

[e-Prelude.com](http://e-Prelude.com)

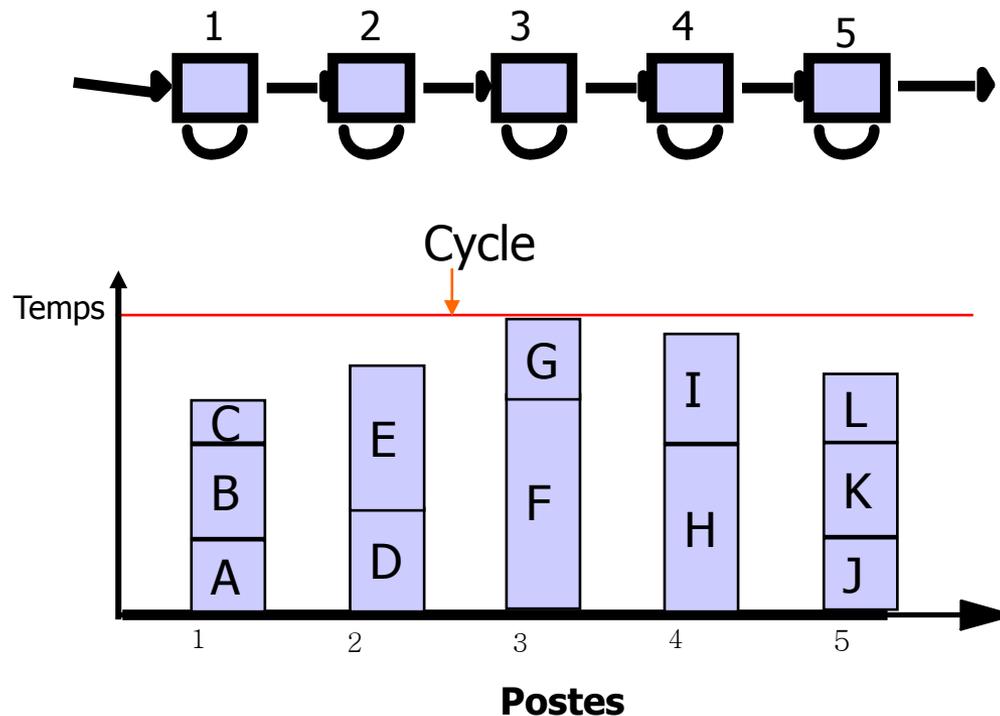
**Module pédagogie**  
**Equilibrage de chaîne**

# Accès au logiciel

- L'accès au logiciel d'équilibrage de chaîne n'est possible que pour les professeurs et si le module Pédagogie est activé pour le cours.
- Dans le module [Pédagogie](#) (dans la liste des répertoires de la page Gestion des documents), sélectionner le sous-répertoire [Equilibrage de chaîne](#).
- Dans la liste des fichiers, sélectionner [LineBalancing](#) et cliquer sur [Ouvrir](#). Le jeu de données est vide.
- La liste des fichiers comporte d'autres exemples.
- Pour l'exposé général sur l'équilibrage de chaîne, on se reportera aux contenus proposés sur le site
  - Onglet [Concepts](#) > Page [Gestion industrielle](#) > paragraphe [Les processus connectés](#)

# Définition du problème

- Répartir des opérations sur des postes de travail
- Le **temps de cycle** de la chaîne est le temps du **poste le plus chargé**
- Les opérations peuvent être soumises à des contraintes d'antériorité



# La gestion des opérations

- Cliquer sur le bouton **Editer**
- La fenêtre de **gestion des opérations** est présentée
  - Permet d'ajouter, de modifier et de supprimer les opérations
    - Une opération est définie par un code, un libellé (optionnel) et une durée
  - Permet d'ajouter ou de supprimer une contrainte d'antériorité entre les opérations (boutons **Ajouter** et **Supprimer** sur la liste des antécédents)

The screenshot shows a software window titled "Gestion des opérations". At the top, there are buttons for "Valider" (checked) and "Annuler". Below this is a table of existing operations:

Code	Libellé	Durée
A		26
B		29
C		23
D		16
E		27
F		20
G		11
H		21
I		16
J		30
K		21
L		10

