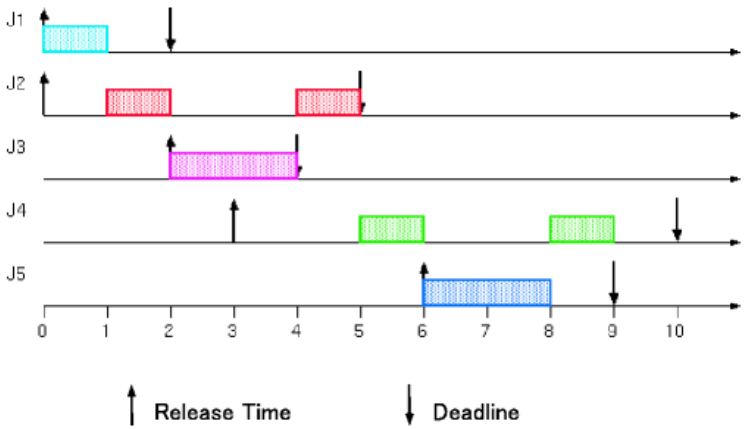
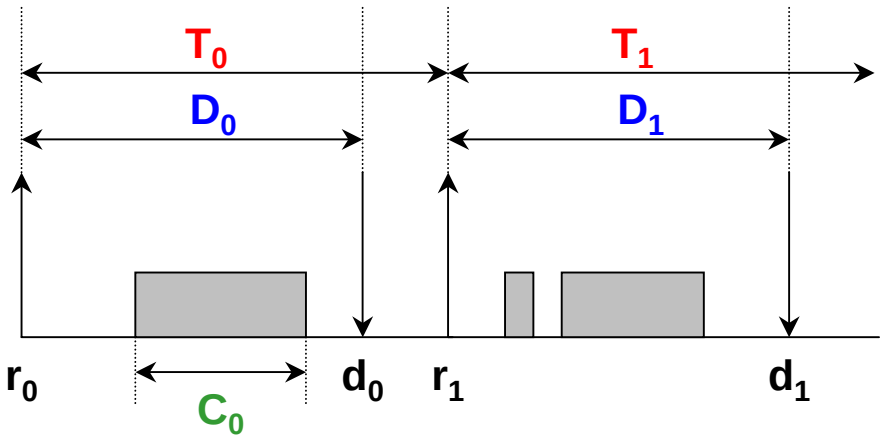
Problématique de l’ordonnancement temps-réel



Plan du cours

- La notion de tâche temps-réel
- Le mécanisme d'ordonnancement
- L'ordonnancement de tâches périodiques
- L'ordonnancement de tâches apériodiques

Le modèle canonique des tâches temps-réel $\tau_i(C_i, T_i, D_i)$



- r_i : date de réveil
- T_i : période d'exécution
- C_i : durée d'exécution maximale
- D_i : délai critique
- $d_i = r_i + D_i$: date d'échéance
- $L = D_i - C_i$: laxité

Les niveaux de contraintes temporelles

- Temps-réel **strict/dur** (*hard real-time*) *(ex : Airbag)*

  - toutes les instances de tâches doivent être exécutées dans le respect de leurs échéances

- Temps-réel **souple/mou** (*soft real-time*) *(ex : Distributeur automatique)*

  - les tâches peuvent manquer des échéances

- Temps-réel **ferme** (*firm real-time*) *(ex : Systèmes multimédias)*

  - les tâches sont autorisées à ne pas respecter *occasionnellement* leurs échéances

Les types de tâches temps-réel

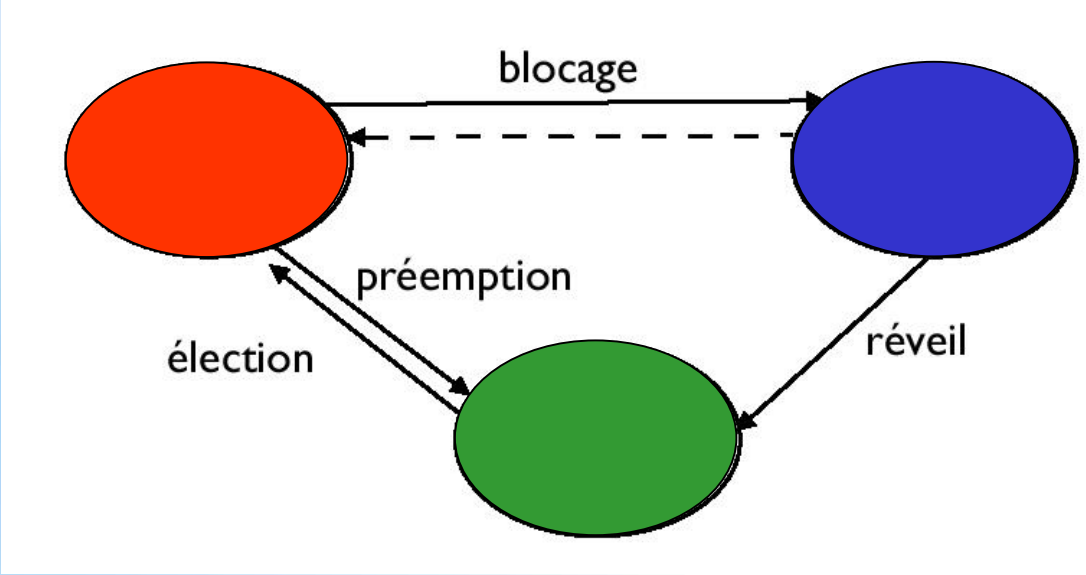
- Les tâches **périodiques** *(ex : Relevé de température)*

