations d'APM Terminals MedPort Tangier. Cette approche vise à :

- Optimiser l'utilisation des ressources portuaires telles que les grues, les quais, et les zones de stockage.
- Réduire les temps d'attente des navires et des conteneurs.
- Identifier les goulots d'étranglement et proposer des solutions concrètes pour les éliminer.
- Améliorer l'efficacité opérationnelle tout en réduisant les coûts associés.

En synthèse, ce rapport vise à offrir une analyse approfondie et des recommandations pratiques pour renforcer la performance des opérations d'APM Terminals, assurant ainsi une gestion plus fluide et efficace des flux logistiques.



Objectifs de l'Étude

L'objectif principal de cette étude est de proposer une approche méthodique pour analyser et optimiser les opérations d'APM Terminals MedPort Tangier à l'aide du logiciel Arena. Cette démarche s'appuie sur la modélisation des processus clés afin d'identifier les points faibles et d'améliorer la performance globale du terminal.

1. Objectifs spécifiques :

□ Modélisation des processus opérationnels :

Représenter les étapes clés des opérations, telles que l'arrivée des navires, le déchargement, le stockage, les inspections douanières, et l'expédition des conteneurs.

□ Analyse des performances :

Étudier des paramètres comme les temps d'attente des navires et des conteneurs, l'utilisation des grues, et les délais liés aux contrôles douaniers.

□ Identification des goulots d'étranglement :

Détecter les processus qui limitent l'efficacité globale et analyser leur impact sur les performances du terminal.

□ Optimisation des ressources :

Proposer des solutions concrètes pour maximiser l'utilisation des infrastructures et équipements, réduire les coûts et améliorer la capacité de traitement.

2. Indicateurs clés de succès :

□ **Taux d'utilisation des ressources** : Mesurer l'efficacité d'exploitation des grues, des quais, et des zones de stockage.

□ **Réduction des délais** : Évaluer le temps moyen de traitement des conteneurs et les temps d'attente des navires.

□ **Nombre de conteneurs traités** : Suivre l'évolution du volume quotidien de conteneurs gérés.

□ **Réduction des coûts** : Quantifier les économies réalisées grâce aux solutions proposées.



Description du Système

- Le modèle propose une simulation détaillée et précise des opérations portuaires pour gérer les flux de conteneurs, depuis l'arrivée des navires jusqu'à leur expédition. À leur arrivée, modélisée par une distribution exponentielle (expo (6) heures), les navires transportent un nombre de conteneurs défini aléatoirement (AINT (unif (80,120))). Les emplacements au quai (capacité : 1 par quai) sont réservés, et les grues (1 par quai) déchargent les conteneurs en un temps uniforme entre 30 et 45 minutes. Une variable, **RemainingContainersQ**, suit le nombre de conteneurs restants à décharger. Une fois tous les conteneurs déchargés, le navire libère son emplacement et quitte le port.
- Les conteneurs sont alors triés selon leur destination. Ceux destinés au transit ou au stockage sont transportés par des camions circulant à une vitesse de 4,5 m/s. Les zones de stockage (initialement 80 unités par zone) accueillent les conteneurs avec un temps de stockage distribué par Tria (10,20,40) heures. À chaque étape, les niveaux d'inventaire et les capacités des zones sont mis à jour. Lorsque les conteneurs sont prêts, ils sont transportés vers la zone douanière. Là, deux inspecteurs procèdent à leur traitement, avec une capacité maximale de 25 unités et un temps de traitement Norm (4,0.5) heures. Une fois cette étape terminée, les conteneurs sont expédiés depuis la zone de dispatch.
- Le modèle inclut la gestion des pannes des grues (MTBF = expo (1000) heures, MTTR = Norm (4,1) heures), ainsi qu'une allocation optimisée des ressources (grues, camions, zones de stockage). Grâce à un suivi précis des variables clés, telles que **CapacityZone** et **InventoryLevel**, le modèle simule un flux logistique fluide et efficace tout en tenant compte des contraintes réelles du système portuaire.