To the right of the table is a form for adding a new operation, with buttons for "Nouvelle", "OK" (checked), and "Supprimer". The form fields are:

- Code : L
- Libellé : (empty)
- Durée : 10

Below the form is a section titled "Liste des antécédents" with buttons for "Ajouter" and "Supprimer". It contains a table of dependencies:

Code	Libellé
E	
J	
K	

# Le graphe des antériorités

- Lorsque l'on clique sur **Valider**, le système affiche le graphe des relations d'antériorité

**e-Prelude** Exemple  
Equilibrage de chaîne

Quitter    Editer    Ouvrir    Enregistrer    Nouveau

Graphe d'antériorité des opérations

```
graph LR; A[A] --> C[C]; A --> E[E]; B[B] --> E[E]; B --> H[H]; C --> D[D]; C --> F[F]; D --> G[G]; E --> F[F]; E --> J[J]; F --> J[J]; F --> I[I]; H --> K[K]; I --> J[J]; I --> L[L]; G --> J[J]; K --> J[J]; J --> L[L];
```

Affection des opérations

Nombre de postes : 5    Optimiser    Nombre de décimales : 0    Effacer

Code	Libellé	Durée	Antécédents	Niveau	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
A		26		0					
B		29		0					
C		23	A,B	1					
D		16	C	2					
E		27	A	1					
F		20	C	2					
G		11	D	3					
H		21	B	1					
I		16	F	3					
J		30	G,I	4					
K		21	H	2					
L		10	E,J,K	5					

250    Cycle : 0

# Choix du nombre de postes

## Affectation manuelle

- Sur le **tableau d'affectation des opérations**
  - On choisit le **nombre de postes** dans la liste déroulante (ainsi que le nombre de décimales à afficher)
  - On affecte une opération en à un poste cliquant sur la cellule à l'intersection du poste et de la tâche

Affectation des opérations										
Nombre de postes : 5		* Optimiser		Nombre de décimales : 0		Effacer				
Code	Libellé	Durée	Antécédents	Niveau	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	
A		26		0	26					
B		29		0	29					
C		23	A;B	1		23				
D		16	C	2		16				
E		27	A	1	27					
F		20	C	2		20				
G		11	D	3			11			
H		21	B	1				21		
I		16	F	3				16		
J		30	G;I	4						30
K		21	H	2						21
L		10	E;K	5						10

