

Analyse globale du flux

Un exemple élémentaire

Christian van DELFT

Introduction

Objectif pédagogique de l'exercice de présentation du module d'analyse globale des flux

Si les flux au sein d'un système industriel et logistique présentent une régularité totale et si aucune fluctuation ne perturbe le processus (absence de pannes ou de fluctuation des temps opératoires, demandes et commandes des clients parfaitement stables, ...), la structure de ces flux devient simple et ces derniers sont aisément gérables et prévisibles.

Dans la majorité des situations, ces hypothèses ne sont pas réalistes : les flux présentent une variabilité plus ou moins importante. L'objectif du module d'analyse globale des flux est précisément d'évaluer l'impact de la variabilité sur les flux et d'en tenir compte dans la méthodologie de planification. En particulier, de faire ressortir le lien entre les taux de charge aux différents postes et les en-cours et délais d'écoulement.

On notera qu'on ne prend pas en compte, dans cette analyse, la problématique de synchronisation des flux en vue d'assemblage (problématique supposée résolue via MRP), mais simplement l'étude de la dynamique de chacun des flux.

L'exercice d'apprentissage décrit ici, basé sur un exemple très simple, se propose de vous faire progressivement découvrir les fonctions du module d'analyse globale des flux ainsi que les principaux indicateurs et graphiques associés.

Pour cet exercice, un modèle simplifié d'un système de production a été construit et les données correspondantes saisies. L'énoncé se divise en différentes sessions de travail, qui présentent progressivement les différentes étapes de l'exploitation de ce module.

Démarrer l'exemple élémentaire

Cet exercice nécessite le niveau de licence **avancé**.

Sur la page **Gestion des dossiers**, sélectionner le dossier qui se trouve dans le répertoire **Documents publics en français**, sous-répertoire **Analyse globale des flux**. Sélectionner le dossier **AGF0** et cliquer sur le bouton **Ouvrir**.

Le système industriel et logistique considéré

Dans l'exemple considéré ici, on supposera dans un premier temps l'absence de toute variabilité.

Les produits

On considère une cellule d'assemblage qui réalise la fabrication de 2 produits différents PF1 et PF2. Les informations concernant ces deux articles sont présentées dans les pages **Gestion des articles** correspondantes, menu **Technique** :

Code	Libellé
PF1	Produit fini 1
PF2	Produit fini 2

Code Article : PF1 Type : F : Fabriqué Niveau : 0

Libellé : Produit fini 1 Peut être vendu

Unité de mesure : UN Unité

Magasin : MAG Magasin général

Désignation : _____

N° de plan : _____

Décimales

Stock : 0

Nomenclature : 0

Liste des gammes liées à l'article				
Ajouter...				
Supprimer	Lancement	Gamme	Libellé	Commentaire
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ASPPF1	Assemblage PF1	Assemblage PF1

La gamme de fabrication

La fabrication des références PF1 et PF2 est réalisée suivant la gamme décrite dans la page **Gestion des gammes**, menu **Technique** :

Technique - Gestion des gammes de fabrication

Liste des gammes		Retour OK Supprimer Dupliquer Phases Emplois Graphe Liste					
Code	Libellé	Code Gamme : ASSPF1					
ASSPF1	Assemblage PF1	Libellé : Assemblage PF1					
ASSPF2	Assemblage PF2	Commentaire :					

Cumul des temps						
Réglages	1.0000					
Machine/pièce	1.0000					
Transferts	1.0000					

Liste des phases						
Phase	Libellé	Poste	Tps Reg	Tps Machine	Qte / tps	Tps Transfert
010	Assemblage final	940	1.0000	1.0000	1	1.00

En cliquant sur le bouton **Phases**, on obtient les descriptions suivantes,

Technique - Gestion des phases de gamme

Liste des phases		Retour Nouvelle OK Supprimer	
Code	Libellé	Gamme : ASSPF1 / 00 Assemblage PF1	
010	Assemblage final		

Numéro de phase : 010
 Libellé : Assemblage final
 Poste de charge : 940 Cellule d'assemblage
 Temps de réglage Machine : 1
 Temps Machine : 1
 Quantité du temps : 1
 Temps de transfert : 1 heures
 Commentaire :

La cellule de production

La fabrication des références PF1 et PF2 est réalisée par une cellule d'assemblage (Code **940**), dont les caractéristiques sont décrites dans la page **Gestion des poste de charge**, menu **Technique** :

Technique - Gestion des postes de charge

Liste des postes de charge		Retour OK Supprimer Machines Emplois Liste Synoptique				
Code	Libellé	Poste de charge : 940				
940	Cellule d'assembl...	Libellé : Cellule d'assemblage				
		Type : F : Capacité finie				
		Calendrier : CS Calendrier standard				
		Coefficient de capacité : 1,7				
		Commentaire :				

Liste des machines	
Machine	Libellé
P1	Poste 1
P2	Poste 2

On remarque que la cellule d'assemblage **940** est constituée de deux machines P1 et P2, équivalentes. La description de ces machines est

donnée par la fenêtre **Gestion des machines**, accédée via le bouton **MACHINES**,

