



Production Industrielle

Guilherme ESPINDOLA-WINCK

Enseignant-Chercheur (MCF) à Centrale Lille et
au CRISAL

Partie III : Simulation

3

Agenda

- Simulation de systèmes
 - Rappel statistique
 - Vérification et Validation de Modèle de Simulation
 - Interprétation des résultats de simulation
 - Mise en œuvre ARENA
 - Process Analyzer et OptQuest

Simulation de systèmes : rappel statistique

5

Rappel statistique

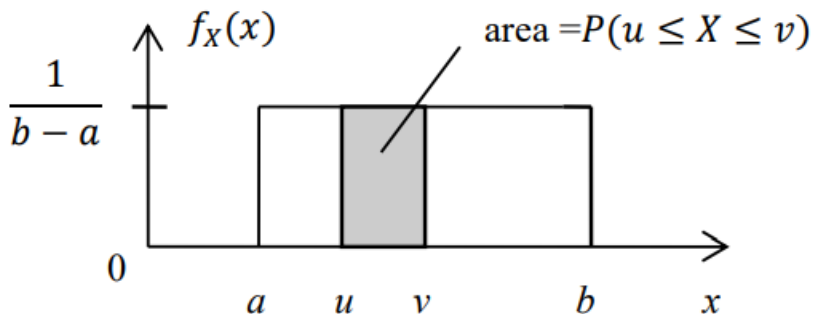
- Dans un système de production, de nombreux phénomènes sont aléatoires, tels que :
 - le temps de fonctionnement de l'opération manuelle,
 - la durée de vie de l'outil,
 - absence des opérateurs,
 - période d'arrivée des ordres de production pour commencer la production.
- Malgré les capacités des ordinateurs, il n'est pas réaliste de simuler toutes les déviations possibles dans de tels systèmes, ce qui fait des outils statistiques une alternative précieuse pour analyser et gérer les effets de ces variations aléatoires sur le comportement du système. La modélisation des systèmes aléatoires à événements discrets implique l'introduction d'imprévisibilité dans les événements à travers des moments d'occurrence d'événements aléatoires ou des transitions d'état d'événements aléatoires.
- La probabilité, permet de modéliser et d'étudier les phénomènes aléatoires, notamment les événements aléatoires, les variables aléatoires, les distributions de probabilité, etc.

Rappel statistique

- La simulation utilise essentiellement les résultats de la probabilité et des statistiques pour
- s'approcher des données empiriques en utilisant des distributions de probabilité,
 - fonctions intégrées dans le modèle de simulation (distributions de probabilité),
- interpréter statistiquement les données générées par le modèle,
 - moyenne, écart-type, intervalle de confiance, etc.

Rappel statistique

- La moyenne M est un paramètre de position qui donne des informations sur l'ordre de grandeur des valeurs prises par la variable aléatoire X . La variance σ^2 est une mesure de la dispersion de ces valeurs par rapport à leur moyenne. Plus la variance est petite (≥ 0), plus les valeurs prises par X sont concentrées autour de la moyenne.
- Variables aléatoires :
 - Continues : uniforme $[a,b] \rightarrow$ aucune information sauf le support de la distribution (équiprobable)

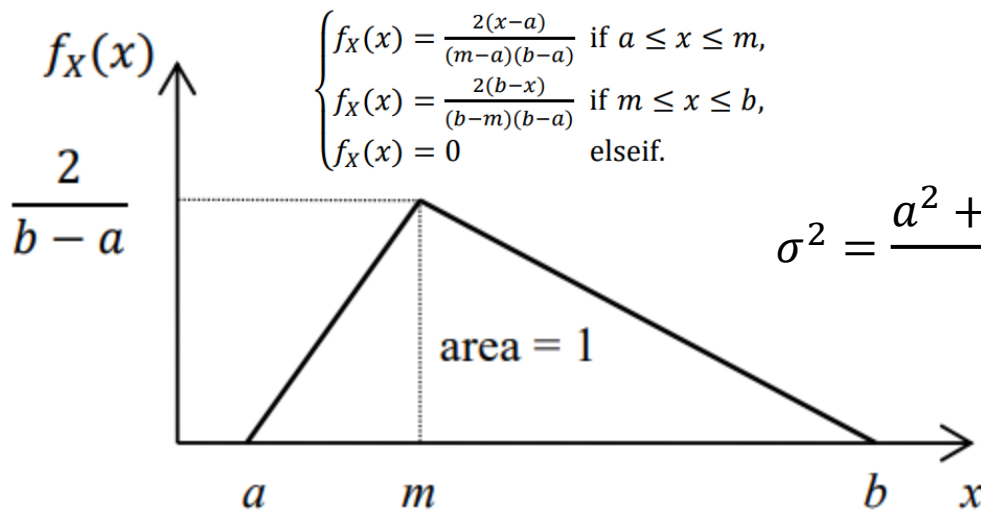


$$M = \frac{a + b}{2}$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{12}$$

Rappel statistique

- Variables aléatoires :
 - Continues : triangulaire $[a, b] \rightarrow$ lorsque nous avons une estimation du minimum, du maximum et de la valeur la plus probable.
 - Exercice : Soit $a=0$, $m=2$ et $b=3$, calculer $P(1 \leq X \leq 2.5)$



$$M = \frac{a + m + b}{3}$$

$$\sigma^2 = \frac{a^2 + m^2 + b^2 - am - ab - mb}{18}$$

Rappel statistique

$a=0, m=2$ et $b=3$

$$\begin{cases} f_X(x) = \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{if } a \leq x \leq m, \\ f_X(x) = \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{if } m \leq x \leq b, \\ f_X(x) = 0 & \text{elseif.} \end{cases}$$

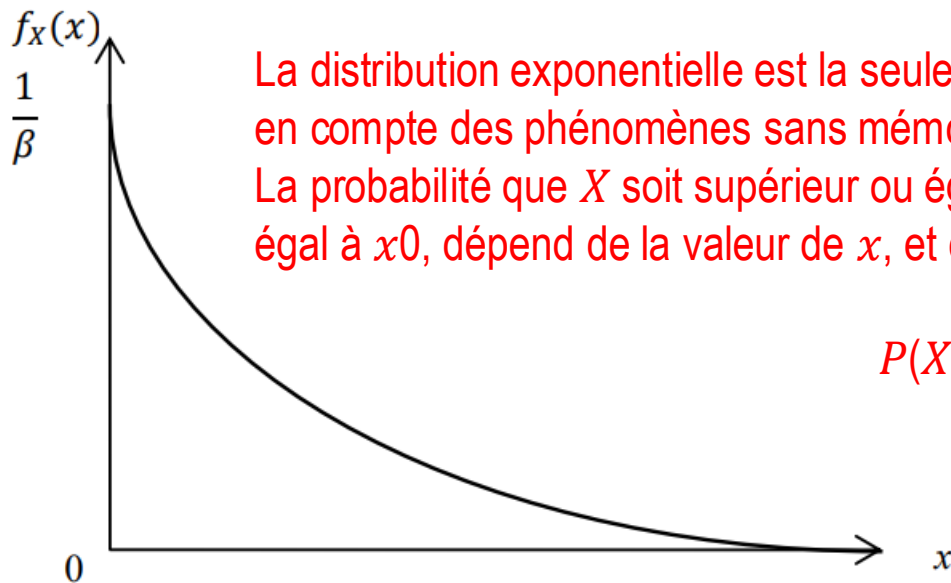
$$\forall m, n \in \mathbb{R}, P(m \leq X \leq n) = \int_m^n f_X(x) dx$$

$$\begin{aligned} P(1 \leq X \leq 2.5) &= \int_1^{2.5} f_X(x) dx = \\ &= \int_1^2 \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} dx + \int_2^{2.5} \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} dx = 0.75 \end{aligned}$$

Rappel statistique

- Variables aléatoires :

- Continues : exponentielle $[0, +\infty)$ → très utilisée en pratique. Par exemple : dans le cas de la période de temps entre les arrivées de 2 « clients » successifs (files d'attente)



La distribution exponentielle est la seule distribution continue qui permet de prendre en compte des phénomènes sans mémoire.

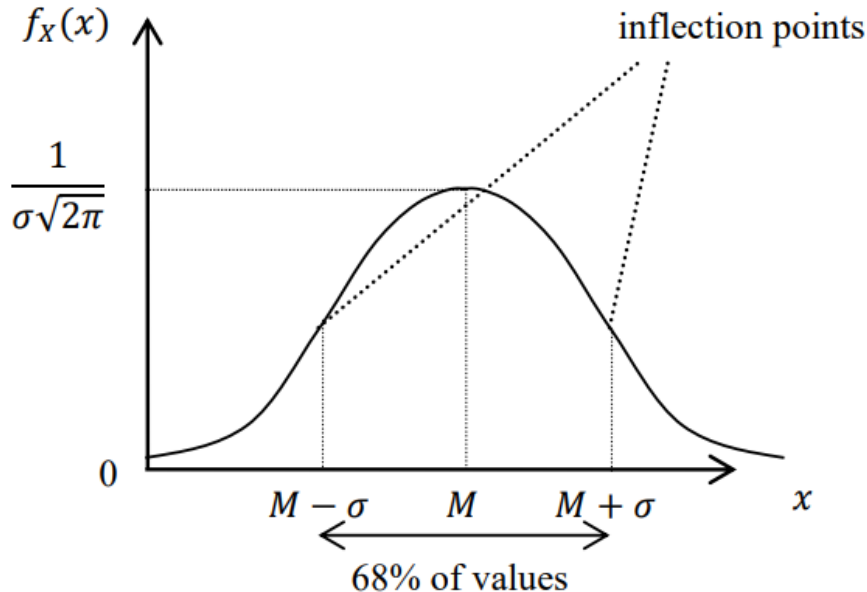
La probabilité que X soit supérieur ou égal à $x + x_0$, sachant que X est supérieur ou égal à x_0 , dépend de la valeur de x , et est indépendante de la valeur de x_0 :

$$P(X \geq x + x_0 \mid X \geq x_0) = P(X \geq x).$$

$$\begin{aligned} M &= \beta \\ \sigma^2 &= \beta^2 \end{aligned}$$

Rappel statistique

- Variables aléatoires :
 - Continues : normale $(-\infty, +\infty) \rightarrow$ utile pour caractériser des systèmes symétriques avec des estimations de moyenne et d'écart-type, ainsi que pour la modélisation de données qui sont le résultat de l'agrégation de nombreuses données aléatoires.

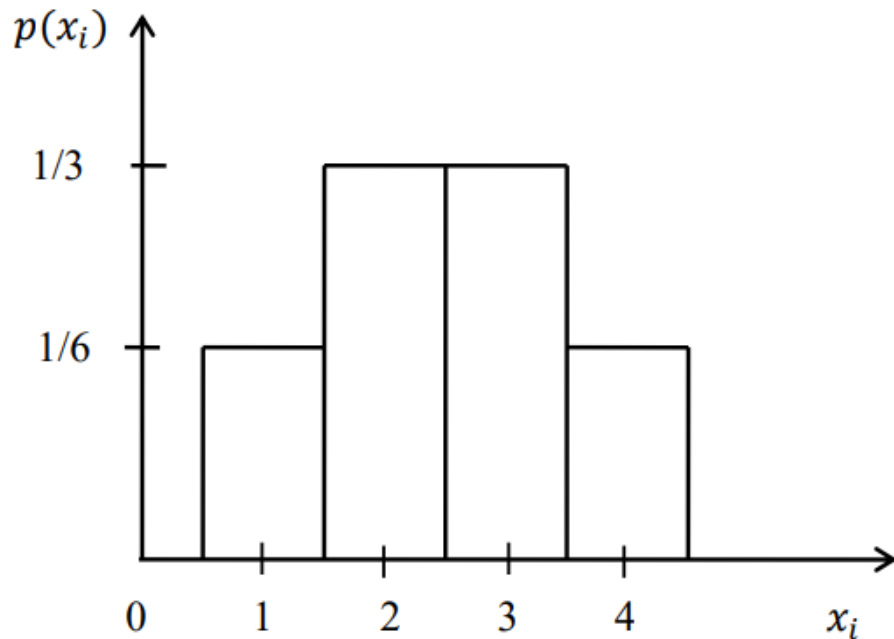


$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-M)^2/2\sigma^2}$$

$$\begin{aligned} M &= M \\ \sigma^2 &= \sigma^2 \end{aligned}$$

Rappel statistique

- Variables discrètes : histogramme → le cas de l'injection directe de données empiriques dans un modèle (par exemple : le type de pièces de travail, la taille des lots)



$$p_c(x_1) = \frac{1}{6}, p_c(x_2) = \frac{1}{2}, p_c(x_3) = \frac{5}{6}, p_c(x_4) = 1$$

$$M = \sum_{i=1}^N x_i p(x_i)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - M)^2 p(x_i)$$

Probabilité cumulative

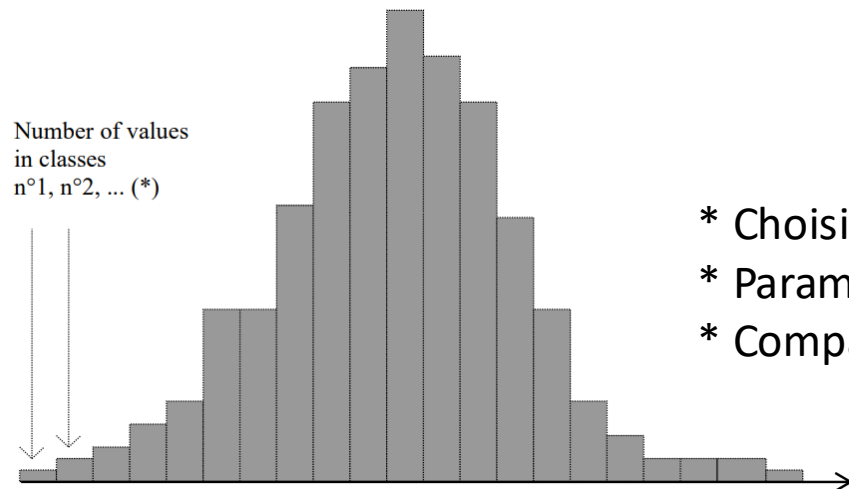
$$p_c(x_i) = \sum_{l=1}^i p(x_l)$$

Rappel statistique

- Sources de données : Système de production → cela peut concerner les temps inter-arrivées des pièces de travail, les temps de traitement, les temps de déplacement, les taux de rebut, les taux de demande, etc.
- 2 problèmes :
 - La collecte de données : quelles données ? Sont disponibles ? Sont nécessaires ? Comment les obtenir ?
 - Systèmes stochastiques : lire directement une base de données « empirique » ou utiliser une distribution « théorique » ?
- D'où viennent les données ?
 - Datasets (à demander) : problème de mise à jour
 - Observation : RH (erreurs, négligence des valeurs extrêmes et oubli du passé),
 - Systèmes similaires : faire attention aux inférences,
 - Informations fournies par le vendeur/concepteur (souvent optimistes).