Modélisation dans Arena

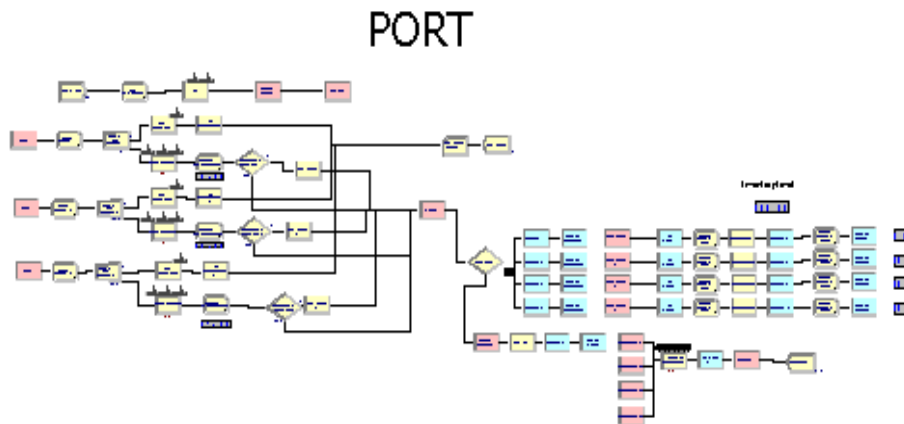


Figure 1 : Modèle ARENA

- **Create** : Arrivée des navires (ship arrival) expo (6) heures ;
- **Assign** : -Nombre de conteneurs AINT (unif (80,120)) ;
- **Seize** : Réserver emplacement ; Ressources : Set → Emplacements (1 emplacement pour chaque quai) ;
- **Station** : beginning station ;
- **PickStation** : basée sur le nombre dans les queues (queues de déchargement) et le nombre en route de station – route time = 30 minutes ;
- **Station** : Quai (quai 1(Dechargement1.Queue) – quai 2(Dechargement2.Queue) – quai 3(Dechargement3.Queue)) ;
- **Assign** : (Variable) RemainingContainersQ = ContainerNbr (Attribut) ;
- **Separate**: Separer Ship Container / originale goes to Hold for signal (All Containers Decharges) / Duplicate (ContainerNbr) goes to Process (Dechargement)
- **Hold**: Ship Decharging (wait for signal);
- **Release** : free emplacement (liberer les emplacement)
- **Dispose** : Ship Leaved
- **Process** : Déchargement (Dechargement1 -Dechargement2 – Dechargement3)
ressource : grue, temps de process : unif (30,45)
- **Assign** : RemainingContainersQ = RemainingContainersQ -1 (décrémentation)
- **Decide**: All Containers Decharges -> if RemainingContainersQ =0
 - If true:
 - **Signal**: Ship finished (Hold opened)
 - If false:
 - Station Transit
- **Decide**: which zone: capacityzone(i) >0
 - If true:
 - **Request** : truck de vitesse 4.5 m/secondes
 - **Transport** : (Road to zonestock1) truck de vitesse 4.5 m/secondes
 - **Station** : (zone de stock i) ;

- **Free:** Truck;
 - **Assign:** (update inventory level1): **(Variable):** inventory level = inventory level+1; **(Variable):** capacityzone(i)= capacityzone(i)-1;
 - **Delay:** (stockingtimei) delaitime= Tria (10,20,40) hours;
 - **Request :** truck de Vitesse 4.5 mètre /secondes ;
 - **Assign:** (Update inventory Level i): **(Variable):** inventorylevel = inventorylevel-1; **(Variable):** Capacityzone(i) = capacityzone(i)+1;
 - **Transport:** (Road to douane) truck
 - **Station :** (ZoneDouanierei) ;
 - **Process :** (Process de Douanement) : ressource : deux inspecteurs, capacité : 25 ; Norm (4,0.5) Heures
 - **Free :** (Free truck) ;
 - **Station :** Dispatch : (ou il aura l'expédition) ;
 - **Dispose** (Expédition) ;
- ✓ If false:
- **Station:** (Stationdattente);
 - **Hold:** (Hold FdA):
 - Capacityzone1 > 0 ou capacityzone2 > 0 ou capacityzone3 > 0 ou capacityzone4 > 0
 - **Request :** truck de Vitesse 4.5 mètre / minutes ;
 - **Transport :** (road to transit) truck ; (transport va déplacer les conteneurs qui sont dans la zone d'attente à la zone de transit) ;

Ressources

- **Grue 1 :** capacity=1 ;
- **Grue 2 :** capacity=1 ;
- **Grue 3:** capacity=1 ;
- **Quai_Emplacement1 :** capacity = 1;
- **Quai_Emplacement2 :** capacity = 1;
- **Quai_Emplacement3 :** capacity = 1;
- **Inspector:** capacity =25;

Ressources SET

- **Emplacements** (3 rows : Quai_Emplacement1 ; Quai_Emplacement2, Quai_Emplacement3) ;

Variable

- **Inventorylevel:** (initial value=0)
- **Capacityzone (1,2,34) :** (initiale value=80) ;
- **RemainingContainersQ** (1,2,3)



Failures

- **Failure 1 (liée aux grues) :** MTBF = expo (1000) hrs
MTTR = Norm (4,1) hrs

Transporter

- **Truck:** number of unit =2000; velocity = 4.5metres per seconds; initial position: transit