Technique - Gestion des machines

Retour OK Supprimer Dupliquer

Poste de charge : 940 Cellule d'assemblage

Code Machine : P1

Libellé : Poste 1

% Perte capacité pour pannes : 0

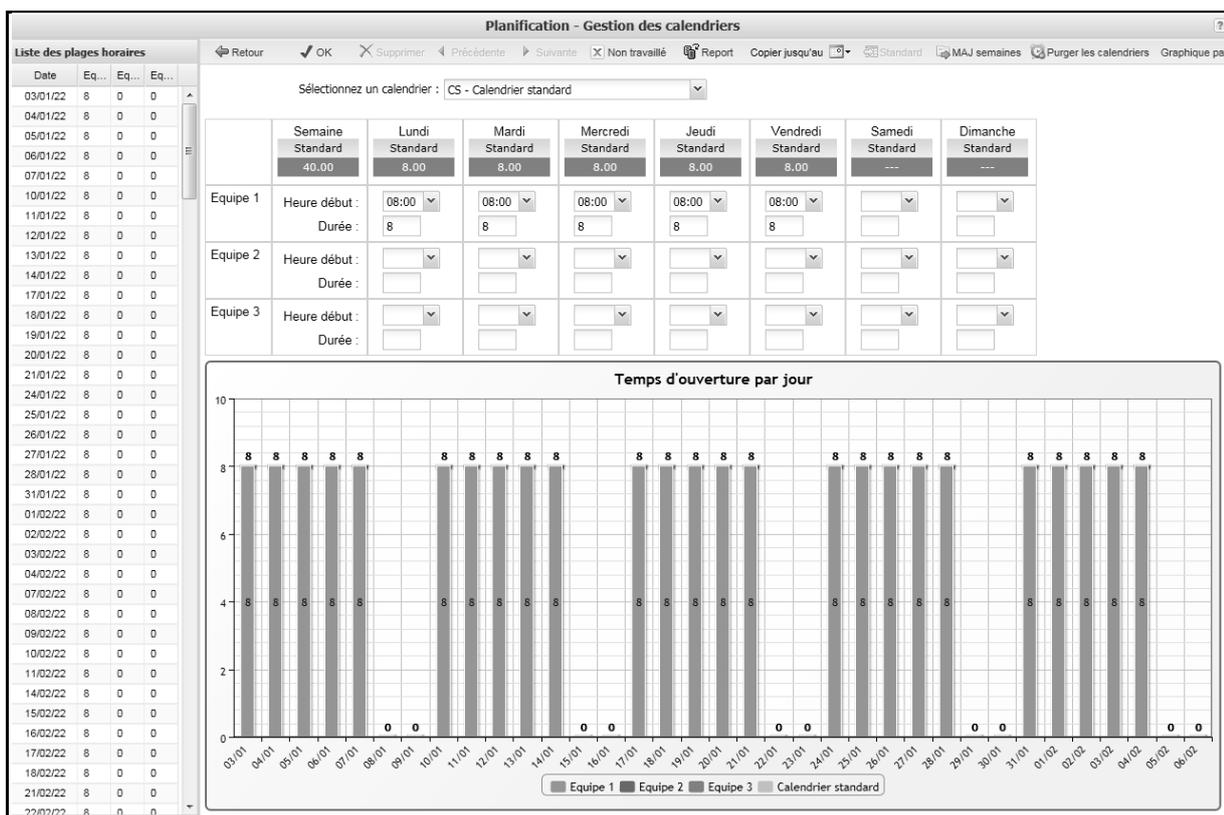
Temps moyen entre pannes : 0

Temps moyen de réparation : 0

Liste des machines	
Code	Libellé
P1	Poste 1
P2	Poste 2

La capacité de production de chaque machine (et donc de la cellule d'assemblage **940**) est spécifiée via un calendrier qui définit les horaires de travail. Ce calendrier *standard* est présenté dans la page de **Gestion des calendriers**, menu **Planification**.

Noter que c'est la semaine standard qui est prise en compte dans cette analyse.



Session 1 :

Analyse statique traditionnelle

Évaluation simple des charges et capacités annuelles moyennes

Les flux moyens

Appeler la page **Analyse globale du flux**, par le menu **Technique**. Visualiser alors les caractéristiques de base des demandes des produits à réaliser via l'onglet **Demandes**.

Niveau	Article	Libellé	Demande totale	Coefficient de variation	Besoins	Nombre de lots
0	PF1	Produit fini 1	500	100.00 %	500	500
0	PF2	Produit fini 2	500	100.00 %	500	500

On retrouve dans cet onglet, article par article, le volume de demande annuelle, ainsi que le nombre de lots¹ associés à cette demande et une mesure de variabilité² de l'intervalle de temps entre deux lots successifs.

Les charges moyennes au poste

Visualiser alors les caractéristiques des capacités moyennes par an et charges agrégées moyennes par an pour la cellule d'assemblage, via l'onglet **Charges par poste**.