Rappel statistique

- Les données sont : disponibles ou partiellement connues
- Disponibles :
 - Exemple : Temps de production d'une machine – nb d'observations 500
 - Mesurés en utilisant un chronomètre
 - Nb de classes (groupes d'observations) = $O(\sqrt{nb \text{ observations}})$
 - Supposons 21 classes de même longueur



REAL data
Mean = 5,02

Data pts =500
StdDev = 1,88

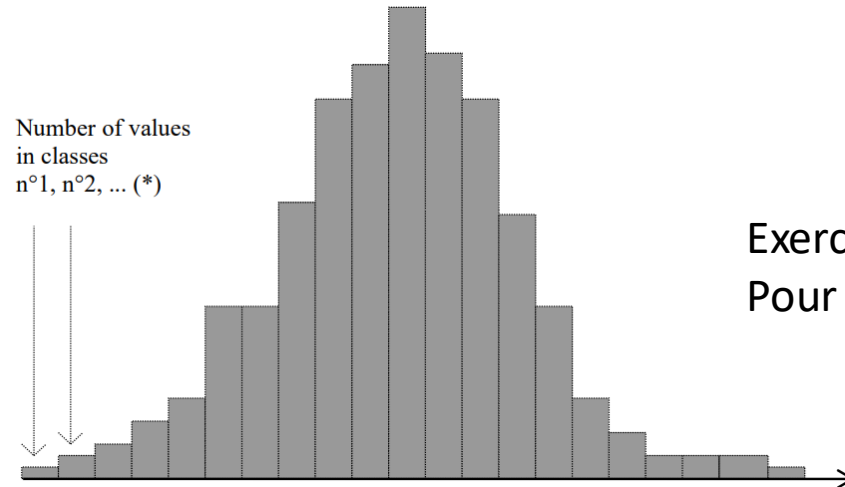
Intervals = 21
Min = -0,4531

Range: -1 to 12
Max = 11,3

- * Choisir une distribution : Normale
- * Paramètres ? : $M = 5,02$ et $\sigma = 1,88$
- * Comparer avec la distribution théorique

Rappel statistique

- Les données sont : disponibles ou partiellement connues
- Disponibles :
 - Exemple : Temps de production d'une machine – nb d'observations 500
 - Mesurés en utilisant un chronomètre
 - Nb de classes (groupes d'observations) = $O(\sqrt{nb \text{ observations}})$
 - Supposons 21 classes de même longueur



REAL data
Mean = 5,02

Data pts =500
StdDev = 1,88

Intervals = 21
Min = -0,4531

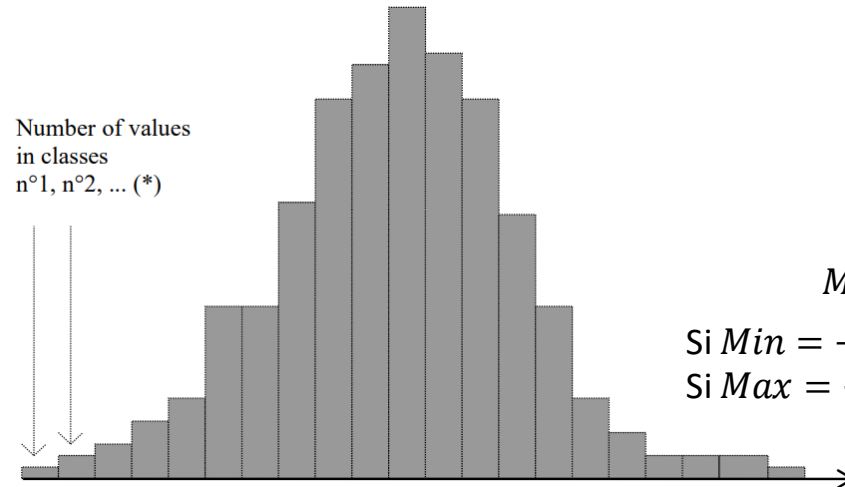
Range: -1 to 12
Max = 11,3

NORMAL DISTRIBUTION: NORM(5,02; 1,88)
Sq Error = 0,0008231

Exercice : Donner les valeurs de lb et ub
Pour $x \in Classe_n, 1 \leq n \leq 21 \Leftrightarrow lb \leq x \leq ub$

Rappel statistique

- Les données sont : disponibles ou partiellement connues
- Disponibles :
 - Exemple : Temps de production d'une machine – nb d'observations 500
 - Mesurés en utilisant un chronomètre
 - Nb de classes (groupes d'observations) = $O(\sqrt{nb \text{ observations}})$
 - Supposons 21 classes de même longueur



REAL data
Mean = 5,02

Data pts =500
StdDev = 1,88

Intervals = 21
Min = -0,4531

Range: -1 to 12
Max = 11,3

NORMAL DISTRIBUTION: NORM(5,02; 1,88)
Sq Error = 0,0008231

$$x \in \text{Classe}_n, 1 \leq n \leq 21 \Leftrightarrow$$
$$\text{Min} + (n - 1) \frac{\text{Max} - \text{Min}}{21} \leq x \leq \text{Min} + n \frac{\text{Max} - \text{Min}}{21}$$

Si $\text{Min} = -\infty$ donc il existe une classe $(-\infty, a]$

Si $\text{Max} = +\infty$ donc il existe une classe $[a, +\infty)$

Rappel statistique

- Les données sont : disponibles ou partiellement connues
- Partiellement connues (on n'a pas les données et donc on utilise des « estimations »)
 - On ne connaît que la moyenne M :
 - $\sigma \uparrow$: la variable est définie comme une constante = M
 - $\sigma \downarrow$: distribution exponentielle avec M si la nature du processus permet
 - On ne connaît que Min et Max :
 - « Valeurs » avec même probabilité : distribution uniforme
 - Les données sont centrées autour de $\frac{Min+Max}{2}$: distribution normale :
 - Taille des données conséquente $\rightarrow \sigma = \frac{Max-Min}{6}$
 - Sinon $\rightarrow \sigma = \frac{Max-Min}{4}$
 - On connaît Min , Max et M : distribution triangulaire

Vérification et validation de modèle

- Les modèles de simulation peuvent évoluer de manière significative au cours de leur développement.
 - Comment faire confiance au modèle ?
 - Comment le transmettre à l'utilisateur ?
 - Avant d'analyser le modèle (inférences des résultats statistiques), il est nécessaire de s'assurer qu'il représente bien le système
 - vérification et la validation

Vérification et validation de modèle

- Vérification :
 - Conseil général : commencer par un modèle simple et progressivement augmenter sa complexité
 - Le modèle doit se comporter comme prévu : il faut détecter et isoler les erreurs
 - Conseils :
 1. Hypothèse : il existe des erreurs
 2. Tests :
 - Remplacer les temps aléatoires par des constantes
 - tests modulaires
 - Conditions extrêmes :
 - Augmenter le taux d'arrivée pour créer une congestion
 - Réduire la taille des stocks pour créer des phénomènes de saturation,
 - Modifier la distribution des types de pièces pour augmenter l'arrivée de pièces de types moins fréquents.
 - augmenter le taux d'occurrence des pannes (moins fréquent)

Vérification et validation de modèle

- Vérification :
 - Conseil général : commencer par un modèle simple et progressivement augmenter sa complexité
 - Le modèle doit se comporter comme prévu : il faut détecter et isoler les erreurs
 - Conseils :
 4. Utiliser une animation
 5. Corriger les erreurs en identifiant les causes réelles et ne pas se contenter de traiter les symptômes (le raisonnement logique reste la meilleure approche).
 6. Évitez les erreurs classiques, notamment en ce qui concerne
 - l'acquisition des données d'entrée (unités de mesure)
 - L'initialisation du modèle de simulation,
 - les erreurs arithmétiques (parenthèses, conversion de type, etc.)

Vérification et validation de modèle

- Validation :
 - Le modèle représente-t-il correctement le système de production ?
 - Les données comportementales générées par le modèle sont-elles caractéristiques du système ?
 - L'utilisateur a-t-il confiance dans les résultats du modèle ?
 - Tests :
 1. Le comportement est-il raisonnable ?
 - Continuité : $u_j + \delta u_j$ implique $x_k + \delta x_k$ et $y_i + \delta y_i$ avec un petit δu_j
 - Cohérence : Exécutions presque identiques, par exemple lorsque le générateur aléatoire est modifié → résultats presque identiques.
 - Suppression d'un composant du modèle : Exemple : une machine est supprimée → effets sur les résultats
 - Conditions extrêmes : par exemple, un budget infini ne doit pas conduire à des ventes infinies

Vérification et validation de modèle

- Validation :
 - Le modèle représente-t-il correctement le système de production ?
 - Les données comportementales générées par le modèle sont-elles caractéristiques du système ?
 - L'utilisateur a-t-il confiance dans les résultats du modèle ?
 - Tests :
 2. Les théories et les hypothèses doivent être correctes et la représentation du modèle doit être adaptée à l'utilisation souhaitée.
 - Le comportement semble correct pour les utilisateurs familiarisés avec le système de production (logique, entrées-sorties)
 - Vérification de la structure et des limites : Correspondance entre le modèle conceptuel et le système de référence

Vérification et validation de modèle

- Validation :
 - Le modèle représente-t-il correctement le système de production ?
 - Les données comportementales générées par le modèle sont-elles caractéristiques du système ?
 - L'utilisateur a-t-il confiance dans les résultats du modèle ?
 - Tests :
 3. Etudier le comportement du modèle par rapport au système de référence
 - Tests statistiques pour comparer les résultats (Khi-deux, Kolmogorov-Smirnov, etc.).
 - Le modèle génère-t-il des difficultés déjà connues dans le système ?
 - Le modèle produit-il des résultats connus pour des entrées données ?
 - Anomalie de comportement : une anomalie dans le modèle peut-elle conduire à la découverte d'une anomalie équivalente dans le système (réel) ?
 - Prédiction du comportement : modèle vs tests du système.

Interprétation des résultats de simulation

- La simulation peut générer :
 - un rapport comprenant les moyennes, les écarts-types, les minimums et les maximums des variables observées, des variables observées, etc. (un historique de l'évolution de ces variables au cours de la simulation)
 - La qualité de la moyenne en tant qu'estimateur de la vraie moyenne dépend, entre autres, du nombre d'observations. De même, l'écart-type est biaisé pour un petit nombre d'observations.
 - Le rapport n'est pas suffisant pour tirer des conclusions crédibles sur les performances du système : il suffit de changer le générateur de nombres aléatoires, sans changer le modèle, pour obtenir des résultats différents.
- Une animation graphique n'est pas non plus suffisante.

Interprétation des résultats de simulation

- Les résultats agissent comme des mesures sur un échantillon. Ils doivent donc être utilisés pour effectuer des procédures statistiques. Chaque variable (inconnue) doit être associée à un intervalle de confiance.
 - L'intervalle de confiance $IC = [c_1, c_2]$ du paramètre inconnu λ est défini par 2 valeurs statistiques c_1, c_2 de sorte qu'il couvre la vraie valeur de λ avec une probabilité donnée $1 - \alpha$:

$$p(\lambda \in IC) = 1 - \alpha$$

- La probabilité $1 - \alpha$, associée à l'estimation de cet intervalle, est appelée niveau de confiance ou seuil de confiance ("confidence threshold"). Les valeurs les plus couramment utilisées sont 0,9 ; 0,95 ; 0,99 et 0,999.

Interprétation des résultats de simulation

- Chaque réalisation des deux statistiques c_1, c_2 fournit un intervalle de confiance numérique IC.
- Ainsi, la notion de niveau de confiance doit être interprétée comme suit :
 - si nous effectuons un grand nombre de réalisations des deux statistiques c_1, c_2 , la valeur inconnue λ sera couverte par environ $100 \cdot (1 - \alpha)\%$
- La longueur d'un IC diminue par :
 - L'augmentation de la taille de l'échantillon,
 - en réduisant la dispersion de λ ,
 - en choisissant un niveau de confiance plus faible, par exemple en prenant 0,9 au lieu de 0,95.
 - Dans ARENA (lorsque le nombre de répliques est supérieur à 1), la demi-largeur correspond à un intervalle de confiance dont le seuil est égal à 95%.