  - activation à intervalles réguliers,
  - à échéances sur requêtes si $D_i = T_i$

- Les tâches **apériodiques/sporadiques**

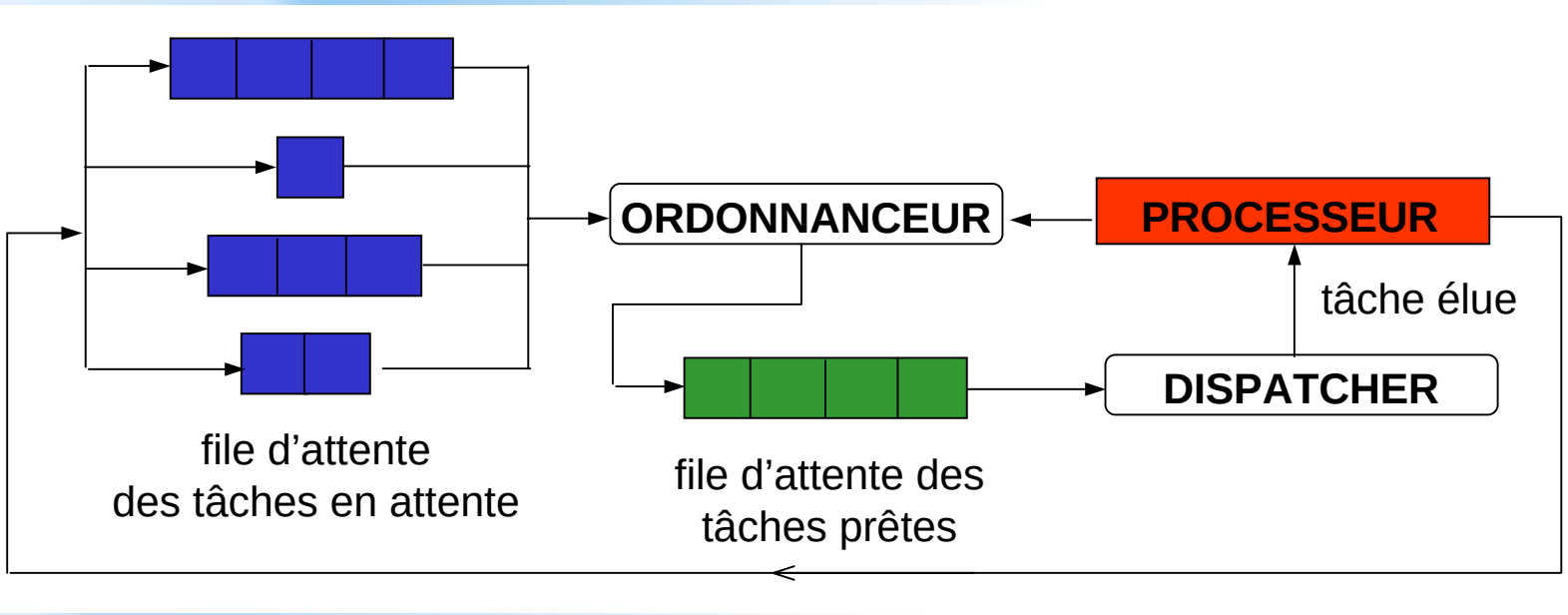
  - activation à des instants irréguliers,
  - intervalle de temps entre deux activations borné (sporadiques) ou non (apériodiques),
  - à contraintes relatives, *(ex : Requête sur une borne de service)*
  - à contraintes strictes *(ex : Arrêt d'urgence)*

Diagramme d'états d'une tâche temps-réel



- courant : la tâche s'exécute sur le processeur
- prêt : la tâche est prête à s'exécuter mais n'a pas le processeur
- en-attente : il manque une ressource (en plus du processeur) à la tâche pour qu'elle puisse s'exécuter