Distances

Stations			
	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	transit	zonestock1	600
2	transit	zonestock2	600
3	transit	zonestock3	600
4	transit	zonestock4	600
5	transit	stationattente	600
6	transit	ZoneDouaniere1	1000
7	transit	ZoneDouaniere2	1000
8	transit	ZoneDouaniere3	1000
9	transit	ZoneDouaniere4	1000
10	transit	dispatch	1200
11	zonestock1	zonestock2	200
12	zonestock1	zonestock3	200
13	zonestock1	zonestock4	200
14	zonestock1	stationattente	600
15	zonestock1	ZoneDouaniere1	600
16	zonestock1	ZoneDouaniere2	600
17	zonestock1	ZoneDouaniere3	600
18	zonestock1	ZoneDouaniere4	600
19	zonestock1	dispatch	800
20	zonestock1	transit	600
21	zonestock2	transit	600
22	zonestock2	zonestock1	200
23	zonestock2	zonestock3	200
24	zonestock2	zonestock4	200
25	zonestock2	stationattente	600
26	zonestock2	ZoneDouaniere1	600
27	zonestock2	ZoneDouaniere2	600
28	zonestock2	ZoneDouaniere3	600
29	zonestock2	ZoneDouaniere4	600
30	zonestock2	dispatch	800

Figure 2 : Table des distances 1

	Beginning Station	Ending Station	Distance
31	zonestock3	transit	600
32	zonestock3	zonestock1	200
33	zonestock3	zonestock2	200
34	zonestock3	zonestock4	200
35	zonestock3	stationattente	600
36	zonestock3	ZoneDouaniere1	600
37	zonestock3	ZoneDouaniere2	600
38	zonestock3	ZoneDouaniere3	600
39	zonestock3	ZoneDouaniere4	600
40	zonestock3	dispatch	800
41	zonestock4	transit	600
42	zonestock4	zonestock1	200
43	zonestock4	zonestock2	200
44	zonestock4	zonestock3	200
45	zonestock4	stationattente	600
46	zonestock4	ZoneDouaniere1	600
47	zonestock4	ZoneDouaniere2	600
48	zonestock4	ZoneDouaniere3	600
49	zonestock4	ZoneDouaniere4	600
50	zonestock4	dispatch	800
51	stationattente	transit	600
52	stationattente	zonestock1	600
53	stationattente	zonestock2	600
54	stationattente	zonestock3	600
55	stationattente	zonestock4	600
56	stationattente	ZoneDouaniere1	600
57	stationattente	ZoneDouaniere2	600
58	stationattente	ZoneDouaniere3	600
59	stationattente	ZoneDouaniere4	600
60	stationattente	dispatch	800

Figure 3 : Table des distances 2

	Beginning Station	Ending Station	Distance
61	ZoneDouaniere1	transit	1000
62	ZoneDouaniere1	zonestock1	600
63	ZoneDouaniere1	zonestock2	600
64	ZoneDouaniere1	zonestock3	600
65	ZoneDouaniere1	zonestock4	600
66	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere2	200
67	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere3	200
68	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere4	200
69	ZoneDouaniere1	stationattente	600
70	ZoneDouaniere1	dispatch	200
71	ZoneDouaniere2	transit	1000
72	ZoneDouaniere2	zonestock1	600
73	ZoneDouaniere2	zonestock2	600
74	ZoneDouaniere2	zonestock3	600
75	ZoneDouaniere2	zonestock4	600
76	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere1	200
77	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere3	200
78	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere4	200
79	ZoneDouaniere2	dispatch	200
80	ZoneDouaniere2	stationattente	600
81	ZoneDouaniere3	transit	1000
82	ZoneDouaniere3	zonestock1	600
83	ZoneDouaniere3	zonestock2	600
84	ZoneDouaniere3	zonestock3	600
85	ZoneDouaniere3	zonestock4	600
86	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere1	200
87	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere2	200
88	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere4	200
89	ZoneDouaniere3	stationattente	600
90	ZoneDouaniere3	dispatch	200

Figure 4 : Table des distances 3

91	ZoneDouaniere4	transit	1000
92	ZoneDouaniere4	zonestock1	600
93	ZoneDouaniere4	zonestock2	600
94	ZoneDouaniere4	zonestock3	600
95	ZoneDouaniere4	zonestock4	600
96	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere1	200
97	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere2	200
98	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere3	200
99	ZoneDouaniere4	stationattente	600
100	ZoneDouaniere4	dispatch	200
101	dispatch	transit	1200
102	dispatch	zonestock1	800
103	dispatch	zonestock2	800
104	dispatch	zonestock3	800
105	dispatch	zonestock4	800
106	dispatch	ZoneDouaniere1	200
107	dispatch	ZoneDouaniere2	200
108	dispatch	ZoneDouaniere3	200
109	dispatch	ZoneDouaniere4	200
110	dispatch	stationattente	800