Interprétation des résultats de simulation

- La moyenne d'un échantillon de taille n extrait d'une population de moyenne μ et d'écart-type σ est distribuée selon une distribution pratiquement normale de la moyenne μ et de l'écart-type $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ lorsque la taille de l'échantillon est suffisamment grande.
 - Pour une population issue d'une distribution normale, le théorème de la limite centrale est valable pour tous les n .
 - Pour d'autres distributions, plus la taille de l'échantillon est grande, plus la distribution est proche de la distribution normale. On peut considérer qu'à partir d'un n égal à 30, la moyenne d'un échantillon est distribuée de façon sensiblement normale.
- Exemple :

- $\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ donc $\bar{X} \sim N(M, \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$

- Pour rendre \bar{X} distribué avec moyenne 0 et écart-type 1 :

$$Z = \frac{\bar{X} - M}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \text{ et } Z \sim N(0,1) \rightarrow \text{distribution normale standard}$$

Interprétation des résultats de simulation

$$f_X(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$$

- $P\left(Z \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$ et $P\left(-z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha$
 - $P\left(-z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\bar{X}-M}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \leq z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha \rightarrow$ ou $\int_{-z_{1-\frac{\alpha}{2}}}^{z_{1-\frac{\alpha}{2}}} f_X(x) dx = 1 - \alpha$ ou $\int_{-\infty}^{z_{1-\frac{\alpha}{2}}} f_X(x) dx = 1 - \frac{\alpha}{2}$
 - $P\left(\bar{X} - z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq M \leq \bar{X} + z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$
 - Donc IC = $[\bar{X} - z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}]$ est un intervalle de 100. (1 - α)% de confiance
- Exercice :
 - la durée de vie d'un composant électrique suit une loi normale de moyenne M inconnue et d'écart-type $\sigma = 20u.t.$
 - Une étude sur un échantillon de taille $n = 16$ donne une durée de vie moyenne de 3000 u.t.
 - Déterminer l'IC pour M avec $\alpha = 0.05$

Interprétation des résultats de simulation

- $z_{1-\frac{\alpha}{2}} = z_{0.975} = 1.96, n = 16, \sigma = 20, \bar{X} = 3000$
- $IC = \left[\bar{X} - z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] =$
- $IC = \left[3000 - 1.96 * \frac{20}{\sqrt{16}}, 3000 + 1.96 * \frac{20}{\sqrt{16}} \right]$
- $IC = [2990.2, 3009.8]$ avec 95% de confiance

Interprétation des résultats de simulation

- 2 types de systèmes :
 - Les systèmes finis, c'est-à-dire ceux ayant un événement final déterminant la fin de la simulation, par exemple, un magasin qui ouvre et ferme à intervalles réguliers
 - Ils offrent une analyse plus simple, permettant un contrôle sur le nombre de répétitions dans le modèle de simulation. Deux types de données sont collectés :
 - a) les observations individuelles à chaque itération, comme le temps de traitement de chaque élément, et
 - b) les moyennes, écarts-types, maximums et minimums des observations à chaque itération, par exemple, le temps moyen de traitement.
 - Si le générateur de nombres aléatoires change à chaque répétition, les observations de type b) peuvent être considérées comme indépendantes et distribuées normalement, facilitant l'application de procédures statistiques pour les moyennes. Cela permet de calculer des intervalles de confiance pour les moyennes, maximums et minimums, ainsi que des intervalles de confiance pour les différences entre les systèmes. Cette comparaison est utile pour évaluer des différences entre dimensionnements ou règles d'ordonnement.

Interprétation des résultats de simulation

- 2 types de systèmes :
 - Les systèmes finis, c'est-à-dire ceux ayant un événement final déterminant la fin de la simulation, par exemple, un magasin qui ouvre et ferme à intervalles réguliers
 - La procédure générale implique de simuler un nombre important de répétitions, analyser le comportement du système en se basant sur les moyennes, ajuster le nombre de répétitions en fonction des précisions souhaitées pour l'intervalle de confiance, et répéter le processus d'analyse.

Interprétation des résultats de simulation

- 2 types de systèmes :
 - Les systèmes non terminaux, c'est-à-dire ceux qui n'ont pas d'événement final dans la simulation, par exemple, un hôpital où il y a toujours au moins un patient.
 - L'étude des performances stables d'un système se concentre sur la phase transitoire, souvent favorable aux performances, comme l'atelier vide en début de simulation. L'état stable, indépendant de l'état initial, vise à calculer un intervalle de confiance pour la moyenne. Deux problèmes surgissent : l'absence de transition précise entre les phases et la corrélation entre observations.
 - Trois approches abordent le problème transitoire :
 - reproduire des conditions proches de la stabilité,
 - des simulations longues pour minimiser l'effet transitoire, ou exclure ces données, notamment via la moyenne glissante.
 - L'exclusion visuelle est courante, bien que sans méthode standardisée.

Interprétation des résultats de simulation

- 2 types de systèmes :
 - Les systèmes non terminaux, c'est-à-dire ceux qui n'ont pas d'événement final dans la simulation, par exemple, un hôpital où il y a toujours au moins un patient.
 - Pour les intervalles de confiance, deux approches dominent : répétitions indépendantes ou simulation longue avec subdivision en lots. Cette dernière implique l'exclusion du transitoire, la division des observations en n lots de taille m , remplaçant chaque lot par sa moyenne pour calculer l'intervalle.
 - Les indications suggèrent $n = 10 \text{ lag*}$, m entre 10 et 20, où "lag*" est la plus grande série corrélée. Cette méthode s'applique à des variables non-dépendantes du temps et s'ajuste pour des variables persistantes, en adaptant la subdivision à des intervalles de temps réguliers.

Simulation de systèmes : Logiciels

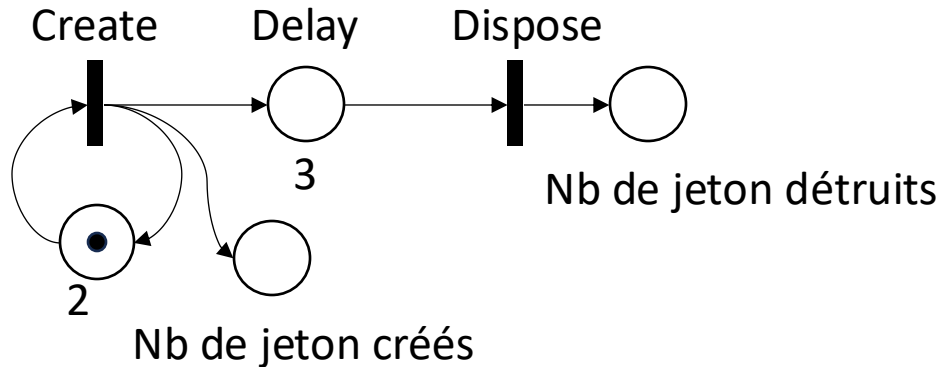
35

Simulation numérique

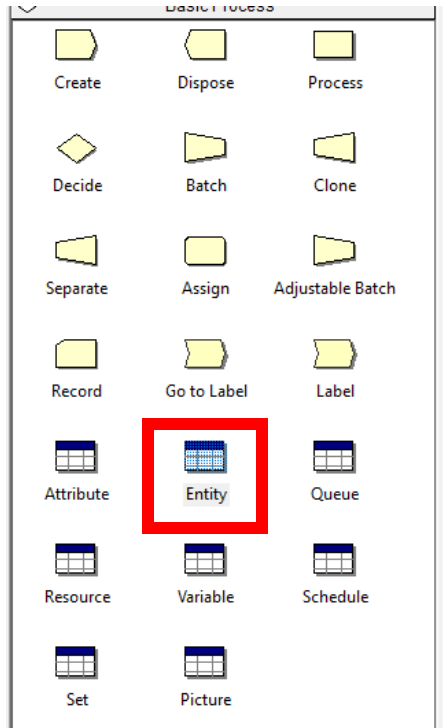
- ARENA version étudiante (Windows uniquement) :
 - https://highered.mheducation.com/sites/0073401315/student_view0/arena_software_download.html

Simulation numérique

- ARENA
 - FlexSim ou « from scratch » en Python, Java, Matlab, etc...
- Blocs « Create » et « Dispose » de Basic Process
- Bloc « Delay » de Advanced Process
 - Faire le RdP suivant :



Simulation numérique



Entity

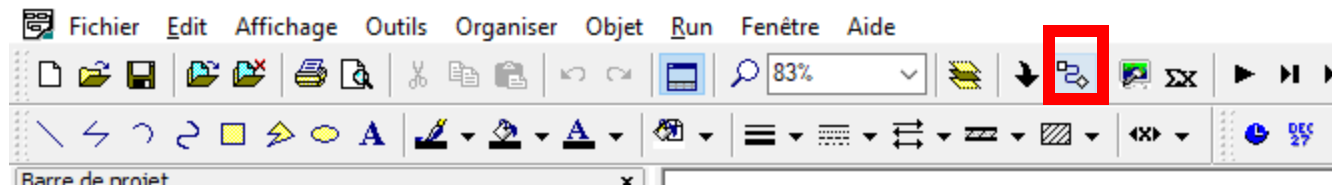
<

Entity - Basic Process

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1 ▶	Token	Picture.Yellow Page	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique



Simulation numérique



Create ? X

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

Simulation numérique

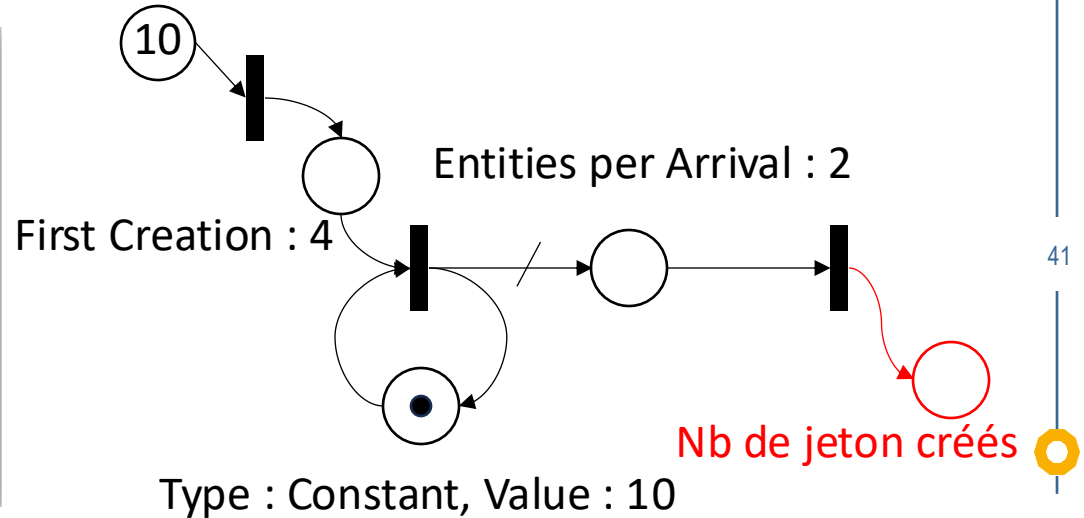
Create ? X

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:



Deux entities sont créées 10 fois à chaque 10 heures à partir de 4.

Simulation numérique

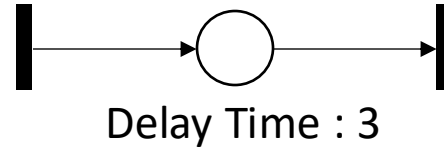


Delay

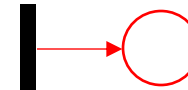
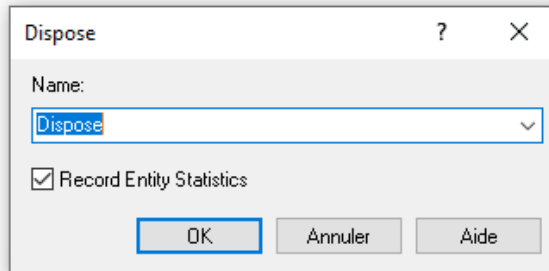
Name: Delay Allocation: Other