L'ordonnancement des tâches temps-réel

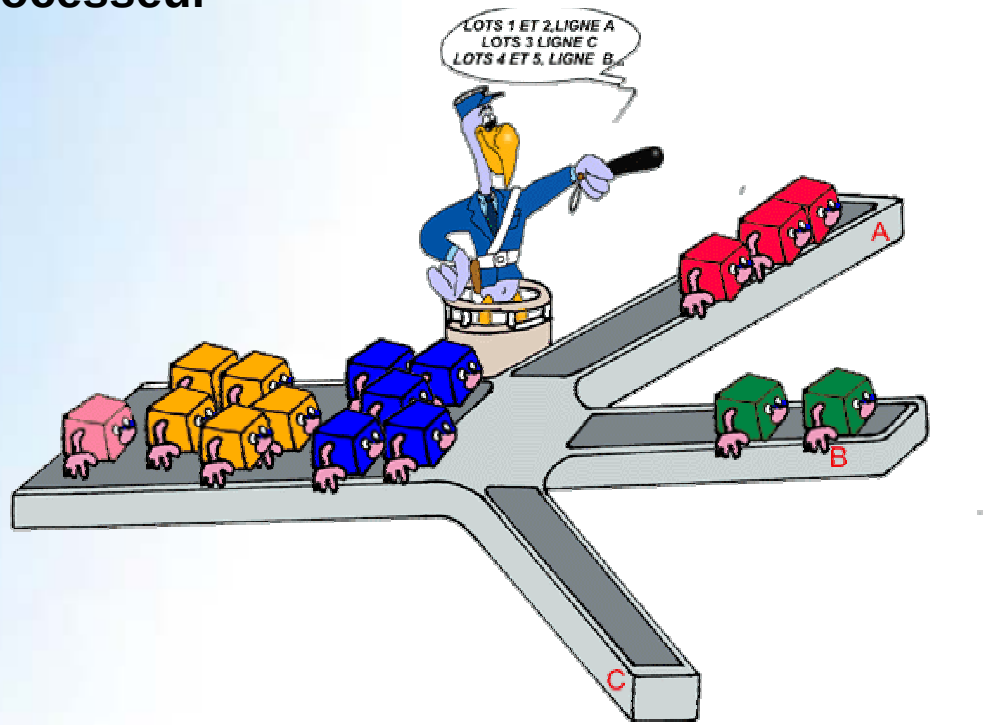


- **ORDONNANCEUR** : alloue le processeur aux différentes tâches

- **DISPATCHER** : implémente l'ordonnanceur (élection des tâches prêtes)

Typologie des algorithmes d'ordonnancement

- **Monoprocesseur / multiprocesseur**
- **En-ligne / Hors-ligne**
- **Préemptif / Non préemptif**
- **Oisif / Non oisif**
- **Centralisé / Réparti**



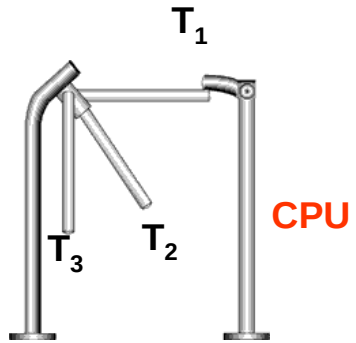
L’ordonnancement non préemptif

- Ordonnancement **selon l’ordre d’arrivée** :
  - premier arrivé, premier servi (First Come First Serve - FCFS)

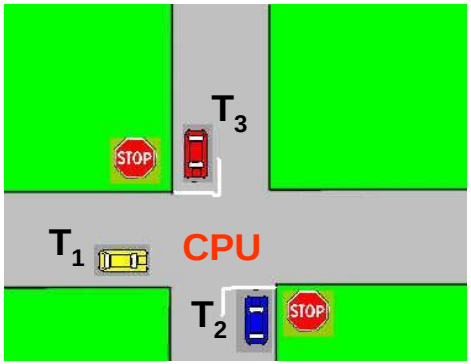
- Ordonnancement **selon la durée de calcul** :
  - le plus court d’abord (Shortest Job First – SJF)

L'ordonnancement préemptif

- Ordonnancement **sans notion de priorité** :
  - temps-partagé avec politique du tourniquet (round-robin)



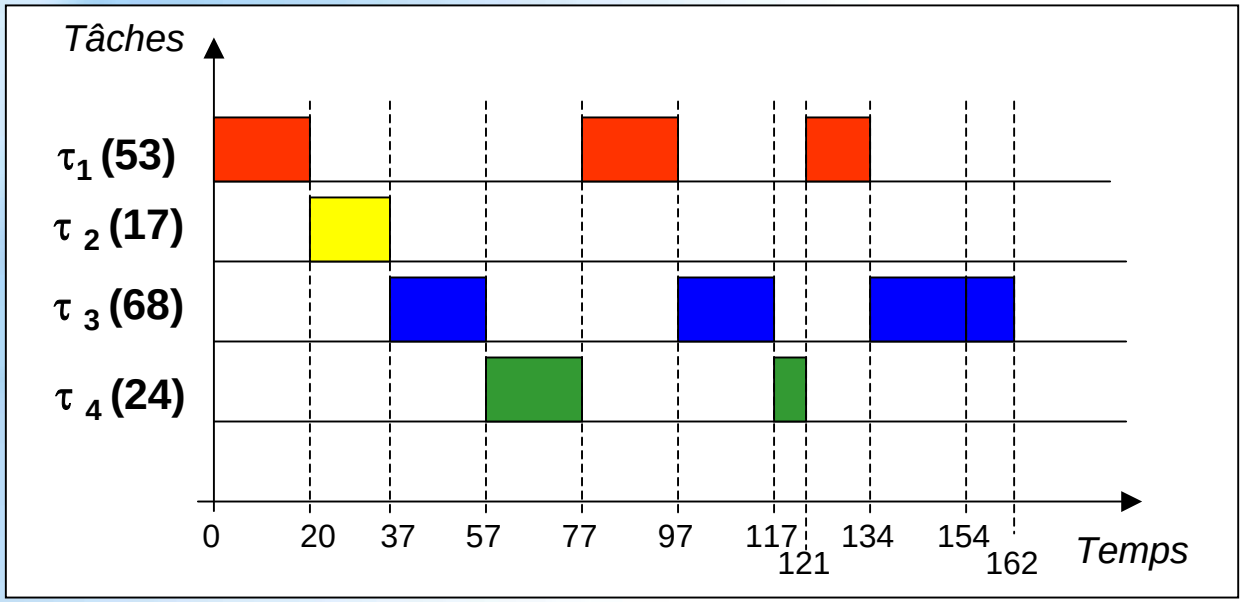
- Ordonnancement **à priorités** (statiques ou dynamiques) :
  - la tâche la plus prioritaire obtient le processeur