Figure 5 : Table des distances 4

Analyse des KPI

1. Les files d'attentes :

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Dechargement1.Queue	29.0128	(Insufficient)	0.00	71.1419
Dechargement2.Queue	28.0312	(Insufficient)	0.00	64.0127
Dechargement3.Queue	26.0890	(Insufficient)	0.00	63.9150
FdA.Queue	36.2877	(Insufficient)	0.00	83.1569
Process de Douanement1.Queue	22.4062	(Correlated)	0.00	48.7782
Request 1.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Request 2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 7.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Request 8.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ship Decharging1.Queue	62.4803	(Insufficient)	53.2713	71.6893
Ship Decharging2.Queue	61.4669	(Insufficient)	58.1983	64.7355
Ship Decharging3.Queue	57.9504	(Insufficient)	51.3774	64.5234

Figure 6 : Queue Waiting time

a. Temps d'attente moyen (Average) :

• Déchargement :

- Dechargement1.Queue, Dechargement2.Queue, Dechargement3.Queue : Les temps moyens (28-30 heures) montrent une répartition équilibrée entre les grues. Cela indique une gestion uniforme des charges de travail.
- FdA.Queue (File d'Attente) : Temps moyen légèrement plus élevé (36 heures). Cela pourrait être dû à une ressource plus limitée ou à des processus en aval plus complexes.

• Processus de Douanement :

- Temps moyen de 22.40 heures : Ce délai est modéré, mais il pourrait devenir un goulot d'étranglement si les ressources d'inspection sont insuffisantes.

• Ship Decharging :

- Temps moyens élevés (57.95 à 62.48 heures) pour les files Ship Decharging1.Queue, Ship Decharging2.Queue, Ship Decharging3.Queue.
- Cela reflète une saturation au niveau des grues ou des lenteurs dans les traitements.

• Request/Reserver :

- Temps d'attente nul pour Request1.Queue et les autres étapes de réservation, ce qui indique une ressource suffisante ou un flux optimisé.

b. Largeur de demi-intervalle (Half Width) :

Pour la majorité des files, la largeur de demi-intervalle est insuffisante, sauf pour Process de Douanement1.Queue (corrélée).

Cela signifie que les résultats ne sont pas encore statistiquement robustes.

- **Recommandation :**

- Augmenter la durée de simulation ou multiplier les itérations pour obtenir des intervalles de confiance fiables.

c. Valeurs minimales et maximales :

- **Déchargement :**

- Valeurs maximales proches (63.91 à 71.14 heures), avec des minimums nuls, montrant une constance mais aussi des périodes sans attente.

- **Ship Decharging :**

- Temps maximum élevé (71.68 heures pour Ship Decharging1.Queue) avec des minimums non nuls (53 à 58 heures). Cela met en lumière une saturation récurrente.

- **Processus de Douanement :**

- Valeur maximale de 48.77 heures. Bien que modérée, cela peut devenir critique si d'autres étapes en aval créent un engorgement.

- **Request/Reserver :**

- Valeurs nulles (min et max), confirmant l'absence d'obstacles majeurs à ces étapes.

KPIs et Recommandations

1. Taux d'utilisation des ressources :

Les longues files pour Ship Decharging (temps moyen > 60 heures) indiquent une possible sous-dimension des grues ou un manque d'efficacité dans leur utilisation.

Recommandation :

- Répartir les opérations entre un plus grand nombre de grues.
- Optimiser les horaires pour éviter les surcharges.

2. Équilibrage des flux :

Les écarts entre les temps d'attente des étapes de déchargement, douanement, et FdA.Queue montrent un déséquilibre.

Recommandation :

- Introduire des mécanismes de priorisation.
- Renforcer la coordination entre les différentes étapes pour équilibrer les flux.

3. Qualité des données (Half Width) :

La largeur de demi-intervalle insuffisante nécessite davantage de données.



Recommandation :

- Étendre la durée de la simulation.
- Collecter davantage de données pour une analyse statistique robuste.

4. Capacité de traitement globale :

Les longues attentes des navires dans les files Ship Decharging limitent la capacité totale du terminal à traiter plus de navires quotidiennement.

Recommandation :

- Investir dans des grues plus rapides ou des infrastructures supplémentaires.
- Mettre en place un système de gestion des files d'attente pour optimiser les délais.