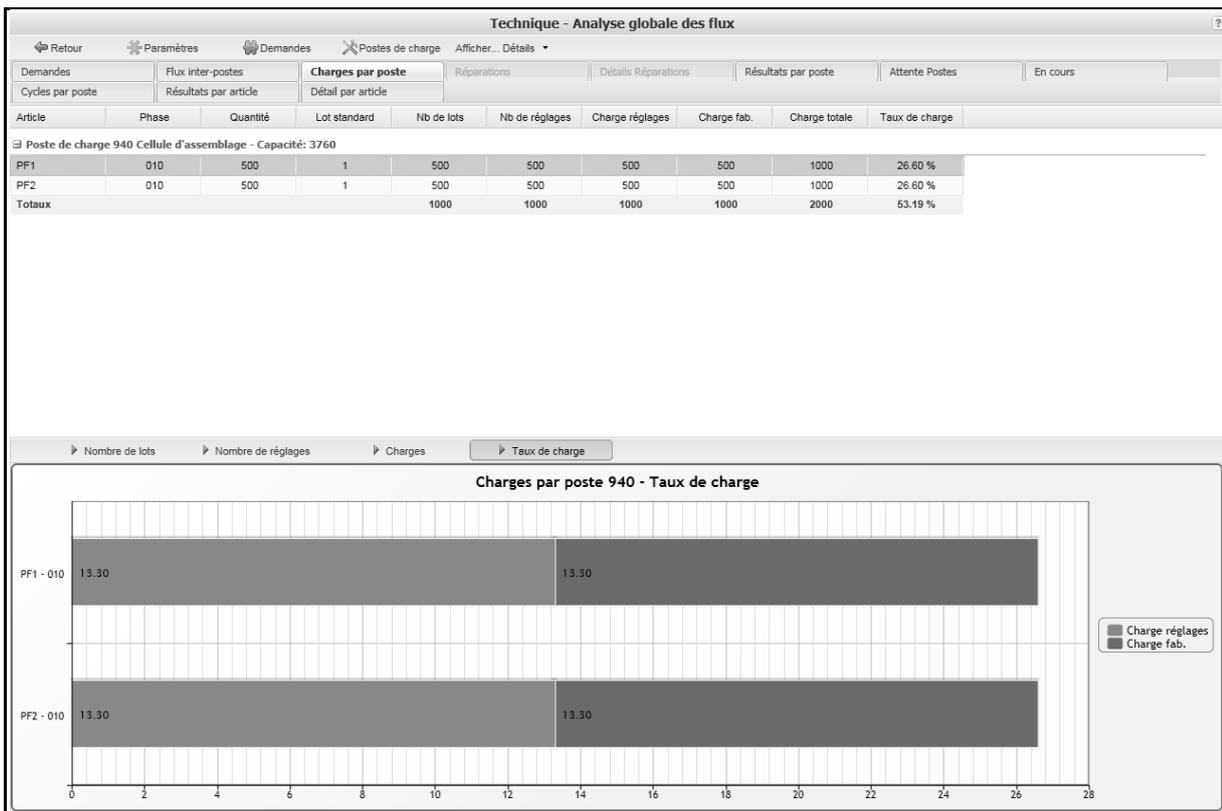
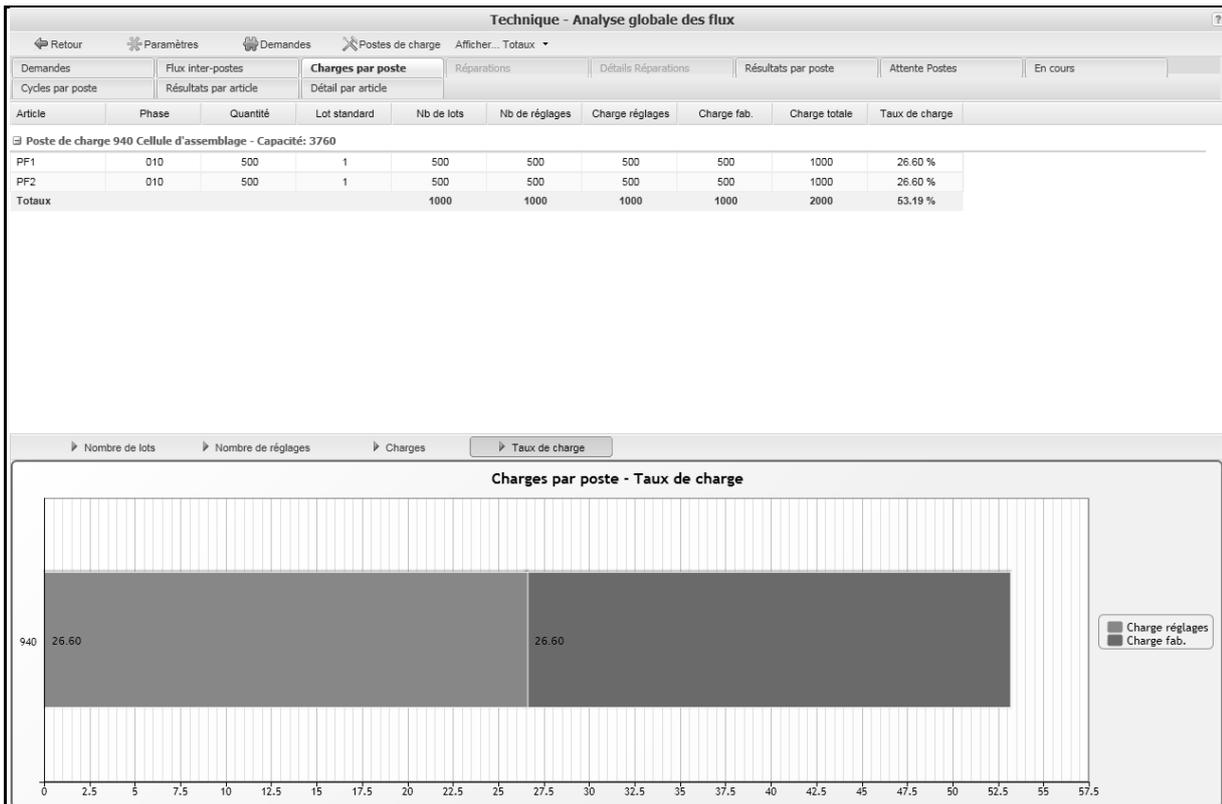
On note que les charges sont réparties entre charges de production et charges de réglage.

Les boutons **CHARGES**, **TAUX DE CHARGE**, **NOMBRE DE LOTS** et **NOMBRE DE REGLAGES** permettent de compléter les informations précédentes,

Ces résultats peuvent être précisés via le bouton **Afficher ... Détails** qui présente les charges induites par chacun des articles.

¹ Ce nombre de lot est important. La taille de lot conditionne à la fois le niveau d'en-cours et les équilibres entre charges et capacités dans la mesure où chaque lot est susceptible d'entraîner un temps de réglage.

² La mesure de variabilité prise ici est le coefficient de variation, défini comme le rapport entre l'écart type du temps entre deux lots et la moyenne de ce temps.



Prise en compte des pannes : analyse empirique

Si on peut mesurer le pourcentage moyen annuel de capacité perdue suite à des pannes, celui-ci peut être intégré via la zone **%Perte de capacité pour pannes** de la page de **Gestion des machines**, menu **Technique**. Le taux mesuré de % de perte de capacité sur panne est de l'ordre de 15% : on saisit donc ce taux dans la zone considérée.

Liste des machines	
Code	Libellé
P1	Poste 1
P2	Poste 2

Technique - Gestion des machines

Retour OK Supprimer Dupliquer

Poste de charge : 940 Cellule d'assemblage

Code Machine : P1

Libellé : Poste 1

% Perte capacité pour pannes : 15

Temps moyen entre pannes : 0

Temps moyen de réparation : 0

En cliquant sur **RETOUR**, on revient sur la page des **Postes de charge** et il est possible de visualiser directement l'effet de ces pannes au niveau global du poste, via la zone **Coefficient de capacité**.