L'ordonnancement temps-partagé (Round-Robin)

- **Principe** : allocation du processeur par tranche (quantum) de temps

- **Exemple** (q=20, n=4) :



- Chaque tâche obtient le processeur au bout de **(n-1)*q** unités de temps au plus

L'ordonnancement temps-partagé (Round-Robin)

- **Intérêts** : 
  - Equité de l'attribution du processeur entre toutes les tâches
  - Mise en œuvre simple
- **Inconvénients** : 
  - Pas de prise en compte de l'importance relative des tâches
  - Difficulté du choix de la tranche de temps
    - → Si q est trop grand, round-robin devient équivalent à FIFO
    - → Si q est trop petit, il y a augmentation du nombre de changements de contexte !

L'ordonnancement préemptif à priorités

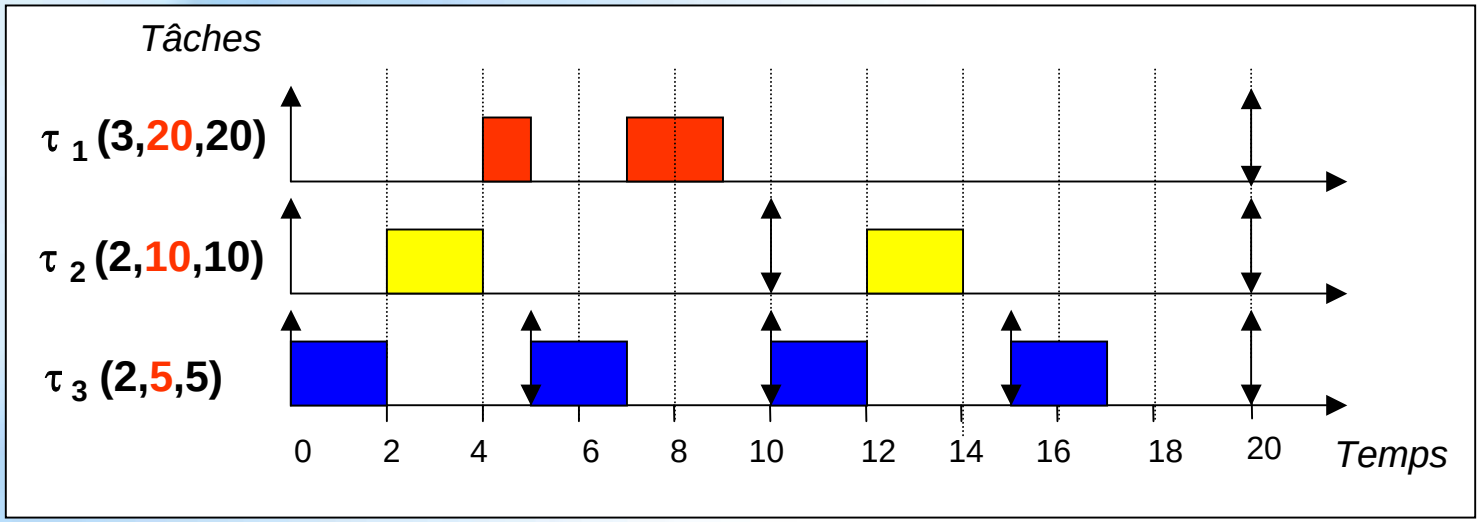
- **Ordonnancement à priorités fixes (statiques)**
  - Rate Monotonic (RM)
  - Deadline Monotonic (DM)

- **Ordonnancement à priorités dynamiques**
  - Earliest Deadline First (EDF)
  - Least Laxity First (LLF)

Rate Monotonic (RM)

- **Principe** : une tâche est d'autant plus prioritaire que sa période d'activation T_i est petite

- **Exemple** :