2. Le nombre d'attentes :

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Dechargement1.Queue	56.8399	(Insufficient)	0.00	116.00
Dechargement2.Queue	48.5879	(Insufficient)	0.00	100.00
Dechargement3.Queue	43.8982	(Insufficient)	0.00	102.00
FdA.Queue	7.9830	(Insufficient)	0.00	19.0000
Hold FdA.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Process de Douanement1.Queue	90.0253	(Correlated)	0.00	232.00
Request 1.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 10.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 3.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 4.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 7.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 8.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 9.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ship Decharging1.Queue	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
Ship Decharging2.Queue	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
Ship Decharging3.Queue	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000

Figure 7 : Queue number waiting

a. Nombre moyen d'entités en attente (Average)**• Déchargement :**

- Dechargement1.Queue : Moyenne élevée de 56.83 conteneurs en attente, avec un maximum de 116 conteneurs. Cela peut indiquer une surcharge au niveau de cette file, nécessitant une optimisation ou un rééquilibrage.
- Dechargement2.Queue et Dechargement3.Queue : Moyennes respectives de 48.59 et 43.89 conteneurs, avec des maximums de 100 et 102 conteneurs. Ces valeurs montrent

une charge modérée mais significative, bien que légèrement inférieure à celle de Dechargement1.Queue.

- FdA.Queue (File d'Attente) : Moyenne de 7.98 conteneurs, ce qui est relativement faible en comparaison des files de déchargement. Cela suggère une capacité suffisante à cette étape.
- Hold FdA.Queue : Aucune entité en attente (valeurs nulles), indiquant une fluidité totale dans cette étape.
- **Processus de Douanement :**
 - Moyenne élevée de 90 conteneurs en attente, avec un maximum atteignant 232 conteneurs. Cela indique un goulot d'étranglement important au niveau des contrôles douaniers.
- **Ship Decharging :**
 - Les files d'attente associées (Ship Decharging1.Queue, Ship Decharging2.Queue, Ship Decharging3.Queue) présentent des moyennes très faibles (inférieures à 1 conteneur), avec des maximums de 1 conteneur. Cela indique une bonne gestion des navires à cette étape.
- **Request/Reserver :**
 - Toutes les files Request1.Queue à Request9.Queue présentent des moyennes nulles, confirmant que ces étapes ne posent aucun problème de file d'attente.

b. Largeur de demi-intervalle (Half Width)

La majorité des demi-intervalles sont indiqués comme insuffisants, sauf pour le Process de Douanement1.Queue (corrélé).

Cela signifie que les résultats ne sont pas encore statistiquement significatifs.

- **Recommandation :**
 - Augmenter la durée de la simulation ou le nombre d'itérations pour améliorer la précision des résultats.

c. Valeurs minimales et maximales

- **Déchargement :**
 - Dechargement1.Queue atteint un maximum de 116 conteneurs, contre 100 et 102 pour les files Dechargement2.Queue et Dechargement3.Queue. Ces valeurs montrent une charge significative et une gestion qui pourrait être améliorée.
 - FdA.Queue a un maximum de 19 conteneurs, ce qui reste maîtrisé.
 - Hold FdA.Queue a des valeurs minimales et maximales nulles, confirmant l'absence d'attente.
- **Processus de Douanement :**



- Valeur maximale de 232 conteneurs, ce qui est très élevé et reflète un potentiel goulot d'étranglement critique.
- **Ship Decharging :**
 - Les valeurs maximales sont très faibles (1 conteneur), montrant une bonne fluidité dans le traitement à cette étape.
- **Request/Reserver :**
 - Toutes les valeurs (minimales et maximales) sont nulles, confirmant une absence totale de charge ou d'attente.

KPIs et Recommandations

1. **Taux d'utilisation des ressources au niveau du déchargement :**
 - Dechargement1.Queue est significativement plus saturée que les autres files.
 - **Recommandation :** Répartir les conteneurs de manière plus équilibrée entre les grues, en ajustant les priorités ou les ressources.
2. **Optimisation des contrôles douaniers :**
 - Le Process de Douanement1.Queue est clairement un goulot d'étranglement majeur (90 conteneurs en moyenne, maximum de 232).
 - **Recommandation :**
 - Augmenter les ressources allouées aux contrôles douaniers (inspecteurs, postes de contrôle).
 - Mettre en place des outils d'automatisation pour accélérer le traitement des conteneurs.
3. **Qualité des données (Half Width) :**
 - La largeur de demi-intervalle insuffisante reflète une incertitude dans les résultats.
 - **Recommandation :** Prolonger la durée de simulation ou augmenter les itérations pour améliorer la robustesse des données.
4. **Capacité de traitement globale :**
 - Les faibles moyennes dans Ship Decharging et les étapes de Request/Reserver montrent une bonne fluidité.
 - **Recommandation :** Maintenir ces processus tels quels tout en surveillant les performances pour éviter une détérioration.