Delay Time: 3 Units: Hours

OK Annuler Aide

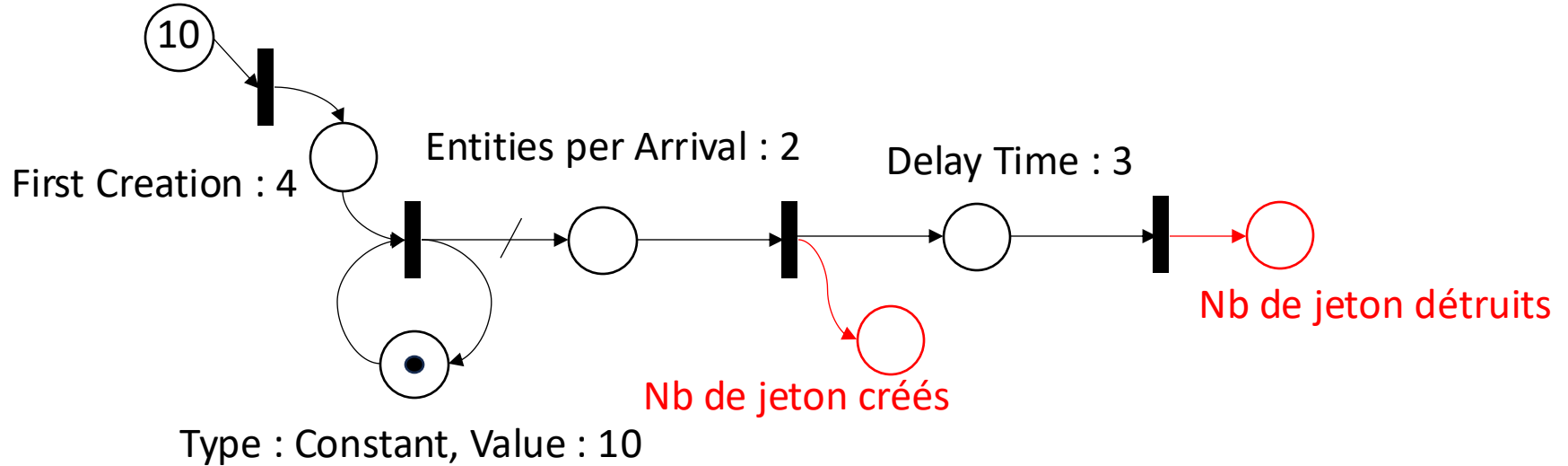


Simulation numérique

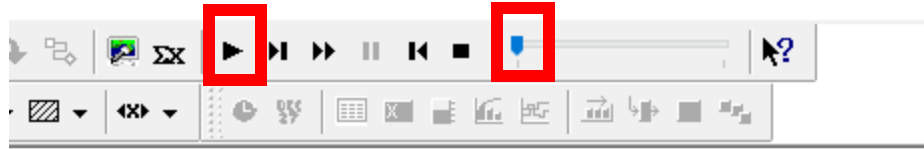


Nb de jeton détruits

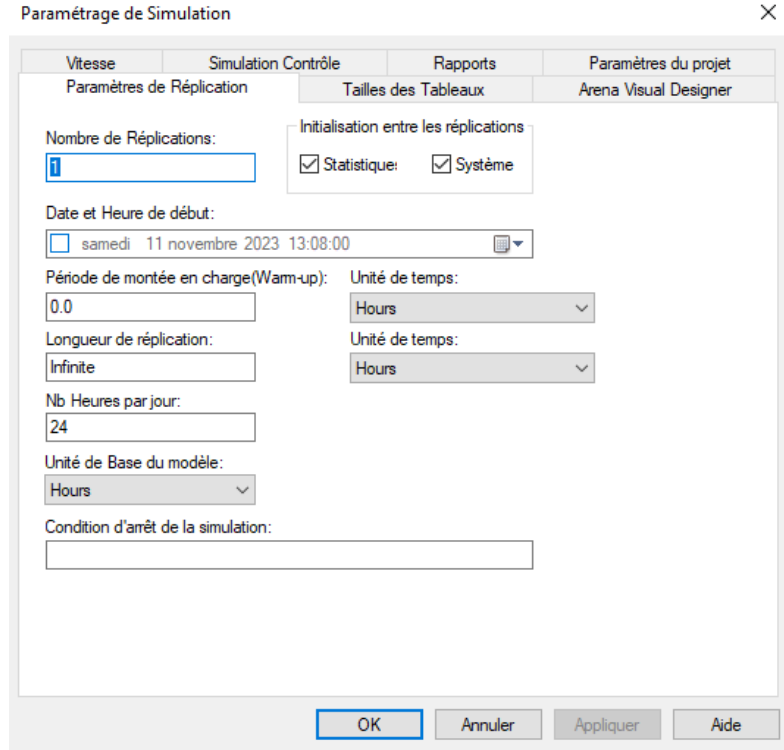
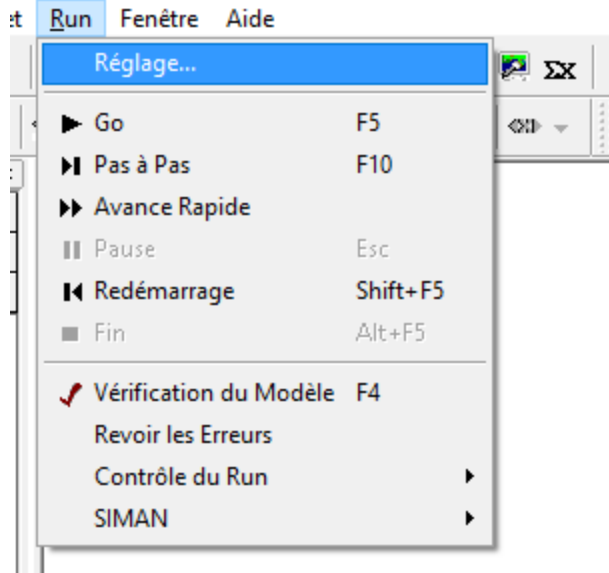
Simulation numérique



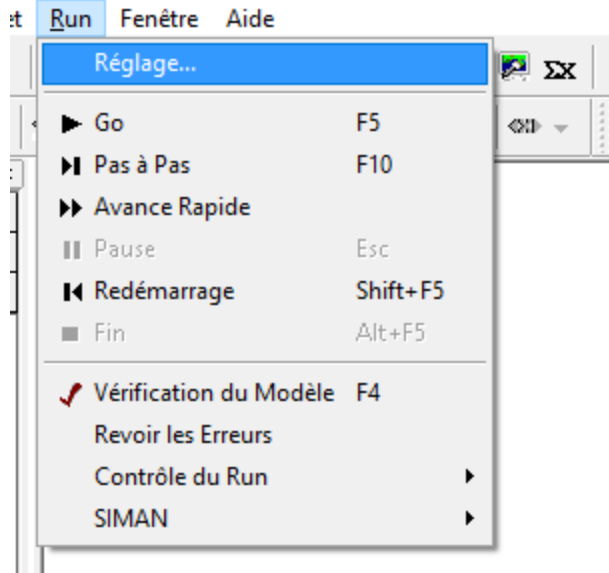
Simulation numérique



Simulation numérique



Simulation numérique



Paramétrage de Simulation

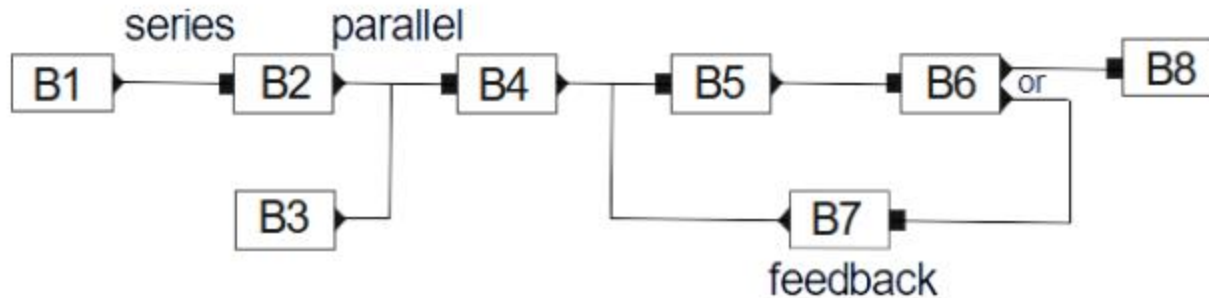
A screenshot of the 'Paramétrage de Simulation' dialog box. The dialog has a title bar with a close button (X). It contains several tabs: 'Paramètres de Réplication', 'Tailles des Tableaux', 'Arena Visual Designer', 'Vitesse', 'Simulation Contrôle', 'Rapports', and 'Paramètres du projet'. The 'Paramètres du projet' tab is selected. It contains the following fields and options:

- Titre du projet:** A text box containing 'Exemple'.
- Nom de l'utilisateur:** A text box containing 'VotreNom'.
- Description du projet:** A text box containing 'C'est un exemple'.
- Statistiques actives:** A group box containing several checkboxes:
 - ☐ Costing
 - ☒ Entities
 - ☒ Resources
 - ☐ Tanks
 - ☒ Queues
 - ☐ Processes
 - ☐ Stations
 - ☐ Transporters
 - ☐ Conveyors
 - ☐ Activity Areas

At the bottom of the dialog, there are four buttons: 'OK', 'Annuler', 'Appliquer', and 'Aide'.

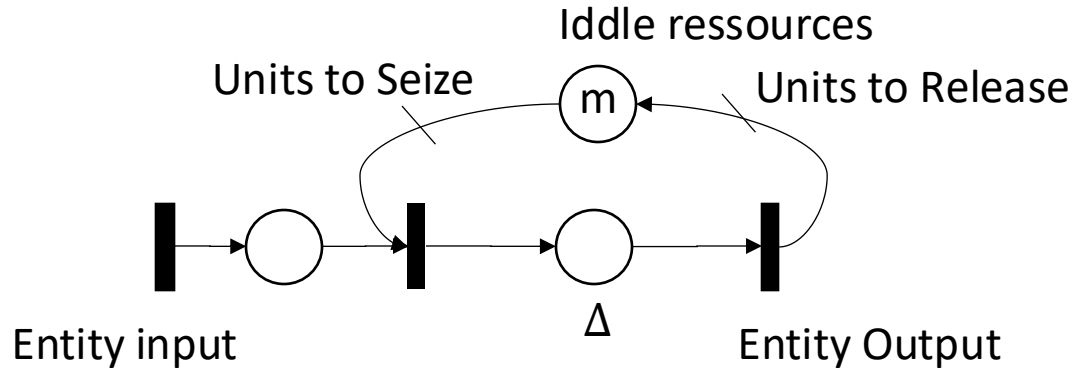
Simulation numérique

Les blocs du schéma bloc sont reliés en série, en parallèle, ou en rétroaction par des connecteurs. Un connecteur transfère une entité en temps nul depuis le point de sortie d'un bloc (graphiquement représenté par une petite flèche) vers le point d'entrée du bloc suivant (représenté par un petit rectangle).



Simulation numérique

Blocs « Seize » et « Release » de Advanced Process



Simulation numérique

Seize

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

Resources:

Resource, Number_Of_Servers, 1,
<End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

Queue Type: Queue Queue Name: Seize.Queue

OK Annuler Aide

Resources

Type: Resource

Resource Name: Number_Of_Servers Units to Seize: 1

Resource State:

OK Annuler Aide

Simulation numérique

Basic Process

Create	Dispose	Process
Decide	Batch	Clone
Separate	Assign	Adjustable Batch
Record	Go to Label	Label
Attribute	Entity	Queue
Resource	Variable	Schedule
Set	Picture	

Entity - Basic Process

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1 ▶	Client	Picture.Yellow Page	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Queue - Basic Process

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1 ▶	Seize.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Idle ressources

Resource - Basic Process

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ▶	Number_Of_Servers	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique

Release

Name:
Release

Resources:
Resource, Number_Of_Servers, 1
<End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

OK Annuler Aide

Units to Release

Resources

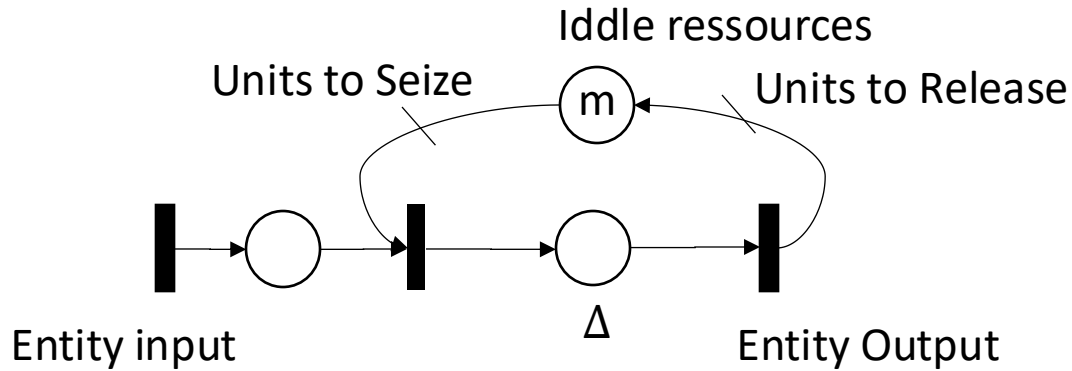
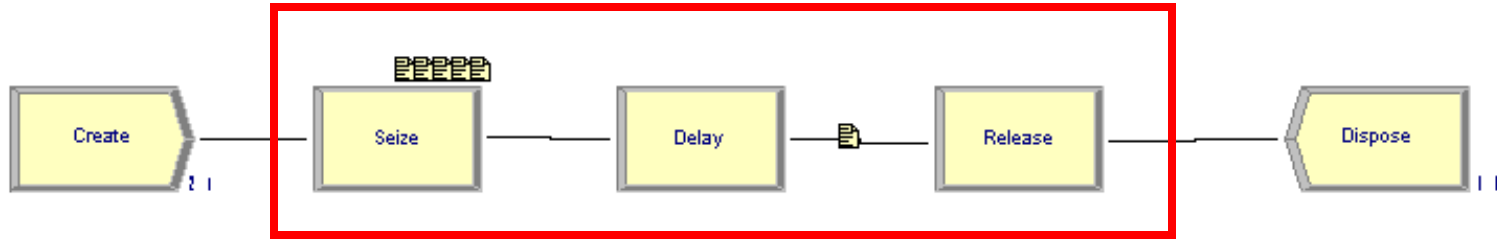
Type:
Resource

Resource Name:
Number_Of_Servers

Units to Release:
1

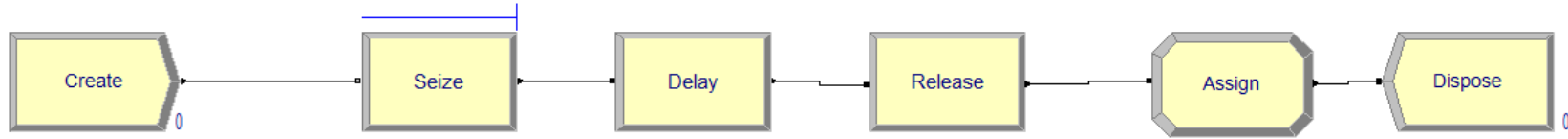
OK Annuler Aide

Simulation numérique



Simulation numérique

Bloc « Assign » de Basic Process



Assign

Name:
Assign

Assignments:

- Variable, Variable 1, 1
- Entity Picture, , 1
- Variable, Variable 1, 1
- <End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

OK Annuler Aide

Assignments

Type: Entity Picture

Entity Picture: Picture Truck

OK Annuler Aide

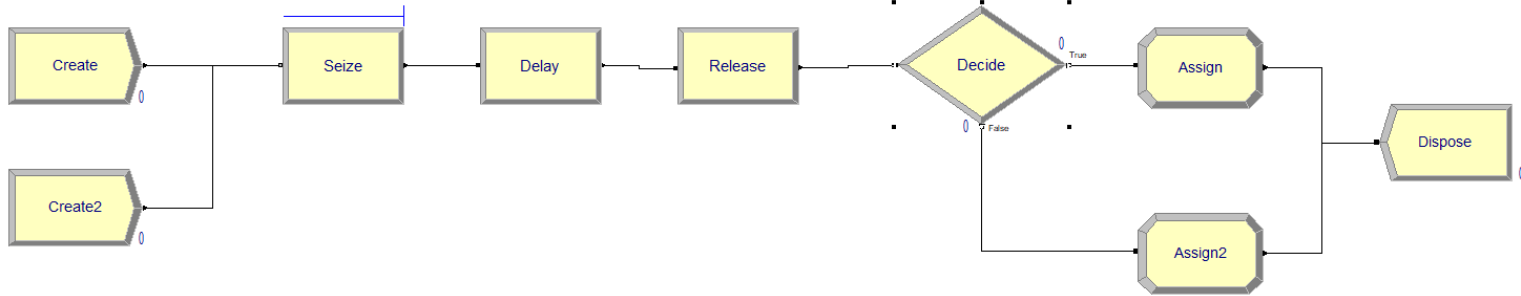
Variable - Basic Process

	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Variable 1				Real	System		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique

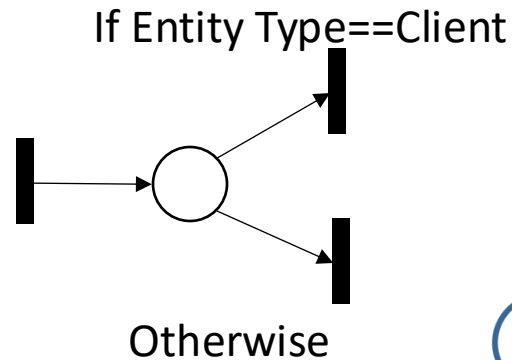
Bloc « Decide » de Basic Process



Decide

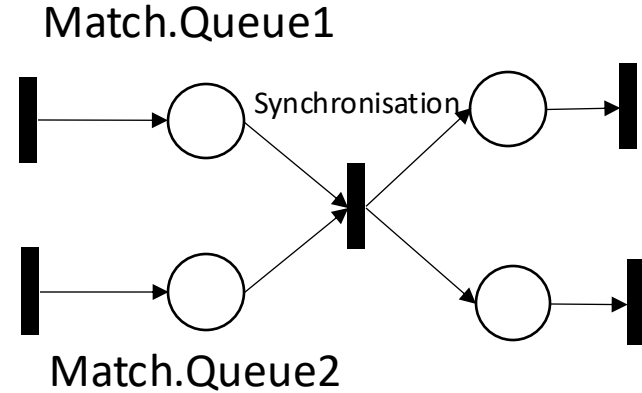
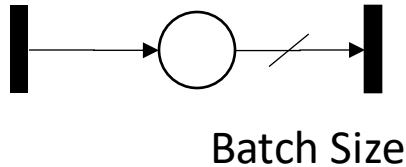
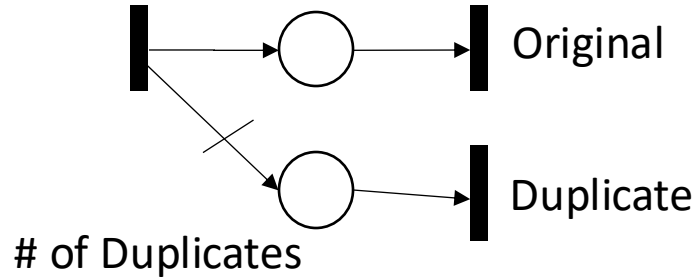
Name: Type:

If: Named:



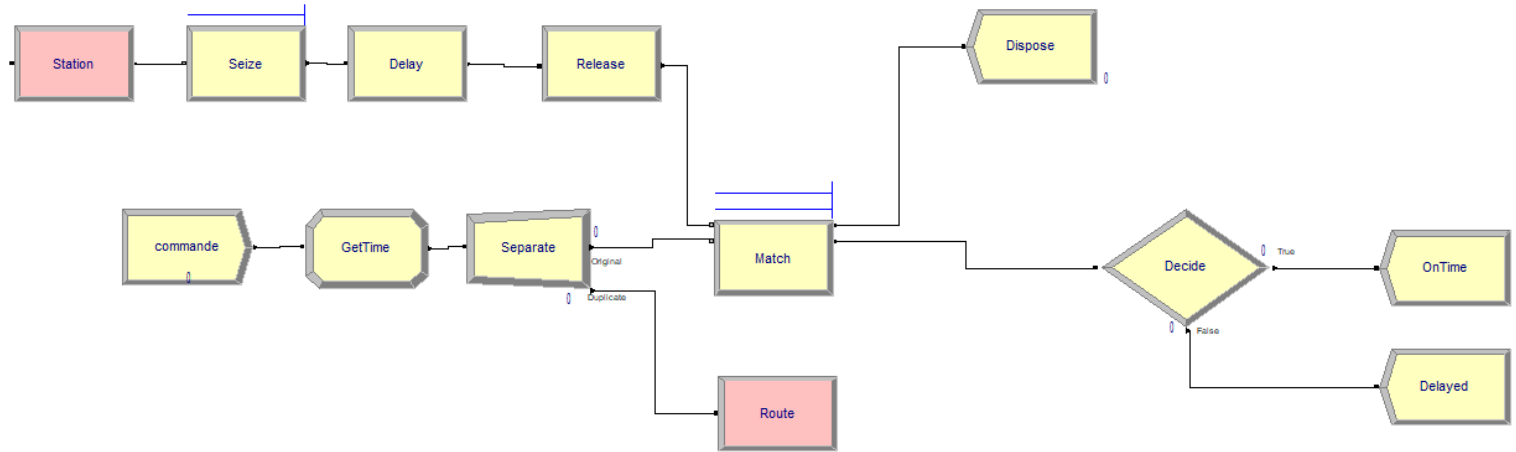
Simulation numérique

Blocs « Separate », « Match » et « Batch » de Advanced Process



Simulation Numérique

Exemple : Commande (OnTime / Delayed)



Montrer en détails ARENA

Simulation Numérique

Exemple : Commande (OnTime / Delayed)

Separate ? ×

Name: Type:

Percent Cost to Duplicates (0-100): % # of Duplicates:

Match ? ×

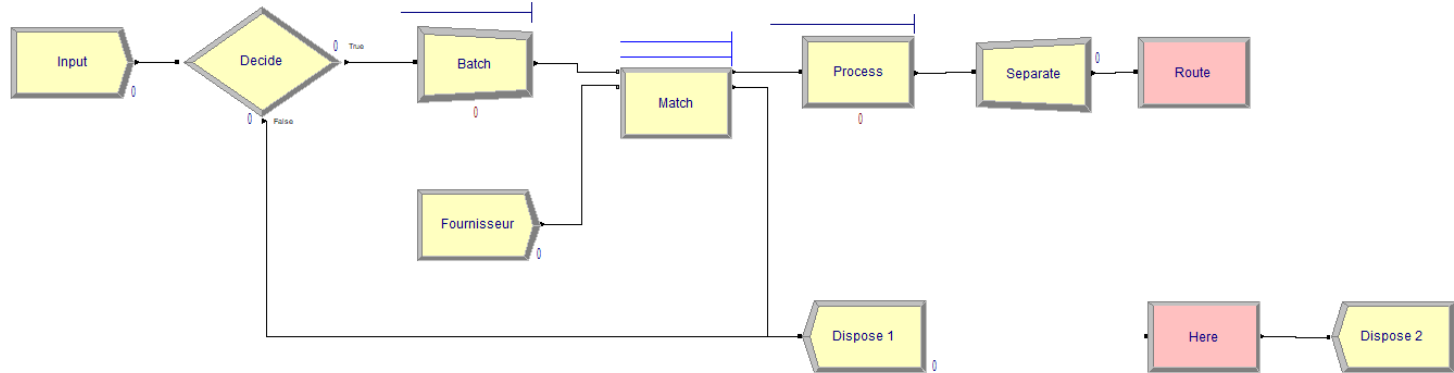
Name: Number to Match:

Type:

Batch Action after Matching:

Simulation numérique

- Bloc « Process » de Basic Process : « Seize+Delay+Release » (en série)
- Exemple : Fournisseur



Simulation Numérique

Exemple : Fournisseur

Batch ? X

Name: Type:

Batch Size: Save Criterion:

Rule:

Representative Entity Type:

Process ? X

Name: Type:

Logic:

Priority:

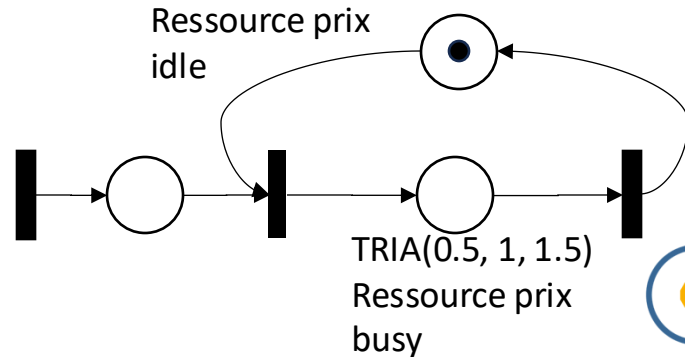
Resources:
<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Minimum: Value:(Most Likely): Maximum:

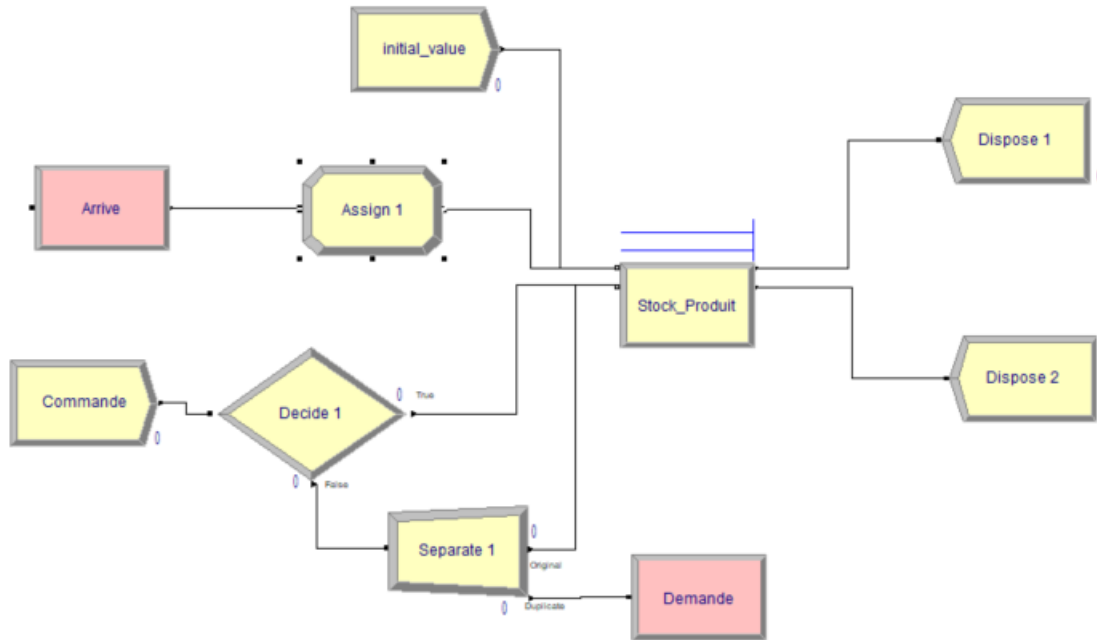
☒ Report Statistics

Montrer en détails ARENA



Simulation numérique

■ Exemple : Stock



Simulation numérique

Create ? X

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

Decide ? X

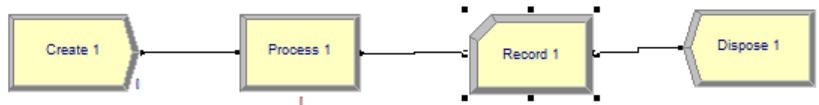
Name: Type:

If:

Value:

Simulation Numérique

- Bloc d'Analyse : « Record » de Basic Process



Record

Name:
Record 1

Statistic Definitions:

Count 1, No. compteur
<End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

OK Annuler Aide

Statistic Definition

Type:
Count

Type NOTE: Increments / Decrements the Counter Name by the Value specified

Value:
1

Counter Name:
compteur

☐ Record into Set

OK Annuler Aide

Simulation Numérique

Barre de projet

- Advanced Transfer
- Advanced Process
- Basic Process
- Flow Process
- Packaging
- Statistics