- **Propriété** : RM est **optimal** dans la classe des algorithmes à priorités fixes pour des tâches périodiques indépendantes à échéances sur requêtes ($D_i=T_i$)

Rate Monotonic (RM)

- **Conditions de faisabilité :**

- Condition nécessaire : $$U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq 1$$

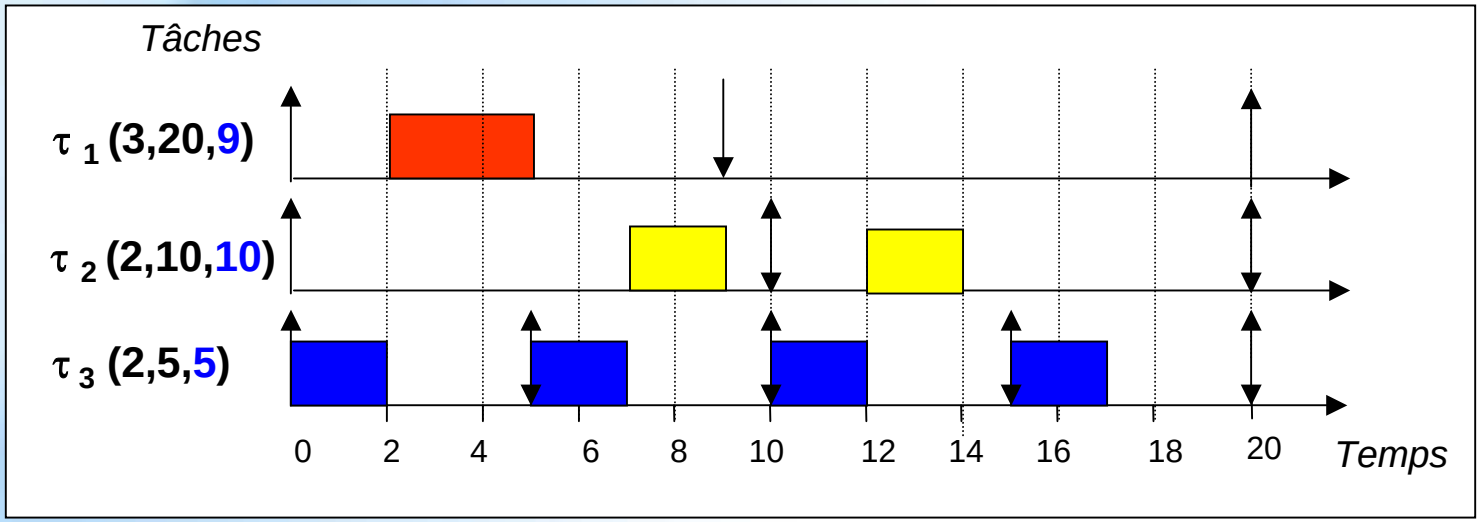
- Condition suffisante : $$U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq n(2^{1/n} - 1)$$

$$U(1) = 1; \quad U(2) = 0.828; \quad U(3) = 0.779; \quad \boxed{U(\infty) = \ln 2 \approx 0.693}$$

Deadline Monotonic (DM)

- **Principe** : une tâche est d'autant plus prioritaire que son délai critique D_i est petit

- **Exemple** :



- **Propriété** : DM est **optimal** dans la classe des algorithmes à priorités fixes pour des tâches périodiques indépendantes telles que $D_i \leq T_i$

Deadline Monotonic (DM)

- **Conditions de faisabilité :**

- Condition nécessaire : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq 1$

- Condition suffisante : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{D_i} \leq n(2^{1/n} - 1)$

$U(1) = 1;\quad U(2) = 0.828;\quad U(3) = 0.779;\quad \boxed{U(\infty) = \ln 2 \approx 0.693}$

L'ordonnancement à priorités fixes

- **Intérêts** : 