3. Le temps d'usage des ressources : Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue2	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue3	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000
inspector	0.7993	(Insufficient)	0.00	0.9600
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai2_Emplacement	0.8959	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai3_Emplacement	0.9979	(Insufficient)	0.00	1.0000

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue2	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue3	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000
inspector	19.9818	(Insufficient)	0.00	24.0000
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai2_Emplacement	0.8959	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai3_Emplacement	0.9979	(Insufficient)	0.00	1.0000

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
grue2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
grue3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
inspector	25.0000	(Insufficient)	25.0000	25.0000
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Quai2_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Quai3_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Figure 8 : Ressources utilization

a. Utilisation Instantanée (Instantaneous Utilization)

- **Grues :**
 - Grue1 : Moyenne de 0.9911 (99.11%), très proche de la capacité maximale (1.0). Cela indique une saturation presque complète.
 - Grue2 : Moyenne de 0.9889 (98.89%), également saturée.
 - Grue3 : Moyenne de 0.8869 (88.69%), légèrement moins utilisée que les deux autres, ce qui peut indiquer un déséquilibre dans la répartition des charges.
- **Inspecteur :**
 - Moyenne d'utilisation de 0.7993 (79.93%), avec un maximum de 96%. Bien que l'inspecteur ne soit pas saturé, il reste fortement sollicité.
- **Quais :**
 - Quai1_Emplacement et Quai3_Emplacement : Utilisation moyenne de 1.0 (100%), indiquant une saturation complète.

- Quai2_Emlacement : Moyenne de 0.8959 (89.59%), montrant une charge légèrement inférieure mais toujours élevée.

b. Nombre d'Entités Occupées (Number Busy)

- **Grues :**

- Grue1 et Grue2 : Moyennes identiques à 0.9911 et 0.9889, confirmant leur saturation.
- Grue3 : Moyenne de 0.8869, reflétant sa moindre utilisation par rapport aux deux premières.

- **Inspecteur :**

- Moyenne de 19.9818 entités occupées avec un maximum de 24, ce qui indique une forte charge au niveau des contrôles douaniers.

- **Quais :**

- Quai1_Emlacement et Quai3_Emlacement : Toujours occupés en moyenne (1.0, 100%), confirmant leur saturation totale.
- Quai2_Emlacement : Moyenne de 0.8959, montrant une utilisation élevée mais légèrement inférieure.

c. Nombre d'Entités Planifiées (Number Scheduled)

- **Grues et Quais :**

- Toutes les ressources (grues et quais) ont une moyenne de 1.0 (100%), indiquant qu'elles sont constamment planifiées et utilisées dans toutes les itérations de la simulation.

- **Inspecteur :**

- Moyenne de 25 entités planifiées, confirmant la disponibilité constante de l'inspecteur pour répondre à la demande.

KPIs et Recommandations

1. Utilisation des grues :

- o Les grues Grue1 et Grue2 sont presque entièrement saturées, tandis que Grue3 est légèrement moins utilisée.
- o Recommandation : Rééquilibrer la charge entre les grues en ajustant les priorités ou en redirigeant les tâches.

2. Saturation des quais :

- o Les quais Quai1_Emlacement et Quai3_Emlacement sont constamment occupés (100%), tandis que Quai2_Emlacement est légèrement moins sollicité.
- o **Recommandation :** Répartir les opérations de manière plus homogène entre les trois quais pour éviter les surcharges.

3. Charge de l'inspecteur :

- o Bien que l'inspecteur ne soit pas totalement saturé, sa charge moyenne de 79.93% est élevée.



- **Recommandation** : Ajouter un inspecteur supplémentaire ou optimiser les processus pour réduire la durée des contrôles.
- 4. **Qualité des données (Half Width)** :
 - Les largeurs de demi-intervalle insuffisantes reflètent un manque de précision dans les données.
 - **Recommandation** : Augmenter le nombre de répliques ou la durée de la simulation pour obtenir des résultats plus fiables.
- 5. **Capacité globale** :
 - La saturation des grues et des quais indique une limite dans la capacité du système.
 - **Recommandation** : Envisager un investissement dans des infrastructures supplémentaires (grues ou quais) pour augmenter la capacité totale.



Conclusion

Ce rapport a permis d'analyser en profondeur les opérations d'APM Terminals MedPort Tangier grâce à une modélisation détaillée réalisée avec le logiciel Arena. Les principaux résultats obtenus incluent :

- L'identification des goulots d'étranglement dans les processus opérationnels, notamment au niveau des délais liés aux inspections douanières et de l'utilisation des grues.
- L'évaluation des performances actuelles en termes de temps d'attente des navires, d'occupation des zones de stockage, et de traitement des conteneurs.
- Des propositions concrètes pour optimiser l'utilisation des ressources, réduire les délais, et améliorer la capacité globale de traitement.