Timestamp WIP

Tally Counter

Output Time Persistent

Frequency

```

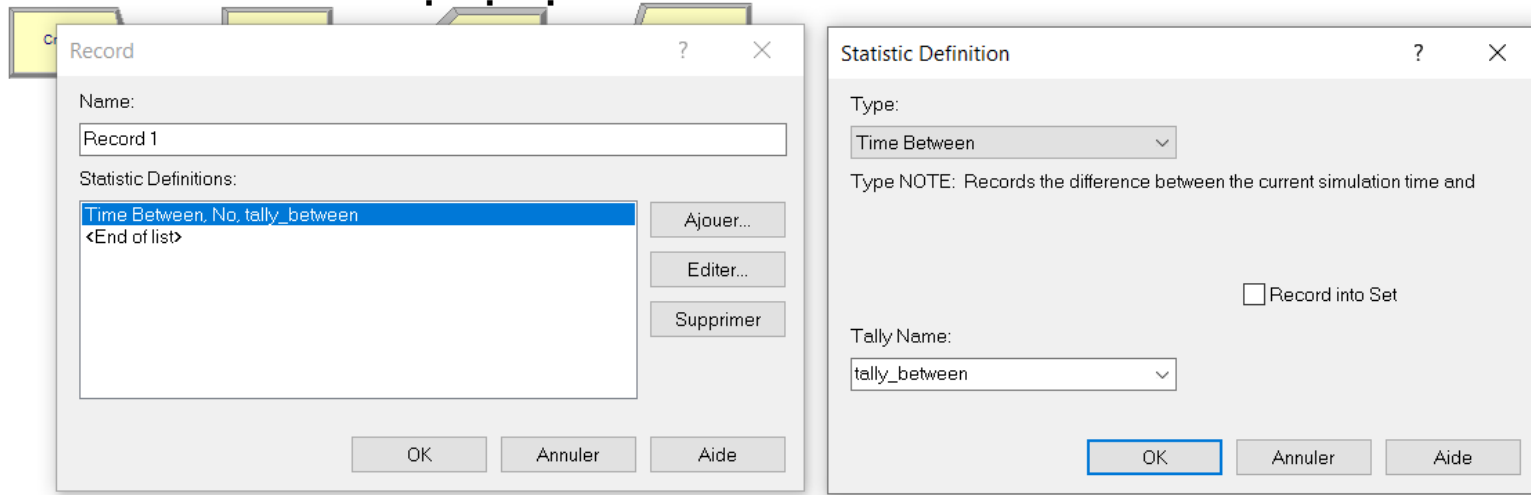
graph LR
    Create1[Create 1] --> Process1[Process 1]
    
```

Counter - Statistics

	Name/Report Label	Limit	Initialization Option	Output File
1 ▶	compteur		Replicate	compteur.csv

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation Numérique



$$X(k + 1) - X(k)$$

where $X(k)$: occurrence time of entity labelled k

Simulation numérique

Barre de projet x

- Advanced Transfer
- Advanced Process
- Basic Process
- Flow Process
- Packaging
- Statistics

Timestamp WIP

Tally Counter

Output Time Persistent

Frequency

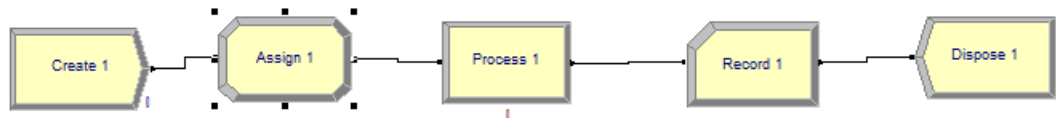
Cre

Tally - Statistics

	Name/Report Label	Output File
1 ▶	tally_between	tally.csv

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique



Assign ? X

Name:
Assign 1

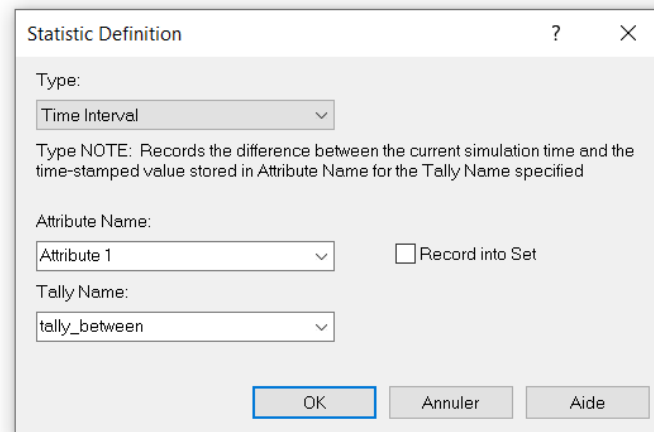
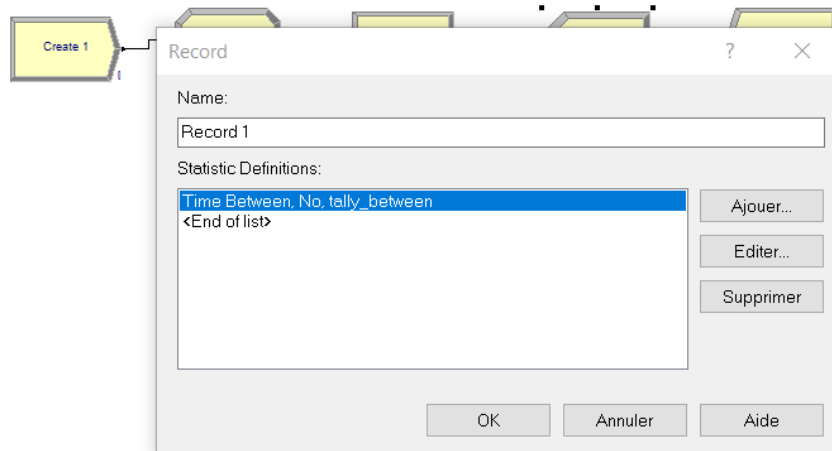
Assignments:

- Attribute, Attribute 1, TNOW
- <End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

OK Annuler Aide

Simulation numérique



Simulation numérique

Barre de projet x

- Advanced Transfer
- Advanced Process
- Basic Process
- Flow Process
- Packaging
- Statistics

Timestamp WIP

Tally Counter

Output Time Persistent

Frequency

Create 1 Assign 1

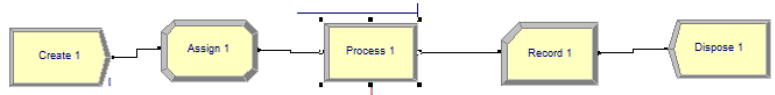
<

Tally - Statistics

	Name/Report Label	Output File
1 ▶	tally_intervalle	tally2.csv

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique



Process [?] [X]

Name: Type:

Logic:

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

Delay Type: Units: Allocation:

Minimum: Value: (Most Likely): Maximum:

☒ Report Statistics

OK Annuler Aide

Process - Basic Process

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Report Statistics
1 ▶	Process 1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Hours	Value Added	.5	1	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>

Resource - Basic Process

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ▶	Resource 1	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique

Barre de projet

- Advanced Transfer
- Advanced Process
- Basic Process
- Flow Process
- Packaging
- Statistics

Timestamp WIP

Tally Counter

Output Time Persistent

Frequency

Time Persistent

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Etat_file_attente	0.02760442	0,009350629	0.00	4.0000
Etat_ressource	1.0096	0,043539333	0.00	3.0000

..

Create 1 Assign 1 Process 1 Record 1 Dispose 1

Time Persistent - Statistics

	Name/Report Label	Expression	Collection Period	Output File
1	Etat_file_attente	NQ(Process 1.Queue)	Entire Replication	NQ.csv
2	Etat_ressource	NR(Ressource 1)	Entire Replication	NQ.csv

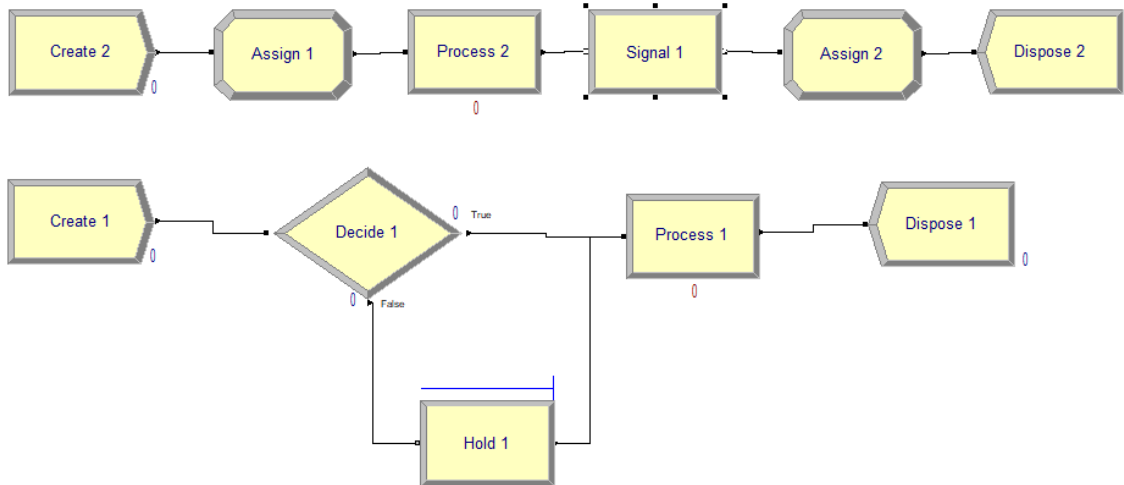
Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

NQ : Number in Queue

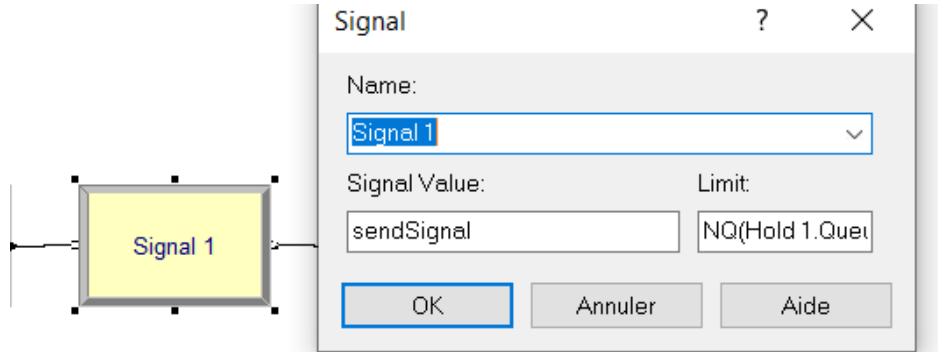
NR : Number of busy Resource units

Simulation

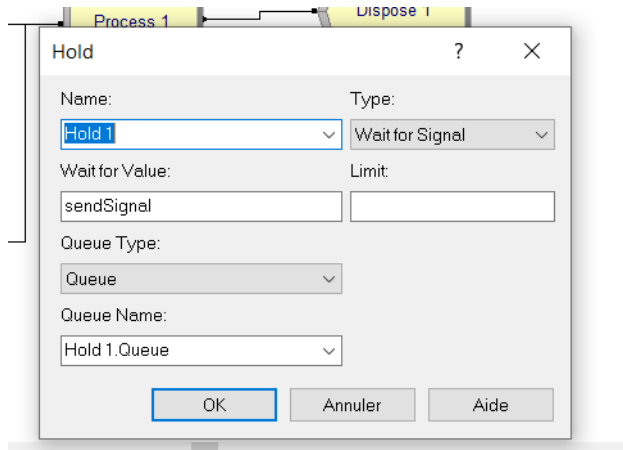
- D'autres exemples...
- Maintenance → montrer en détails



Simulation numérique

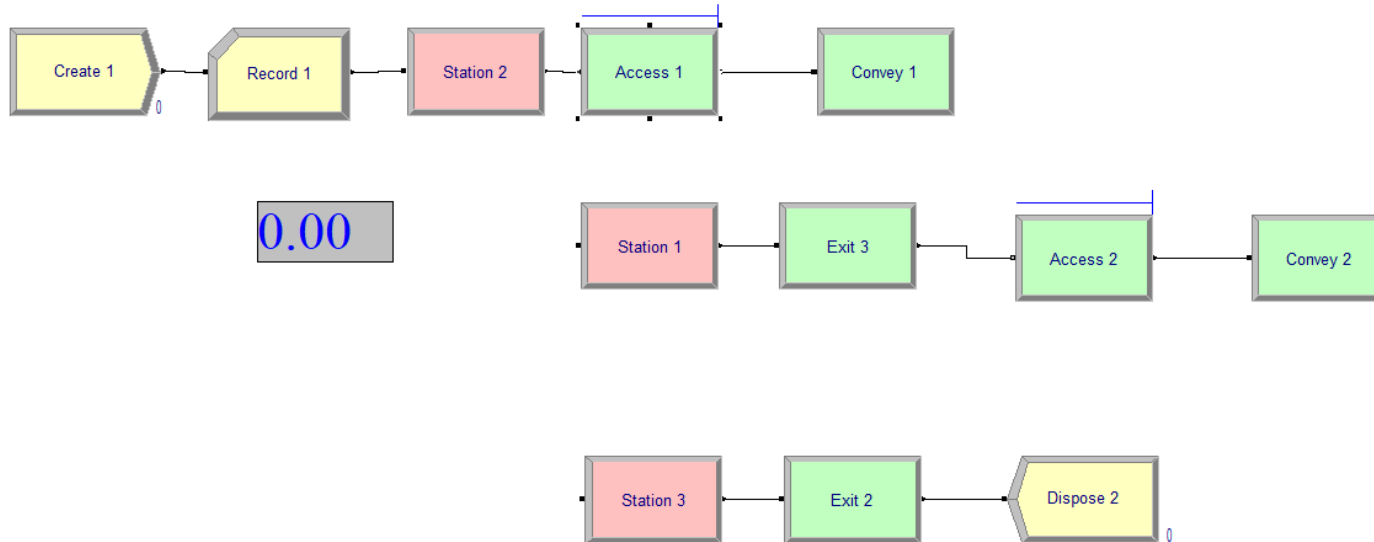


Envoie un signal pour libérer
la totalité d'éléments
dans Hold 1.Queue



Simulation numérique

- Exemple : « Conveyor » → montrer en détails



Simulation numérique

Access

Name: Access 1

Conveyor Name: Conveyor 1

of Cells: 1

Queue Type: Queue

Queue Name: Access 1.Queue

OK Annuler Aide

Nb de place dans « Conveyor »