Technique - Gestion des postes de charge

Retour OK Supprimer Machines Emplois Liste S

Poste de charge : 940

Libellé : Cellule d'assemblage

Type : F : Capacité finie

Calendrier : CS Calendrier standard

Coefficient de capacité : 1.7

Commentaire :

Rappeler la fonction d'**Analyse globale des flux**.

Visualiser alors les caractéristiques des capacités et charges de la cellule d'assemblage, via l'onglet **Charges par poste**.



On note la baisse de la capacité moyenne annuelle.

Session 2 :

Prise en compte des pannes : analyse prévisionnelle

En fait, connaissant les caractéristiques de pannes des différentes machines (nombre d'heures de fonctionnement moyen entre pannes et temps moyen de réparation), il est possible, sous les hypothèses traditionnellement retenues dans la littérature³, d'estimer les taux d'immobilisation moyens de chaque machine, et ce a priori sans simuler le système en vraie grandeur, en fonction des effectifs et horaires des réparateurs. De plus, ces périodes d'immobilisations peuvent être scindées en période d'attente d'intervention d'un réparateur et période de réparation proprement dite. Il s'agit là de la première fonctionnalité du module d'analyse globale du flux.

Saisie des données type MTBF⁴ et MTR⁵

Accéder à la page du poste de charge 940, via la fonction **Gestion des poste de charge**, menu **Technique**. Accéder alors à la page de **Gestion des machines**, via le bouton **MACHINES**, et saisir **15** comme **%Perte de capacité pour pannes**, **300** heures comme **temps moyen entre pannes** et **150** heures comme **temps moyen de réparation** (et ce pour les deux machines constituant la cellule 940).

Technique - Gestion des machines	
← Retour	✓ OK
✗ Supprimer	📄 Dupliquer
Poste de charge :	940
	Cellule d'assemblage
Code Machine :	P1
Libellé :	Poste 1
% Perte capacité pour pannes :	15
Temps moyen entre pannes :	300
Temps moyen de réparation :	150

³ On suppose que les temps entre pannes et les temps de réparations sont modélisables par des variables aléatoires distribuées exponentiellement.

⁴ Mean Time Between Failures : temps de fonctionnement moyen entre pannes

⁵ Mean Time to Repair : temps moyen de réparation

Données concernant le temps d'attente des réparateurs

Le temps d'attente d'un réparateur conditionne bien entendu les temps d'immobilisation des machines à cause des pannes. Ce temps peut être saisi via la fenêtre **Paramètres de l'analyse globale des flux**. Saisir 10 heures comme temps d'attente moyen, dans la zone **Temps d'attente fixe de réparation**.

Paramètres

Annuler OK

Nombre de semaines par an : 47

Taille de lots

Lot standard gamme Lot standard article Lot simulé article

Tenir compte...

de la variabilité des demandes
 de la variabilité des temps

Tenir compte des temps d'attente de la main-d'oeuvre...

Non
 Temps d'attente fixe... 10

Tenir compte des pannes machine...

Non
 Perte de capacité machine spécifiée
 Temps fixe de réparation 10

Calcul prévisionnel des temps d'immobilisation en fonction des paramètres

Sélectionner l'onglet **Réparations**. Cet onglet présente le pourcentage de temps perdu par les différents postes, suite au phénomène de pannes,



Le graphe permet de distinguer entre période d'attente de réparateurs et période de réparation proprement dite.

Session 3 :

Prise en compte de la variabilité des flux

Conséquences de la variabilité des flux et indicateurs associés

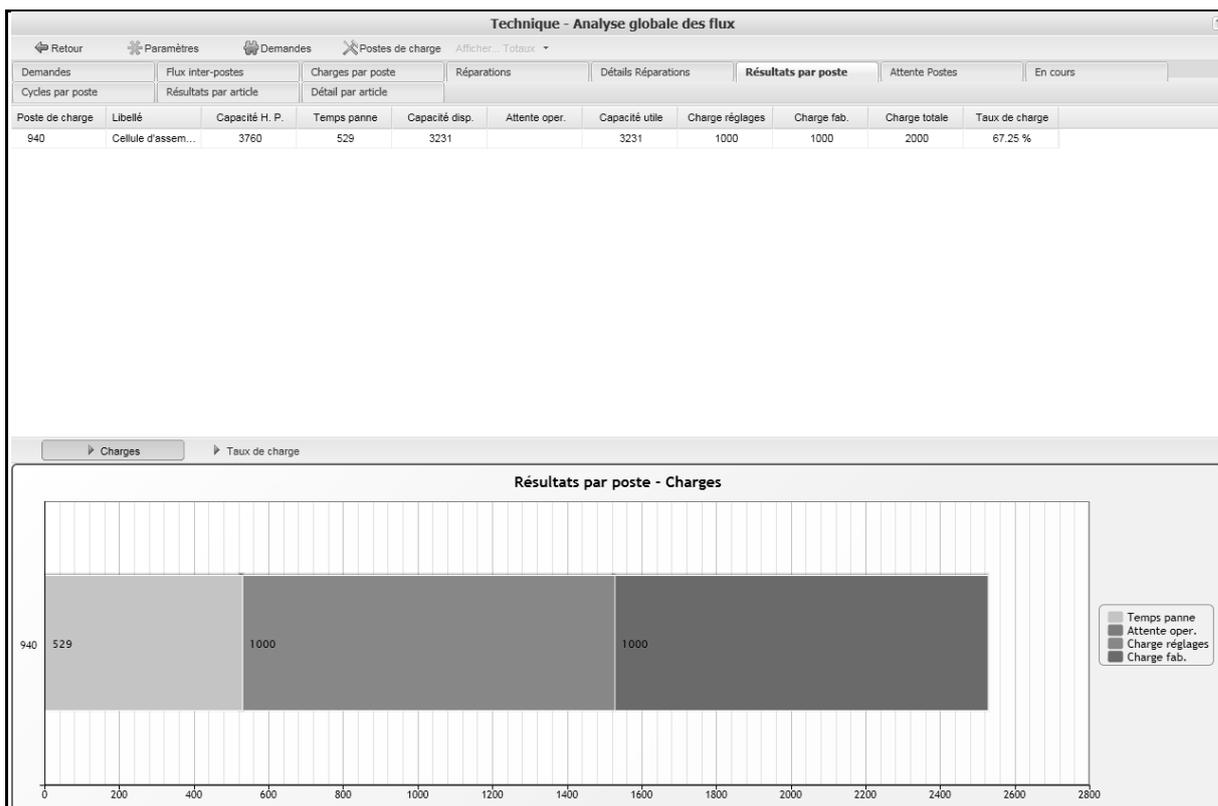
En termes de rapports charges moyennes/capacités moyennes, on a pu constater que dans le cas de l'exemple traité ici, le flux peut être réalisé. Toutefois, cette condition nécessaire ne constitue qu'un volet de la problématique de la gestion des flux. L'autre facette concerne les délais d'écoulement des pièces au travers des différentes opérations. Autrement dit, concerne les temps d'attente aux différentes étapes **avant** réalisation physique des opérations. Ces délais conditionnent bien entendu les volumes d'en-cours présents dans le système. Le but fondamental de l'analyse globale des flux est d'identifier ces délais et en-cours, de manière prévisionnelle. Ce calcul est complexe, car facteur d'un grand nombre de variables comme décrit ci-dessous.