Impact des recommandations :

Les solutions proposées, si mises en œuvre, peuvent avoir un impact significatif sur la performance globale du terminal, notamment :

- Une réduction notable des temps d'attente, favorisant une fluidité accrue des opérations.
- Une meilleure gestion des ressources portuaires, entraînant une diminution des coûts opérationnels.
- Une augmentation de la capacité de traitement, renforçant ainsi la compétitivité du terminal sur le marché mondial.

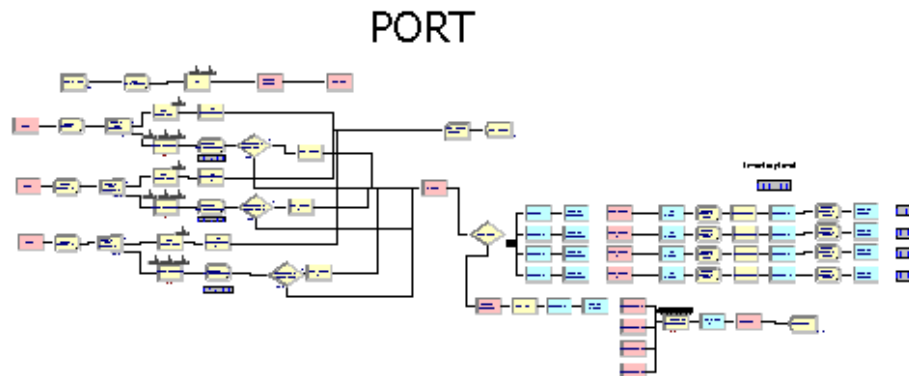
Perspectives pour des travaux futurs :

1. **Amélioration continue** : Mettre en place un suivi régulier des indicateurs de performance pour évaluer l'impact des changements et ajuster les processus en conséquence.
2. **Extension du modèle** :
 - Intégrer d'autres variables telles que les conditions météorologiques ou les perturbations logistiques externes.
 - Simuler des scénarios de croissance du volume de conteneurs pour anticiper les besoins futurs en infrastructures et équipements.
3. **Technologies innovantes** : Étudier l'impact potentiel des technologies comme l'IoT (Internet of Things) ou l'intelligence artificielle pour une gestion encore plus optimisée et automatisée des opérations portuaires.



Annexe

Le modèle :



Le temps d'attentes :

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Dechargement1.Queue	28.7570	(Insufficient)	0.00	70.5225
Dechargement2.Queue	29.6860	(Insufficient)	0.00	69.7888
Dechargement3.Queue	26.7067	(Insufficient)	0.00	59.9809
FdA.Queue	32.1654	(Insufficient)	0.00	70.8587
Process de	25.2178	(Correlated)	0.00	56.1429
Douanement1.Queue				
Request 1.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Request 7.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
reserver zone1.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Ship Decharging1.Queue	62.2794	(Insufficient)	53.4025	71.1563
Ship Decharging2.Queue	66.1725	(Insufficient)	62.0343	70.3108
Ship Decharging3.Queue	59.6221	(Insufficient)	58.6812	60.5631

Le nombre d'attentes :

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Dechargement1.Queue	56.8399	(Insufficient)	0.00	116.00
Dechargement2.Queue	48.5879	(Insufficient)	0.00	100.00
Dechargement3.Queue	43.8982	(Insufficient)	0.00	102.00
FdA.Queue	7.9830	(Insufficient)	0.00	19.0000
Hold FdA.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Process de	90.0253	(Correlated)	0.00	232.00
Douanement1.Queue				
Request 1.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 10.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 3.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 4.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 7.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 8.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 9.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ship Decharging1.Queue	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
Ship Decharging2.Queue	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
Ship Decharging3.Queue	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000

✚ Le nombre d'usage des ressources :

Usage

Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue2	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue3	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000
inspector	0.7993	(Insufficient)	0.00	0.9600
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai2_Emplacement	0.8959	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai3_Emplacement	0.9979	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	0.9911	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue2	0.9889	(Insufficient)	0.00	1.0000
grue3	0.8869	(Insufficient)	0.00	1.0000
inspector	19.9818	(Insufficient)	0.00	24.0000
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai2_Emplacement	0.8959	(Insufficient)	0.00	1.0000
Quai3_Emplacement	0.9979	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
grue1	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
grue2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
grue3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
inspector	25.0000	(Insufficient)	25.0000	25.0000
Quai1_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Quai2_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Quai3_Emplacement	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Les distances :