Convey

Name: Convey 1

Conveyor Name: Conveyor 1

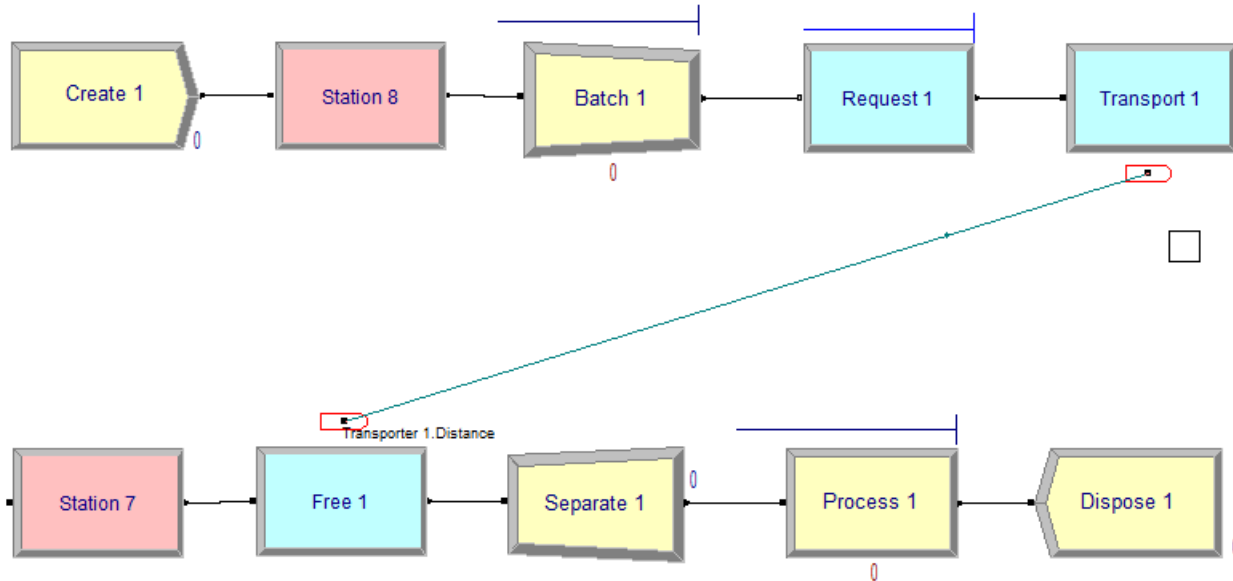
Destination Type: Station

Station Name: Station 1

OK Annuler Aide

Simulation numérique

- Exemple : « Transport » → montrer en détails



Simulation numérique

Request ? X

Name:

Transporter Name:

Selection Rule:

Save Attribute:

Priority:

Entity Location:

Velocity:

Units:

Queue Type:

Queue Name:

Transport ? X

Name:

Transporter Name:

Unit Number:

Entity Destination Type:

Station Name:

Velocity:

Units:

Guided Tran Destination Type:

Simulation numérique

Distance - Advanced Transfer

	Name	Summation
1	Transporter 1.Distance	2 rows

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Stations

	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	Station 8	Station 7	50
2	Station 7	Station 8	10

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Transporter - Advanced Transfer

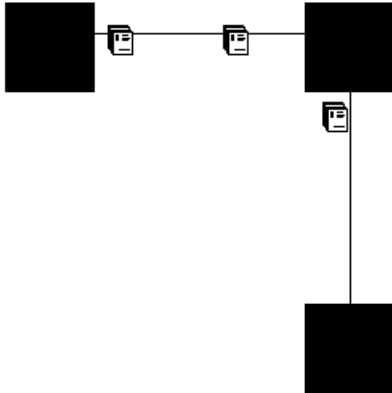
	Name	Number of Units	Type	Distance Set	Velocity	Units	Initial Position Status	When Freed	Report Statistics
1	Transporter 1	1	Free Path	Transporter 1.Distance	1.0	Per Minute	0 rows	Remain Where Freed	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne



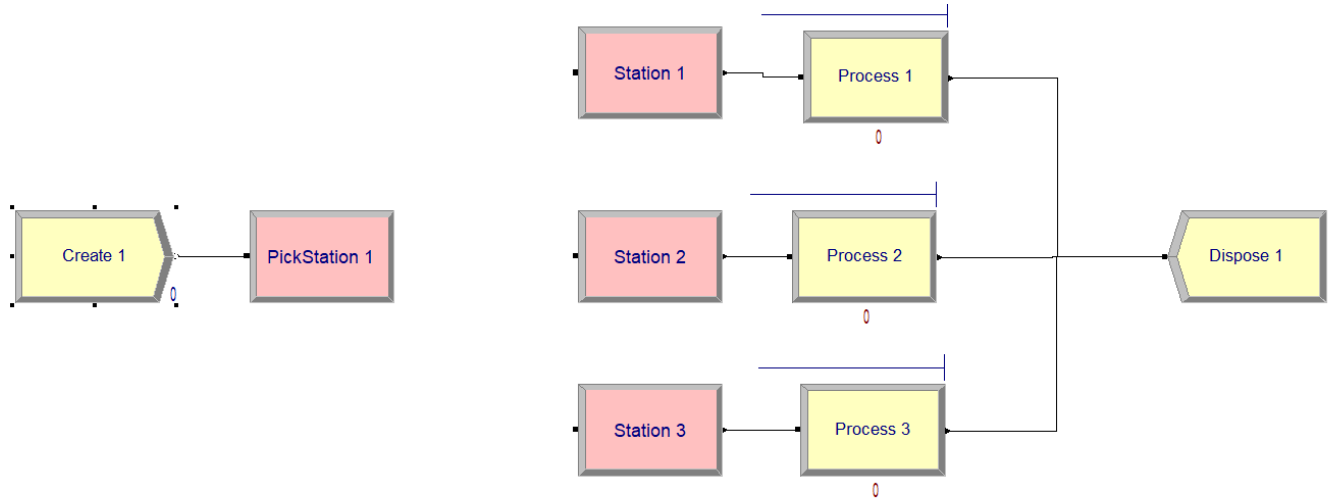
Simulation numérique

- Exercice : Animer « Conveyor » à l'aide de « Segments »

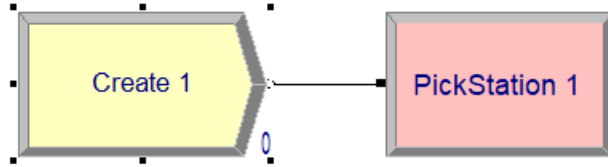


Simulation numérique

- « PickStation » de Advanced Transfer



Simulation numérique



Create ? X

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals
Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

Changer : 50 à 20

PickStation ? X

Name: Test Condition:

Selection Based On
☒ Number in Queue ☐ Number of Resources Busy
☒ Number En Route to Station ☐ Expression

Stations:

<End of list>

Transfer Type:

Route Time: Units:

Simulation numérique

- Exercice : Production avec deux machines (A et B) et (3 ou 4) ouvriers
- Ressources :
 - Produit Type 1 :
 - Process 1 : $N(3,0.2)$ min - ressources : Machine_A + (1) P
 - Process 2 : $N(7,0.5)$ min – ressources : Machine_B + (1) P
 - Process 3 : $Const(1.5)$ min – ressources : (1) P
 - Produit Type 2 :
 - Process 4 : $N(10,0.2)$ min - ressources : Machine_A + (1) P
 - Process 2 : $N(7,0.5)$ min – ressources : Machine_B + (1) P
 - Process 3 : $Const(1.5)$ min – ressources : (1) P
 - Commande T1 / T2 : $Exp(30)$ min / Commence à 0 / 1 entity per Arrival

Simulation numérique

- Exercice : Production avec deux machines (A et B) et (3 ou 4) ouvriers
- Ressources :

Ressource	Coût Busy/h	Coût Idle/h	Coût à chaque utilisation	Capacité
Machine_A	\$100	\$40	\$15	1
Machine_B	\$50	\$30	\$10	1
Personne	\$20	\$40	-	Schedule

- Maintenance : à chaque 3 jours pour Machine_A seulement
 - Process : Triang(0.5, 2, 3.5) heures
- Régime : 6h00-14h00 → 3 P et 14h00-22h00 → 4 P

Simulation numérique

Paramétrage de Simulation

Vitesse Simulation Contrôlée Rapports Paramètres du projet

Paramètres de Réplication Tailles des Tableaux Arena Visual Designer

Nombre de Réplications:

Initialisation entre les réplications

☒ Statistiques ☒ Système

Date et Heure de début:

Période de montée en charge(Warm-up): Unité de temps:

Longueur de réplication: Unité de temps:

Nb Heures par jour:

Unité de Base du modèle:

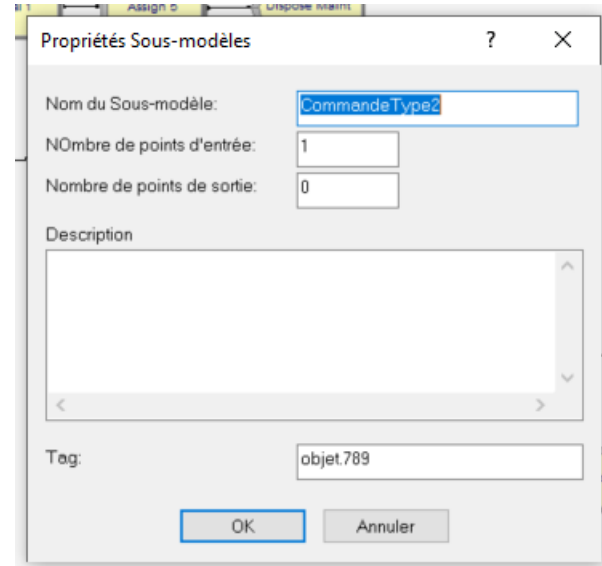
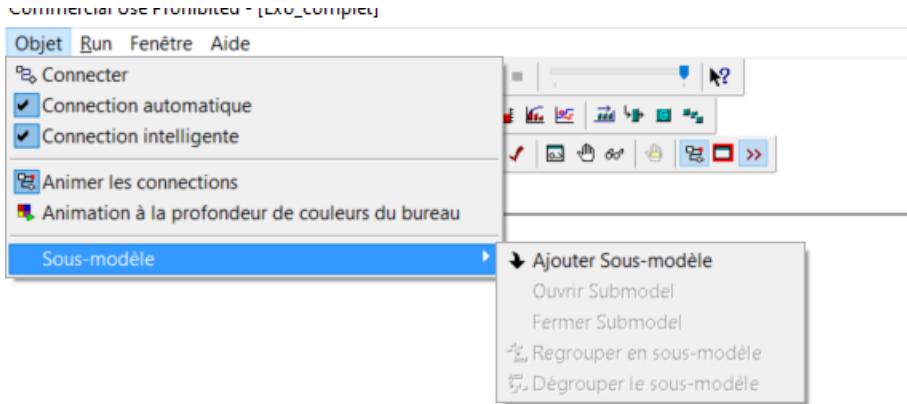
Condition d'arrêt de la simulation:

OK Annuler Appliquer Aide

Etudier le rapport
Et proposer des
« modifications »

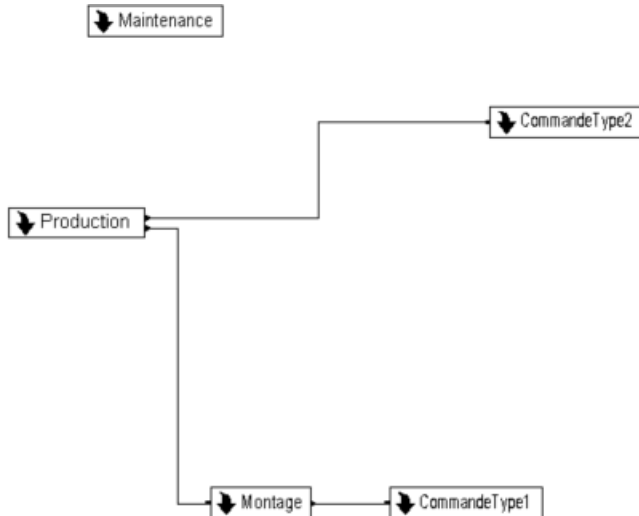
Simulation numérique

■ « Nested submodels »



Simulation numérique

- Exercice : Le produit T1 doit être monté avant de terminer sa production
 - 3 postes de travail en parallèle existent avec 1 ouvrier chacun
 - Le montage :