Le système idéal : un système à variabilité zéro

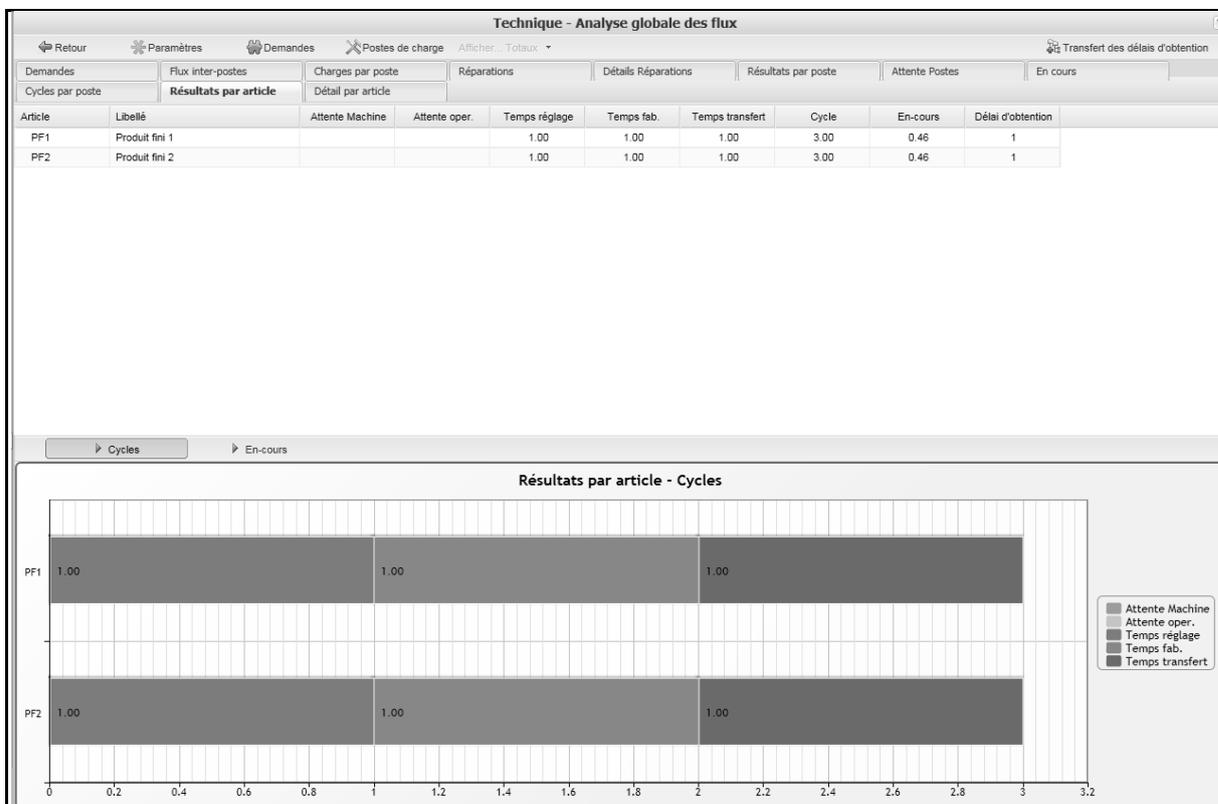
Si on enlève toute source de variabilité⁶, comme les fluctuations de temps entre lancements successifs de lots de production et les fluctuations de temps opératoires (réglage ou production), la réponse devient assez simple (pour peu que le système soit géré intelligemment) : il n'y a aucun phénomène d'attente et les en-cours correspondent aux lots en cours de fabrication sur les équipements.

Lorsque ces variabilités sont nulles, comme ci-dessus, les temps d'attente avant opérations sont nuls ainsi que les en-cours associés. Sélectionner l'onglet **Résultat par poste**.