Stations			
	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	transit	zonestock1	600
2	transit	zonestock2	600
3	transit	zonestock3	600
4	transit	zonestock4	600
5	transit	stationattente	600
6	transit	ZoneDouaniere1	1000
7	transit	ZoneDouaniere2	1000
8	transit	ZoneDouaniere3	1000
9	transit	ZoneDouaniere4	1000
10	transit	dispatch	1200
11	zonestock1	zonestock2	200
12	zonestock1	zonestock3	200
13	zonestock1	zonestock4	200
14	zonestock1	stationattente	600
15	zonestock1	ZoneDouaniere1	600
16	zonestock1	ZoneDouaniere2	600
17	zonestock1	ZoneDouaniere3	600
18	zonestock1	ZoneDouaniere4	600
19	zonestock1	dispatch	800
20	zonestock1	transit	600
21	zonestock2	transit	600
22	zonestock2	zonestock1	200
23	zonestock2	zonestock3	200
24	zonestock2	zonestock4	200
25	zonestock2	stationattente	600
26	zonestock2	ZoneDouaniere1	600
27	zonestock2	ZoneDouaniere2	600
28	zonestock2	ZoneDouaniere3	600
29	zonestock2	ZoneDouaniere4	600
30	zonestock2	dispatch	800

	Beginning Station	Ending Station	Distance
31	zonestock3	transit	600
32	zonestock3	zonestock1	200
33	zonestock3	zonestock2	200
34	zonestock3	zonestock4	200
35	zonestock3	stationattente	600
36	zonestock3	ZoneDouaniere1	600
37	zonestock3	ZoneDouaniere2	600
38	zonestock3	ZoneDouaniere3	600
39	zonestock3	ZoneDouaniere4	600
40	zonestock3	dispatch	800
41	zonestock4	transit	600
42	zonestock4	zonestock1	200
43	zonestock4	zonestock2	200
44	zonestock4	zonestock3	200
45	zonestock4	stationattente	600
46	zonestock4	ZoneDouaniere1	600
47	zonestock4	ZoneDouaniere2	600
48	zonestock4	ZoneDouaniere3	600
49	zonestock4	ZoneDouaniere4	600
50	zonestock4	dispatch	800
51	stationattente	transit	600
52	stationattente	zonestock1	600
53	stationattente	zonestock2	600
54	stationattente	zonestock3	600
55	stationattente	zonestock4	600
56	stationattente	ZoneDouaniere1	600
57	stationattente	ZoneDouaniere2	600
58	stationattente	ZoneDouaniere3	600
59	stationattente	ZoneDouaniere4	600
60	stationattente	dispatch	800

	Beginning Station	Ending Station	Distance
61	ZoneDouaniere1	transit	1000
62	ZoneDouaniere1	zonestock1	600
63	ZoneDouaniere1	zonestock2	600
64	ZoneDouaniere1	zonestock3	600
65	ZoneDouaniere1	zonestock4	600
66	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere2	200
67	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere3	200
68	ZoneDouaniere1	ZoneDouaniere4	200
69	ZoneDouaniere1	stationattente	600
70	ZoneDouaniere1	dispatch	200
71	ZoneDouaniere2	transit	1000
72	ZoneDouaniere2	zonestock1	600
73	ZoneDouaniere2	zonestock2	600
74	ZoneDouaniere2	zonestock3	600
75	ZoneDouaniere2	zonestock4	600
76	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere1	200
77	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere3	200
78	ZoneDouaniere2	ZoneDouaniere4	200
79	ZoneDouaniere2	dispatch	200
80	ZoneDouaniere2	stationattente	600
81	ZoneDouaniere3	transit	1000
82	ZoneDouaniere3	zonestock1	600
83	ZoneDouaniere3	zonestock2	600
84	ZoneDouaniere3	zonestock3	600
85	ZoneDouaniere3	zonestock4	600
86	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere1	200
87	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere2	200
88	ZoneDouaniere3	ZoneDouaniere4	200
89	ZoneDouaniere3	stationattente	600
90	ZoneDouaniere3	dispatch	200
91	ZoneDouaniere4	transit	1000
92	ZoneDouaniere4	zonestock1	600
93	ZoneDouaniere4	zonestock2	600
94	ZoneDouaniere4	zonestock3	600
95	ZoneDouaniere4	zonestock4	600
96	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere1	200
97	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere2	zonestock4
98	ZoneDouaniere4	ZoneDouaniere3	200
99	ZoneDouaniere4	stationattente	600
100	ZoneDouaniere4	dispatch	200
101	dispatch	transit	1200
102	dispatch	zonestock1	800
103	dispatch	zonestock2	800
104	dispatch	zonestock3	800
105	dispatch	zonestock4	800
106	dispatch	ZoneDouaniere1	200
107	dispatch	ZoneDouaniere2	200
108	dispatch	ZoneDouaniere3	200
109	dispatch	ZoneDouaniere4	200
110	dispatch	stationattente	800