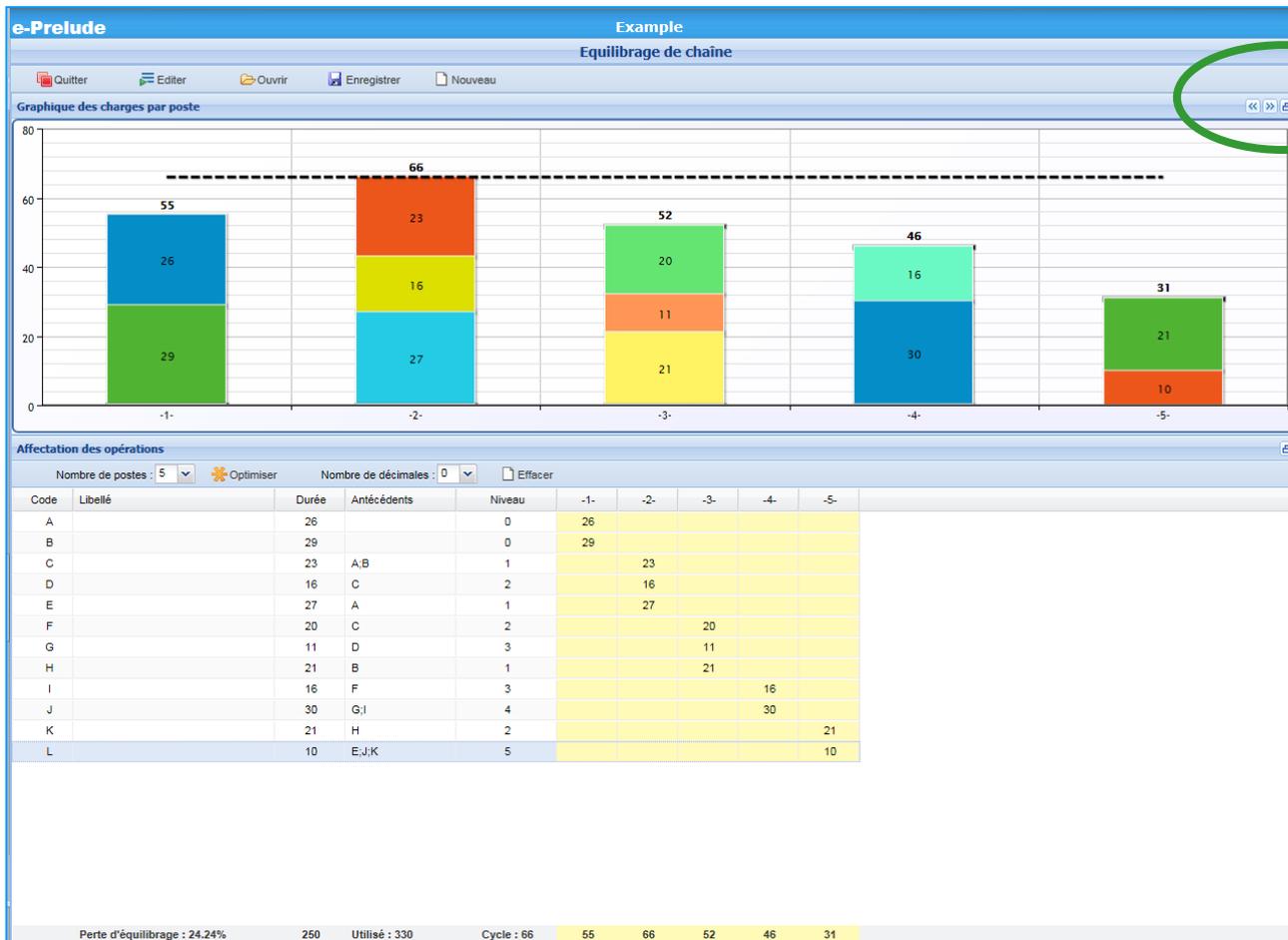
Sont calculés

- le temps total des opérations
- le temps de cycle (le poste le plus long)
- le temps utilisé (cycle x nb de postes)
- la perte d'équilibrage

Perte d'équilibrage : 39.02%	250	Utilisé : 410	Cycle : 82	82	59	11	37	61
------------------------------	-----	---------------	------------	----	----	----	----	----

# Graphique des charges

- Les boutons en haut à droite permettent
  - d'afficher le **graphe d'antériorité** des opération
  - d'afficher le **graphique des charges** par poste et le cycle
  - De passer les graphes **en plein écran** (en masquant la liste des opérations)