  - Mécanisme simple
  - S'implante naturellement dans les OS du marché

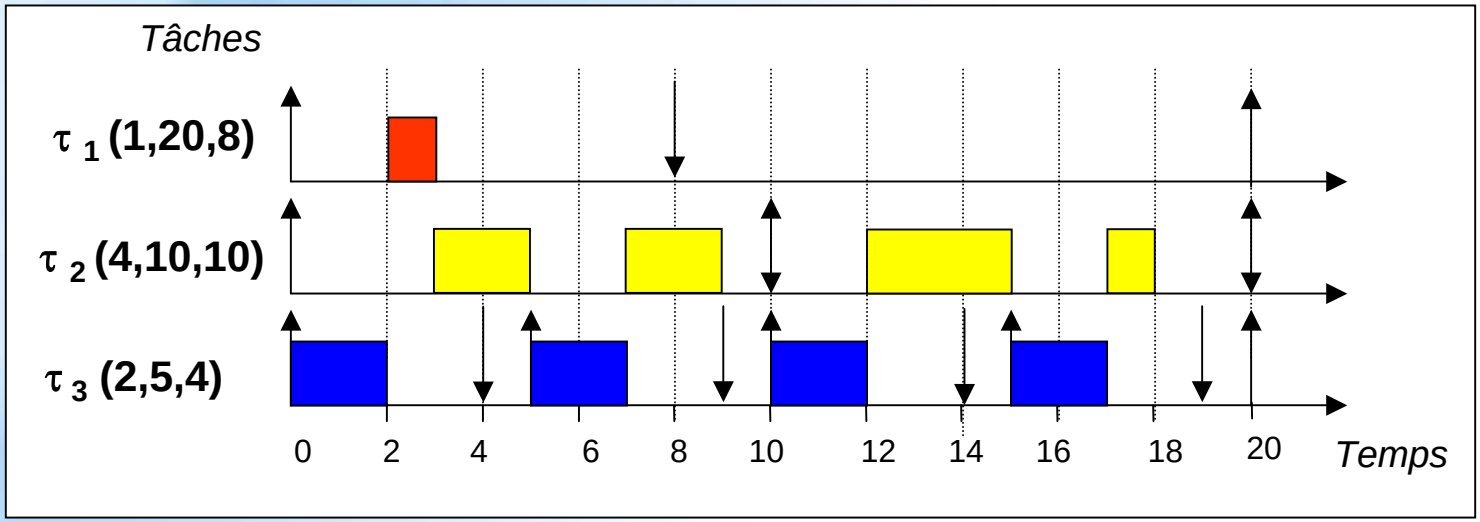
- **Inconvénients** : 

  - Hypothèses restrictives
  - Indépendance des tâches impérative pour l'utilisation des conditions de faisabilité
  - Borne supérieure pour le facteur d'utilisation du processeur

Earliest Deadline First (EDF)

- **Principe** : à chaque instant, la tâche la plus prioritaire est celle dont l'échéance absolue d_i est la plus proche

- **Exemple** :



- **Propriété** : EDF est **optimal** dans la classe des algorithmes préemptifs pour des tâches périodiques indépendantes telles que $D_i \leq T_i$

Earliest Deadline First (EDF)

- **Condition de faisabilité :**

  - **si $D_i=T_i$:**

    - Condition nécessaire et suffisante : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq 1$

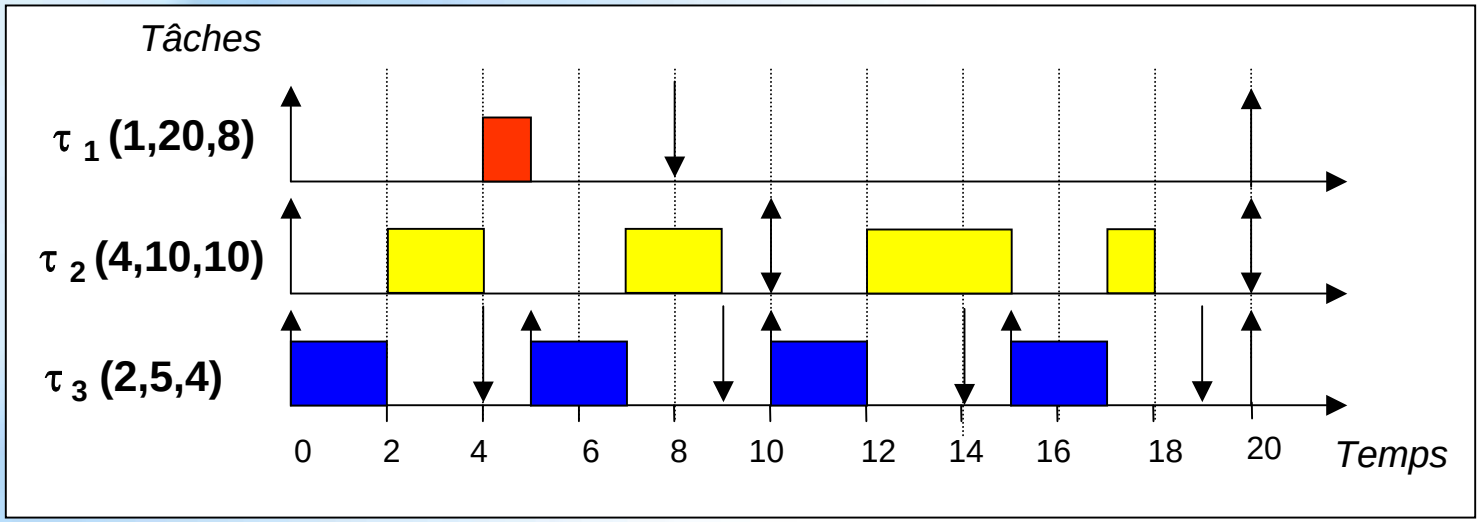
  - **si $D_i \leq T_i$:**

    - Condition suffisante : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{D_i} \leq 1$

Least Laxity First (LLF)

- **Principe** : à chaque instant, la tâche la plus prioritaire est celle dont la laxité $L(t) = r_i+D_i-(t+C_i\ (t))$ est la plus petite

- **Exemple** :



- **Propriété** : LLF est **optimal** dans la classe des algorithmes préemptifs pour des tâches périodiques indépendantes telles que $D_i \leq T_i$