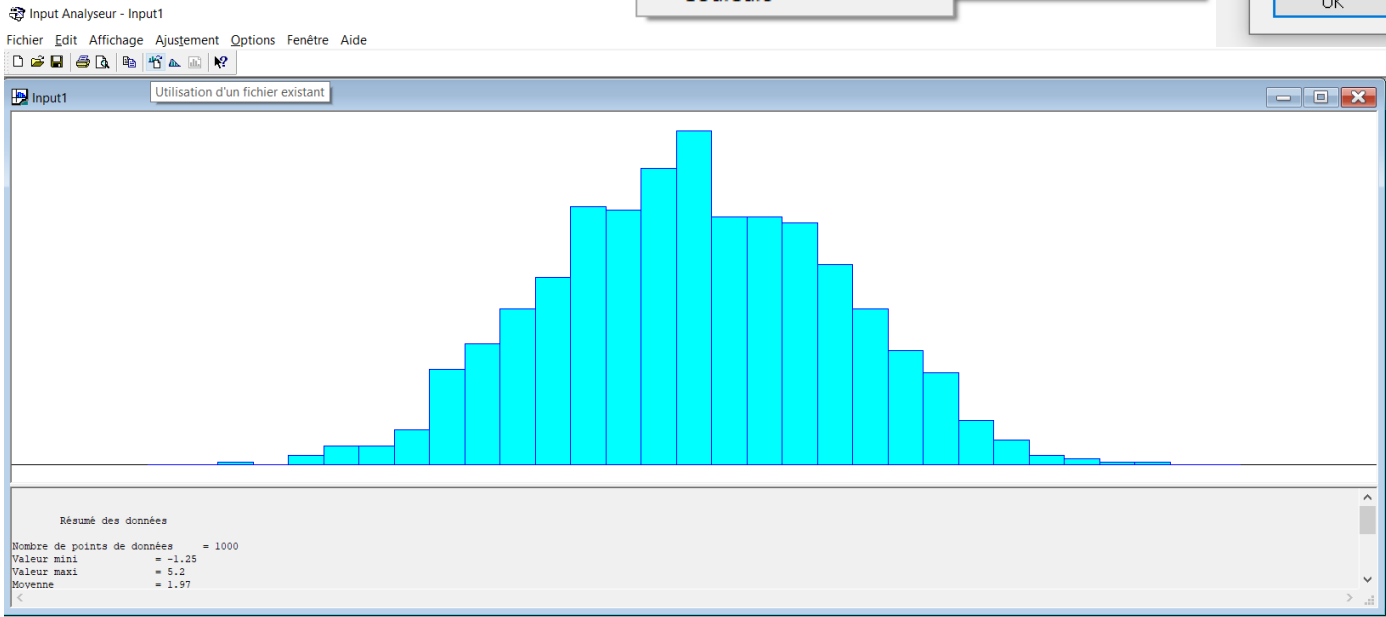
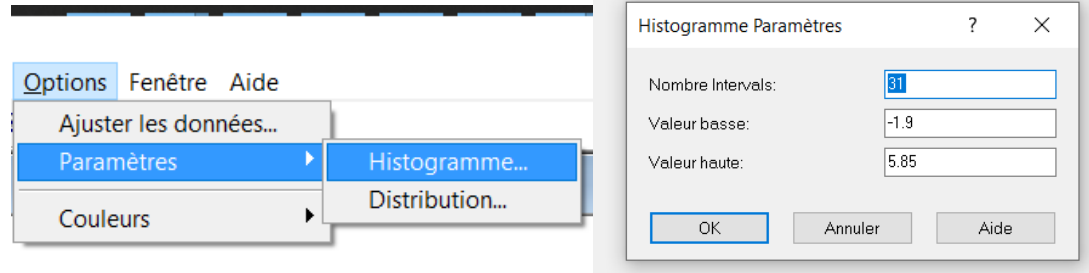


The screenshot shows the 'Process' dialog box in a simulation software. The 'Name' field is set to 'Montage1' and the 'Type' is 'Standard'. The 'Logic' section shows the 'Action' as 'Seize Delay Release' and the 'Priority' as 'Medium(2)'. The 'Resources' list contains 'Resource, Ouvrier, 1' and '<End of list>'. The 'Delay Type' is 'Expression', 'Units' are 'Minutes', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Expression' field contains 'NORM(20.3, 7.67)'. The 'Report Statistics' checkbox is checked. The dialog has 'OK', 'Annuler', and 'Aide' buttons at the bottom.

Simulation numérique

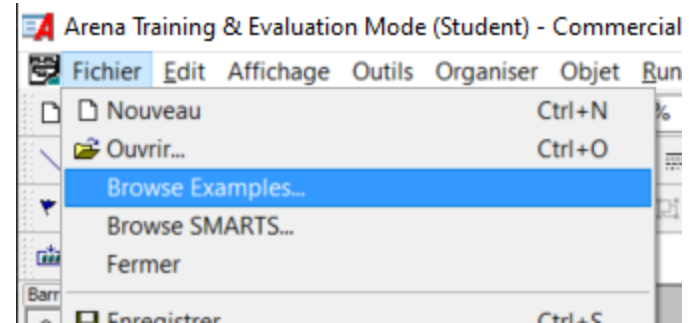
$O(\sqrt{nb_{points}})$ entre 5 à 40 intervalles

- « InputAnalyzer »
- dataset.dst



Simulation numérique

- « Process Analyser »
- Exemple : « Airport Security Example »



<

Schedule - Basic Process

	Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
1 ▶	ScheduleOfficers	Capacity	Hours	1.0		13 rows

Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Durations

	Value	Duration
1	MyVar	24

WWW.ARENASIMULATION.COM

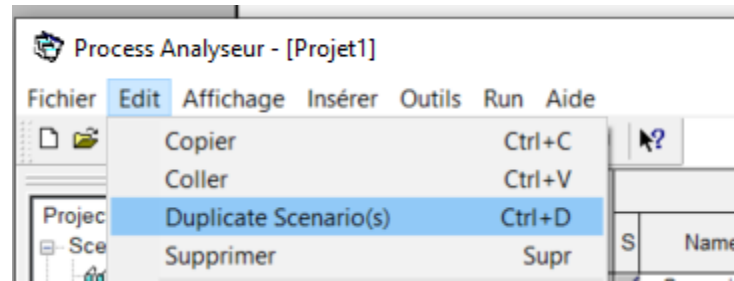
<

Resource - Basic Process

	Name	Type	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Transportation Security Officer	Based on Schedule	ScheduleOfficers	Wait	10	12	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

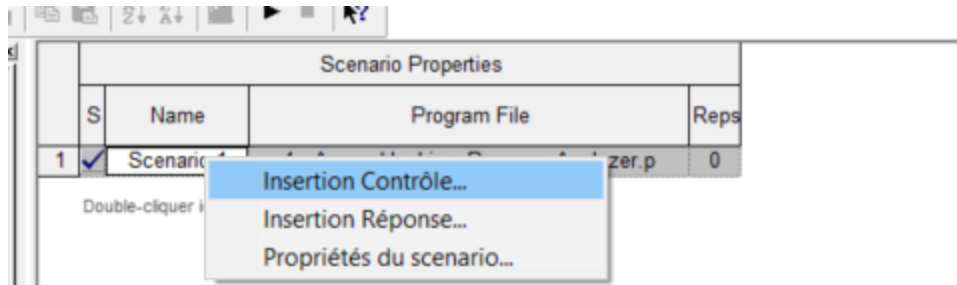
Double-cliquer ici pour ajouter une nouvelle ligne

Simulation numérique



Project Items		Scenario Properties				Control	Responses	
	Display	S	Name	Program File	Reps	MyVar	All Resources.TotalCost	Entity 1.TotalTime
Scenarios								
Scenario 1	Visible	1	Scenario 1	1 : Airport Security Example	1	1.0000	4922.022	8.173
Scenario 2	Visible	2	Scenario 2	1 : Airport Security Example	1	2.0000	10681.416	1.985
Scenario 3	Visible	3	Scenario 3	1 : Airport Security Example	1	5.0000	27965.299	1.751
Scenario 4	Visible	4	Scenario 4	1 : Airport Security Example	1	10.0000	56765.077	1.750
Scenario 5	Visible	5	Scenario 5	1 : Airport Security Example	1	20.0000	114365.077	1.750
Controls								
MyVar	Visible							
Responses								
All Reso...	Visible							
Entity 1...	Visible							
Charts								

Double-cliquer ici pour ajouter un nouveau scenario.



Avec 2 policiers on réduit le temps passé à la queue, mais cela coûte un peu plus cher.

Simulation numérique

Optquest optimization 3.a23 - Arena Visual Designer Training & Evaluation Mode - Commercial Use Prohibited - [Optimization 1*]

File Edit View Run Tools Window Help

Toolbox

- OptQuest Optimization
- Constraint
- Objective
- Suggested Solution

Tips
Drag and Drop above items to Edit Explorer

Editor Explorer

- Optimization 1
 - Best Solutions
 - Constraints
 - Constraint 1
 - Controls
 - Resources
 - Transportation Security Officer
 - User Specified
 - MyVar (Variable)
 - Objectives
 - Objective 1
 - Optimization
 - Resources

Constraints

Constraints Summary					
	Included	Name	Type	Description	Expression
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 1	NonLinear		[Entity 1.TotalTime]<=2

Task List

Description
Click here to add a new task

Passer à 1

Simulation numérique

Optimization 1*

Discrete

Controls

Controls Summary

	Included	Category	Name	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step
	<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	MyVar	Variable	Continuous	4.5	5	5.5	N/A
▶	<input type="checkbox"/>	Resources	Transportation ...	Resource	Discrete	0	0	1	1

Editor Explorer

- Optimization 1
 - Best Solutions
 - Constraints
 - Constraint 1
 - Constraint 2
 - Controls
 - Resources
 - Transportation Security Officer
 - User Specified
 - MyVar (Variable)

Task List

Simulation numérique

Airport Security Example For Process Analyser.a23 - Arena Visual Designer Training & Evaluation Mode - Commercial Use Prohibited - [Optimization 1*]

File Edit View Run Tools Window Help

Optimization 1*

Toolbox

- OptQuest Optimization
- Constraint
- Objective
- Suggested Solution

Tips
Drag and Drop above items to Edit Explorer

Editor Explorer

- Optimization 1
 - Best Solutions
 - Constraints
 - Constraint 1
 - Constraint 2
 - Controls
 - Resources
 - Transportation Security Officer (
 - User Specified
 - MyVar (Variable)
 - Objectives
 - Objective 1
 - Optimization
 - Responses
 - Suggested Solutions

Objectives Summary


	Included	Name	Type	Goal	Description	Expression
	<input checked="" type="checkbox"/>	Objective 1	NonLinear	Minimize		[All Resources.TotalCost]

Task List

Description
Click here to add a new task

A license for OptQuest was not found. OptQuest will run in demonstration mode.

Simulation numérique



Optimization 1*

Best Solutions					
Optimal solution found.					
Best Solutions					
	Included	Simulation	Objective Value	Status	MyVar
	<input type="checkbox"/>	7	11546.350478	Feasible	2
	<input type="checkbox"/>	5	17026.088617	Feasible	3
	<input type="checkbox"/>	8	22491.325633	Feasible	4
	<input type="checkbox"/>	1	27965.299256	Feasible	5
	<input type="checkbox"/>	2	33436.834211	Feasible	6
	<input type="checkbox"/>	10	38908.752087	Feasible	7
	<input type="checkbox"/>	6	44380.752087	Feasible	8
	<input type="checkbox"/>	9	49852.752087	Feasible	9
	<input type="checkbox"/>	4	55324.752087	Feasible	10
	<input type="checkbox"/>	3	6076.252795	Infeasible	1

Simulation numérique

- Exercice :
 - Refaire avec :
 - Best Value ?

Process ? X

Name: Check for Proper Identification Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Transportation Security Officer, 1
<End of list>

Ajouter...
Editer...
Supprimer

Delay Type: Triangular Units: Minutes Allocation: Value Added

Minimum: 5.75 Value: (Most Likely): 5.5 Maximum: 8

☒ Report Statistics

OK Annuler Aide

Simulation numérique

Optimization 1						
Objectives Summary						
Objectives Summary						
	Included	Name	Type	Goal	Description	Expression
	<input type="checkbox"/>	Objective 1	NonLinear	Minimize		[All Resources.TotalCost]
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Objective 2	NonLinear	Minimize		[Entity 1.WaitTime]

Constraints					
Constraints Summary					
	Included	Name	Type	Description	Expression
	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 1	NonLinear		[Entity 1.TotalTime]<=2
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 2	NonLinear		[All Resources.TotalCost]<=20000

Simulation numérique

Best Solutions

Optimal solution found.

Best Solutions

	Included	Simulation	Objective Value	Status	MyVar
	<input type="checkbox"/>	5	0.031221	Feasible	3
	<input type="checkbox"/>	8	0.221521	Feasible	2
	<input type="checkbox"/>	9	0.006046	Infeasible	4
	<input type="checkbox"/>	1	0.000764	Infeasible	5
	<input type="checkbox"/>	2	9.3E-05	Infeasible	6
	<input type="checkbox"/>	7	6E-05	Infeasible	7
	<input type="checkbox"/>	6	6E-05	Infeasible	8
	<input type="checkbox"/>	10	6E-05	Infeasible	9
	<input type="checkbox"/>	4	6E-05	Infeasible	10
	<input type="checkbox"/>	3	5.787979	Infeasible	1

En détails

- Nombre d'intégrants de chaque groupe : 2
- Mise en œuvre ARENA

**Maintenant, c'est
à vous !**