# Recherche d'un bon équilibre

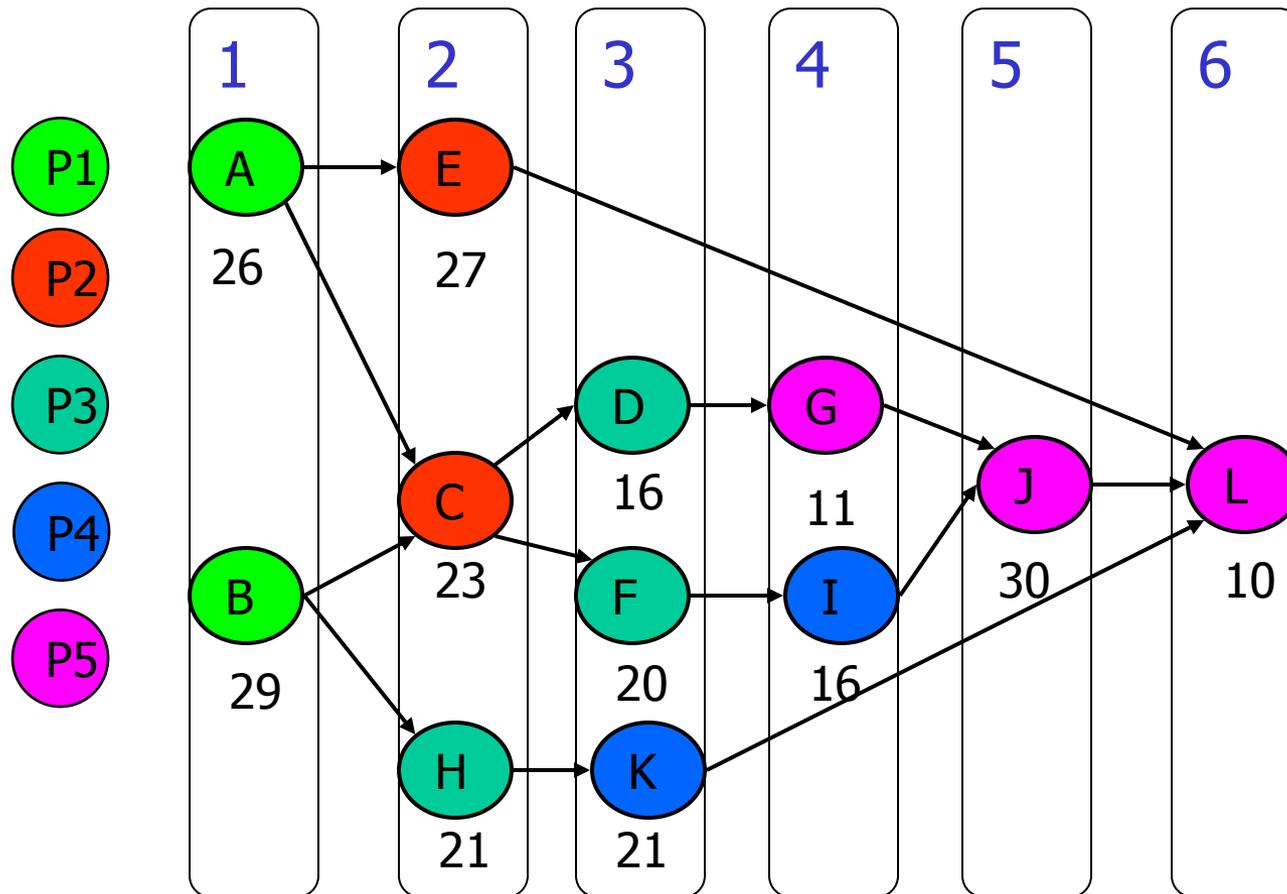
- On peut ajuster l'équilibre en déplaçant une opération d'un poste à un autre (en cliquant sur la cellule désirée)
- Le système vérifie les relations d'antériorité
- Le graphe est mis à jour
- Le critère est la perte d'équilibre

# Recherche d'un bon équilibrage

## Algorithme de Webster et Kilbridge

- On choisit le nombre de postes et on calcule le temps de cycle optimal
- On traite les opérations par niveau d'antériorité (cf. graphe)
- On affecte à chaque poste les opérations restantes de niveau le plus bas en commençant par les plus longues jusqu'à saturation du poste
- Si toutes les opérations ne peuvent être placées, on augmente le temps de cycle et on recommence