Least Laxity First (LLF)

- **Condition de faisabilité :**

  - **si $D_i=T_i$:**

    - Condition nécessaire et suffisante : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq 1$

  - **si $D_i \leq T_i$:**

    - Condition suffisante : $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{D_i} \leq 1$

L'ordonnancement à priorités dynamiques

- **Intérêts** : 

  - Simplicité de mise en oeuvre
  - Optimisation de l'usage des ressources
  - Bien adapté aux tâches périodiques à courtes échéances

- **Inconvénients** : 

  - Indépendance des tâches impératives pour l'utilisation des conditions de faisabilité
  - Instabilité en cas de surcharge (EDF)
  - Nombreux changements de contexte dans certains cas (LLF)
  - Difficilement implantable dans les OS actuels

L'ordonnancement de tâches apériodiques

- **Objectif** :

  - cas de tâches apériodiques **à contraintes relatives**

    → minimiser le temps de réponse des tâches

  - cas de tâches apériodiques **à contraintes strictes**

    → garantir le respect d'un maximum de tâches

L'ordonnancement de tâches apériodiques

- La gestion des tâches **en arrière-plan** :
  - Background scheduling (BG)

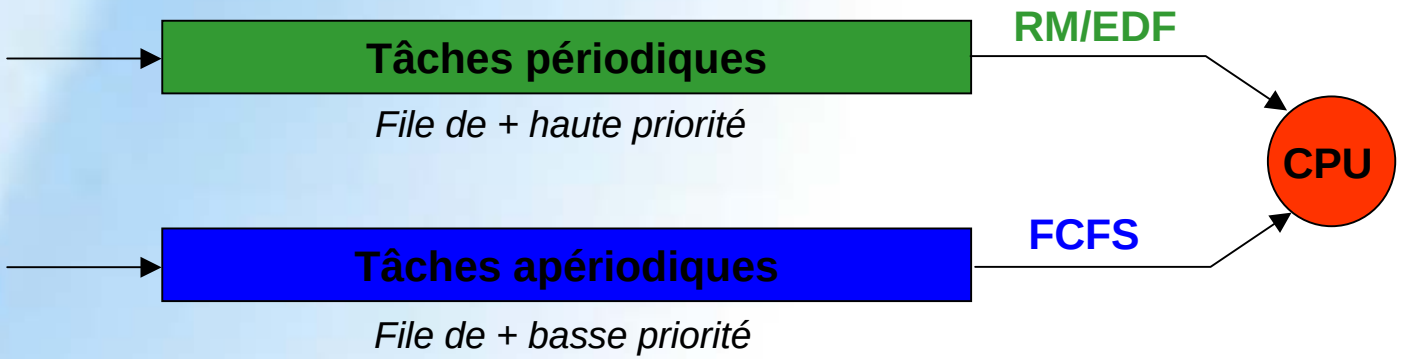
- La gestion des tâches **par un serveur** :

à priorités fixes :	à priorités dynamiques :
- Polling Server (PS)	- Dynamic Sporadic Server (DSS)
- Deferrable Server (DS)	- Dynamic Priority Exchange Server (DPE)
- Priority Exchange Server	- Improved Priority Exchange Server (IPE)
- Sporadic Server	- Total Bandwidth Server (TBS)
- Slack Stealer Server	- Earliest Deadline as Late as possible (EDL)

Background Scheduling (BG)

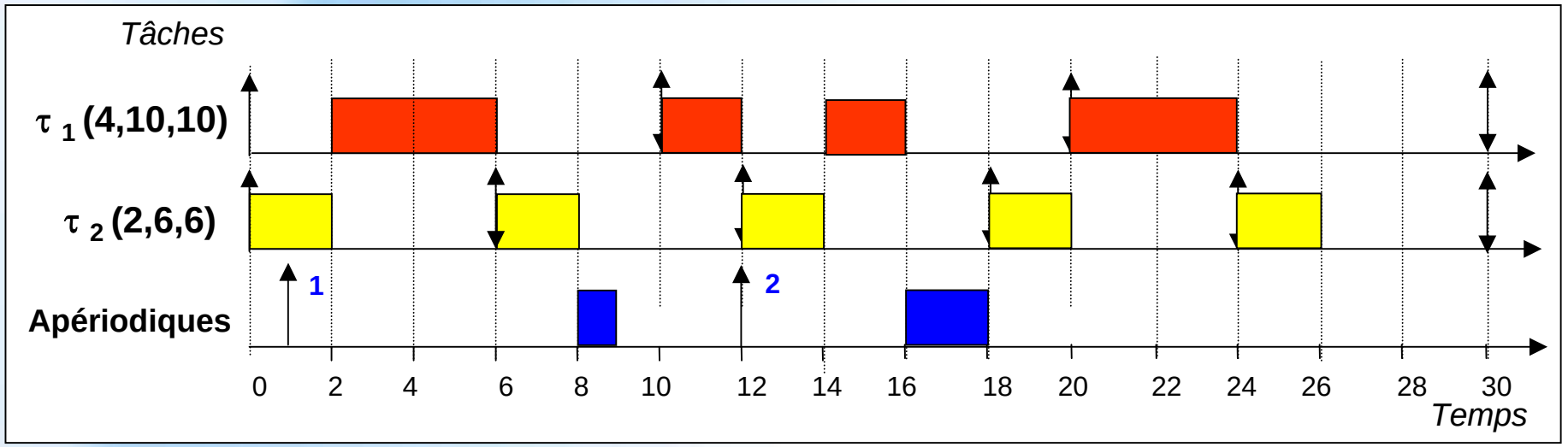
- **Principe** : les tâches apériodiques sont exécutées en tâches de fond, lorsqu'il n'y a pas de requêtes périodiques à l'état prêt