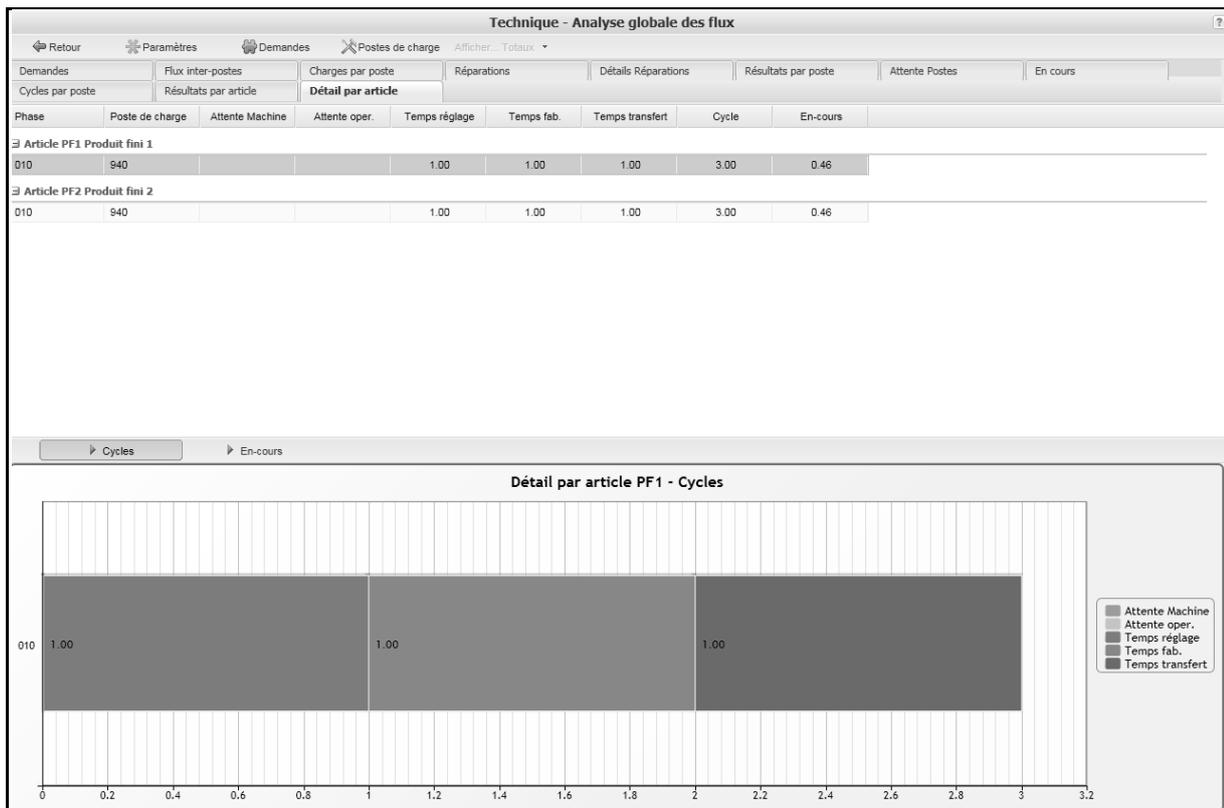
⁶ On a maintenu ici les pannes, dont la prise en compte se fait uniquement en moyenne sur la capacité résiduelle pour les différents postes.



Ces résultats peuvent être précisés via l'onglet **Attente Postes**, qui ne fait apparaître aucune attente et via l'onglet **Résultats par article**. Le **GRAPHE DES CYCLES** permet de compléter les informations précédentes.



Ces résultats peuvent être désagrégés via l'onglet **Détail par article** et les boutons **GRAPHE DES CYCLES** et **GRAPHE DES EN-COURS**



La réalité : un système à variabilité non-nulle

Dans les faits, la situation est moins favorable et les facteurs de variabilité sont tous présents à des degrés divers. Nous allons montrer dans la suite comment la fonction d'analyse globale des flux permet de quantifier l'impact des ces différentes sources de variabilité.

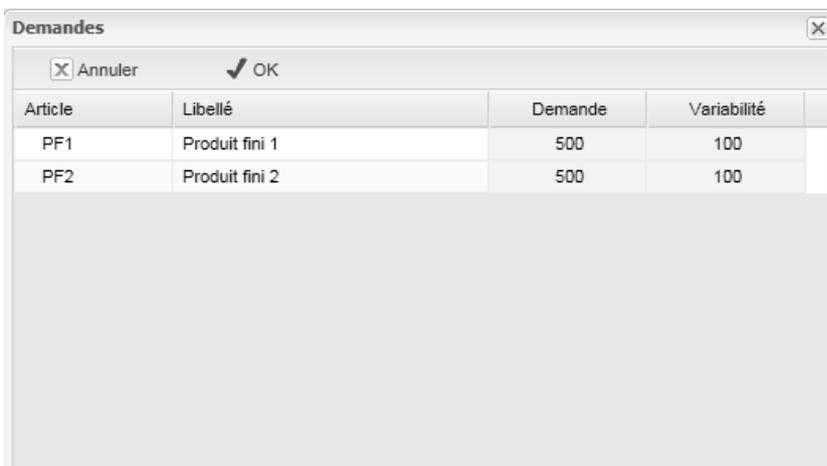
Les pannes et réparations

On a montré déjà comment le phénomène de panne induit des pertes de capacité moyenne pour les ressources. Dans l'analyse de flux considérée ici, on prendra en compte cette perte moyenne, qui baisse les plages de temps disponible pour traiter les flux et *ipso facto* rend le système plus sensible aux autres sources de variabilité.

Les fluctuations sur les temps entre deux lots successifs

Les flux matières peuvent également présenter une autre variabilité, au sens où les temps entre deux lancements de lots successifs à un poste peuvent être irréguliers. En effet, la combinaison de ventes fluctuantes avec la complexité des procédures de planification des systèmes industriels rend les processus d'arrivée des lots aux postes de travail potentiellement irréguliers. Cette variabilité du processus d'arrivée des lots aux postes se combine avec la variabilité potentielle des temps opératoires et accroît le phénomène d'attente.

La possibilité existe de saisir les pourcentages de fluctuations de ces temps dans la fenêtre **Demandes** (bouton **Demandes**), zone **Variabilité**⁷. Saisir *100* dans ces zones pour chaque article.



The screenshot shows a dialog box titled "Demandes" with a close button (X) in the top right corner. At the top, there are two buttons: "Annuler" (with an X icon) and "OK" (with a checkmark icon). Below these buttons is a table with the following data:

Article	Libellé	Demande	Variabilité
PF1	Produit fini 1	500	100
PF2	Produit fini 2	500	100

Valider par **OK**.

⁷ La mesure de variabilité prise ici est le coefficient de variation, défini comme le rapport entre l'écart type du temps entre deux lots et la moyenne de ce temps.

Sélectionner les options comme ci-dessous sur la fenêtre **Paramètres**.

Paramètres

Annuler OK

Nombre de semaines par an : 47

Taille de lots

Lot standard gamme
 Lot standard article
 Lot simulé article

Tenir compte...

de la variabilité des demandes
 de la variabilité des temps

Tenir compte des temps d'attente de la main-d'oeuvre...