# Affecter à chaque poste les opérations restantes de niveau le plus bas

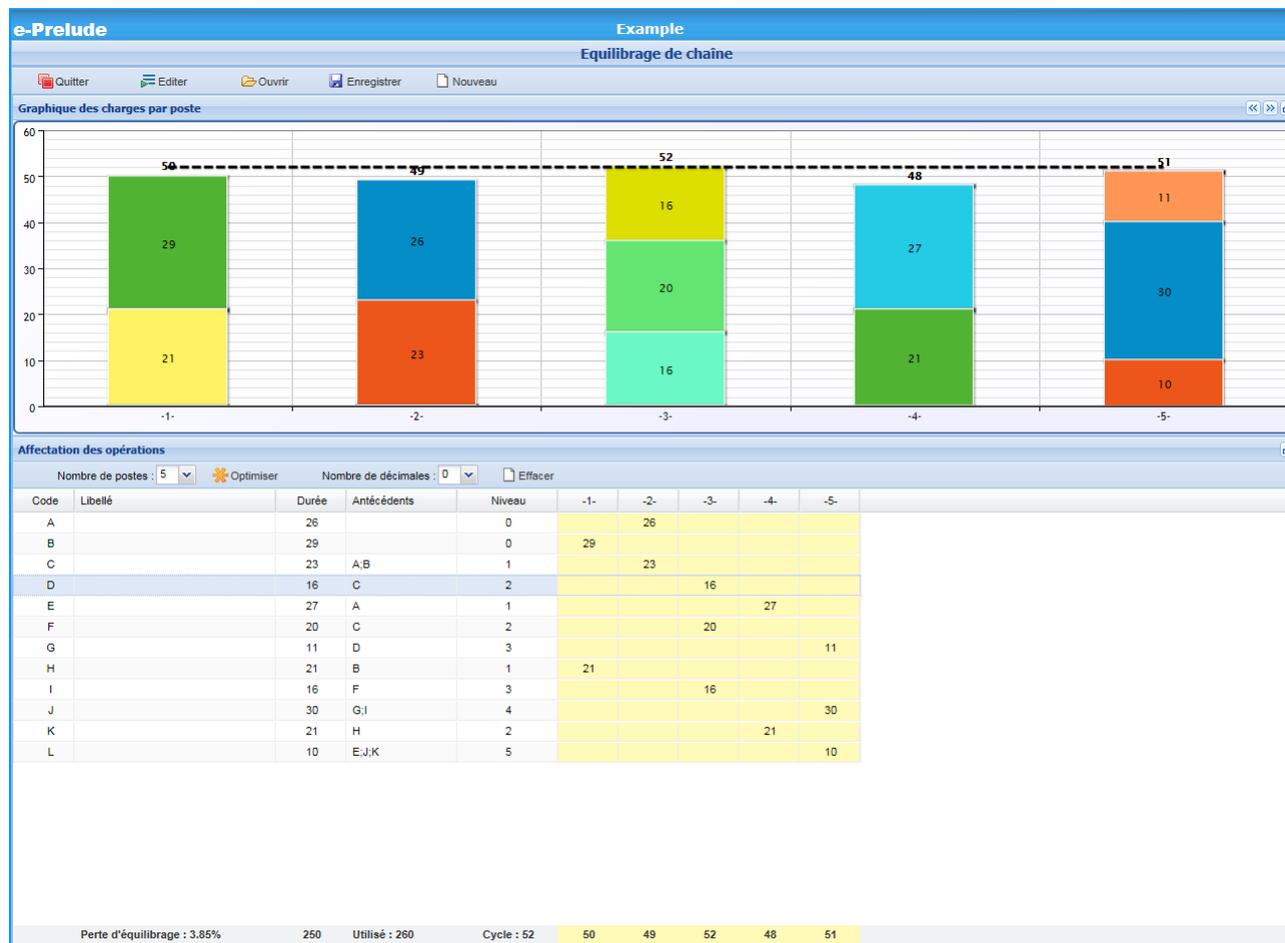


# L'optimisation de l'équilibrage

- Problème combinatoire complexe
- Seule solution d'optimisation :  
la programmation linéaire en nombres entiers
- Formulation
  - $i$  : opération,  $k$  : poste,  $N$  : nombre de postes
  - $x_{ij}$  : variables binaires représentant les affectations des opérations aux postes
  - $\sum x_{ik} = 1$  : toute opération est affectée
  - $i$  doit précéder  $j$   
 $\sum (kx_{ik}) \leq \sum (kx_{jk})$
  - Charge des postes  $\leq$  au temps de cycle :  $c$   
 $\sum t_{ik}x_{ik} \leq c$
  - Minimiser  $c$
- Inconvénient
  - Demande des temps de calculs très longs même sur des problèmes de taille moyenne

# L'optimisation de l'équilibrage

- Cliquer sur le bouton **Optimiser** (accessible seulement aux professeurs)



# Fonctions de service

- Enregistrer
  - Permet de sauvegarder le jeu de données
- Ouvrir
  - Permet de charger un jeu de données
- Nouveau
  - Permet d'entrer un nouveau jeu de données