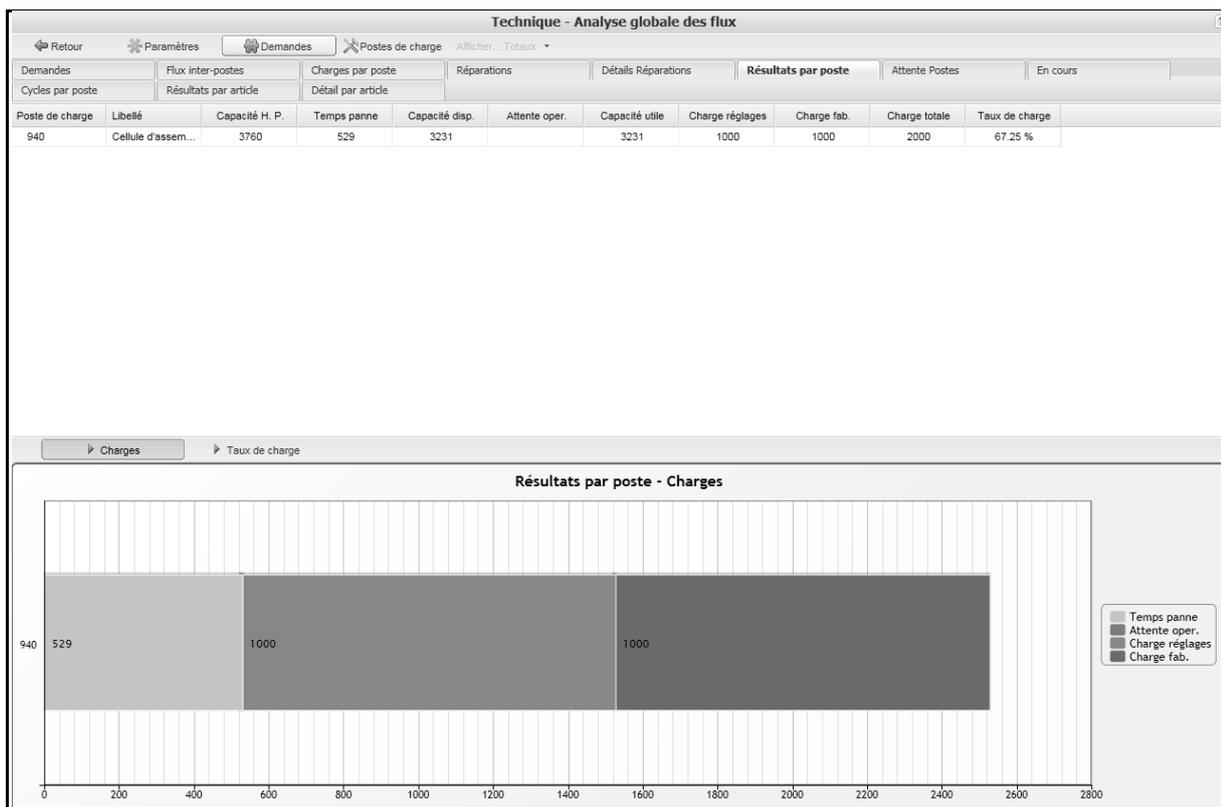
Non
 Temps d'attente fixe... 10

Tenir compte des pannes machine...

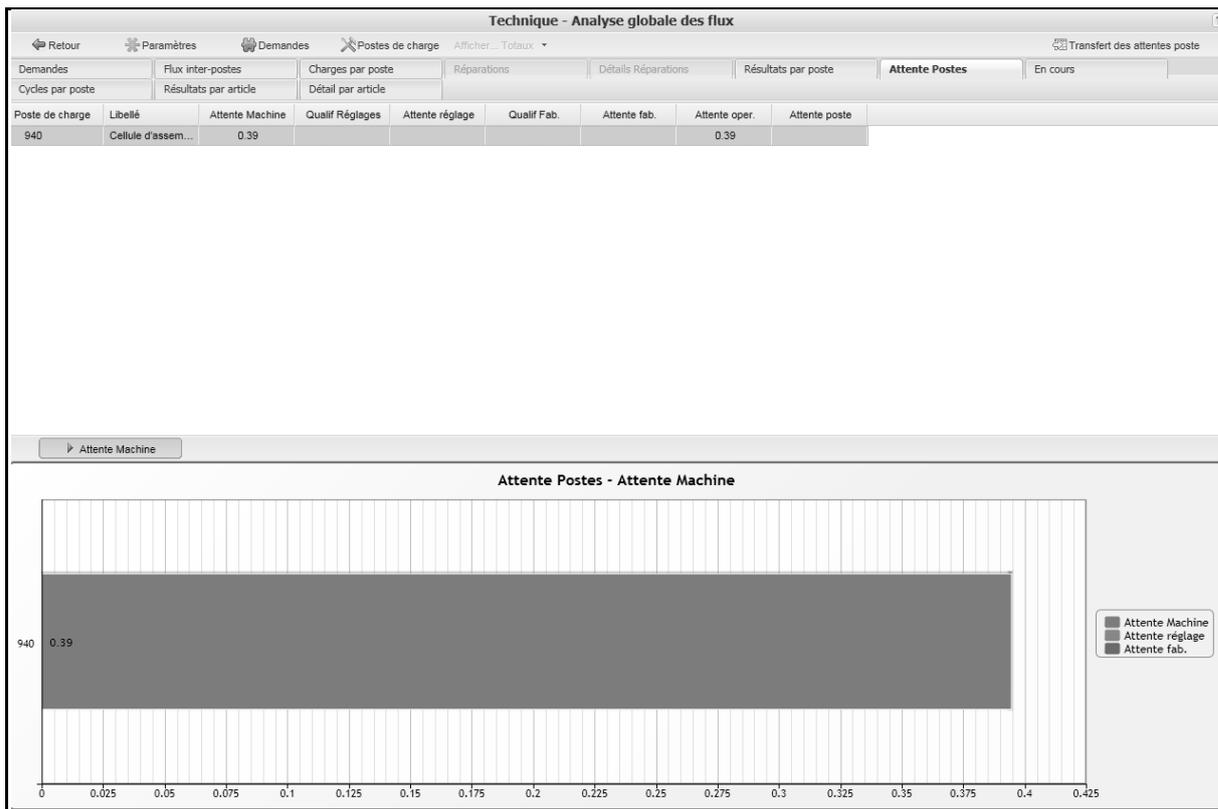
Non
 Perte de capacité machine spécifiée
 Temps fixe de réparation 10

Valider par **OK**.

Sélectionner l'onglet **Résultats par poste**.



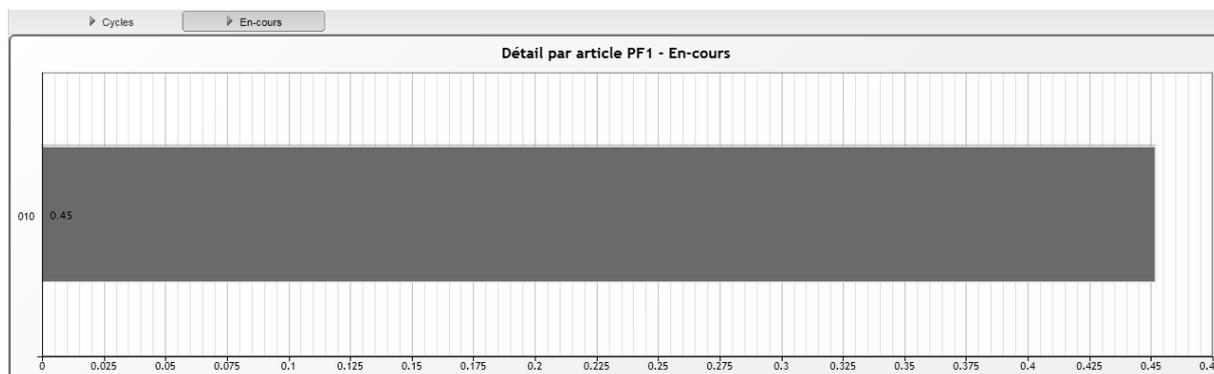
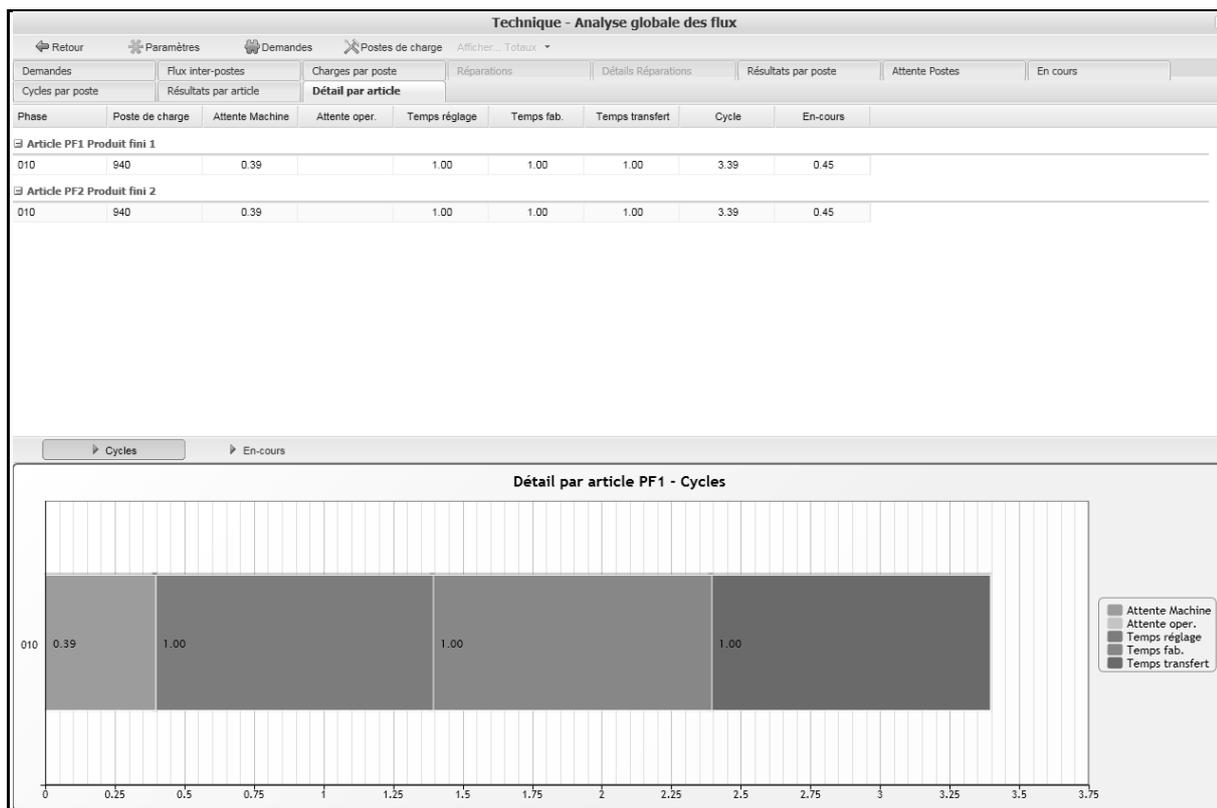
Ces résultats peuvent être précisés via l'onglet **Attente Postes**.



et via l'onglet **Résultats par article**,



Ces résultats peuvent être désagrégés via l'onglet **Détail par article** et les boutons **GRAPHES DES CYCLES** et **GRAPHES DES EN-COURS**.



Conclusion

Analyse dynamique des flux via la théorie des files d'attente

Cet exercice élémentaire a présenté l'esprit général de l'analyse des flux au sein d'un système industriel, analyse exploitant la théorie des files d'attente. On a montré que cette approche permet d'intégrer des phénomènes comme les pannes et réparations, fluctuations des temps opératoires et irrégularité des flux matières. Les indicateurs principaux obtenus sont les taux de charges moyens des ressources, ainsi que niveaux d'en-cours et délais et temps d'attente au sein du système.