- **Mécanisme de fonctionnement :**



Background Scheduling (BG)

- **Exemple (RM-BG):**



Background Scheduling (BG)

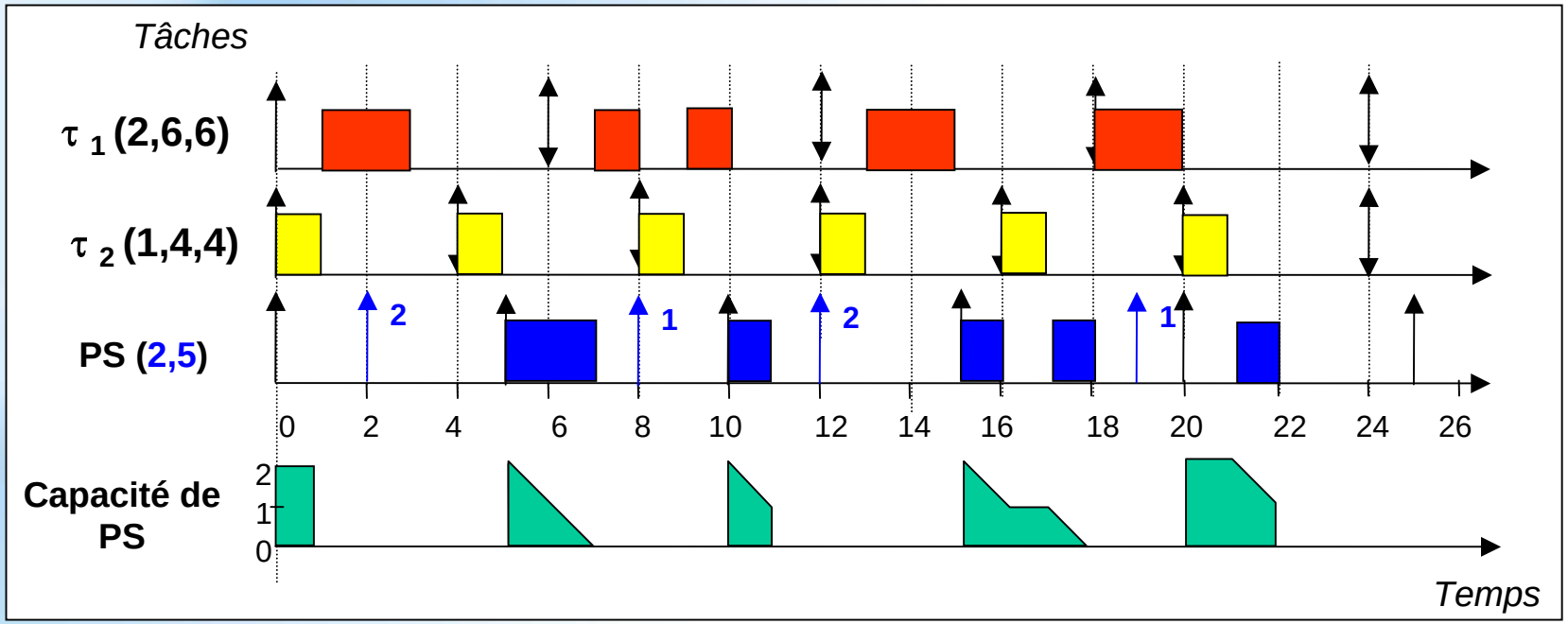
- **Intérêts** : 
  - Simplicité de mise en oeuvre
  - Pas d'impact sur les tâches périodiques

- **Inconvénients** : 
  - Le temps de réponse des tâches apériodiques peut être élevé
  - Applicable uniquement pour des tâches apériodiques à contraintes relatives
  - Utilisable principalement dans des systèmes à charge modérée

Polling Server (PS)

- **Principe** : Une tâche périodique (C_s, P_s) appelée serveur apériodique active les tâches apériodiques dans son temps d'exécution appelé capacité du serveur

- **Exemple (RM-PS, C_s=2; T_s=5):**



Polling Server (PS)

- **Intérêts** : 

  - Meilleures performances que celles obtenues avec la gestion des tâches apériodiques en tâches de fond

  - Faibles complexités de calcul et d'implémentation

- **Inconvénients** : 

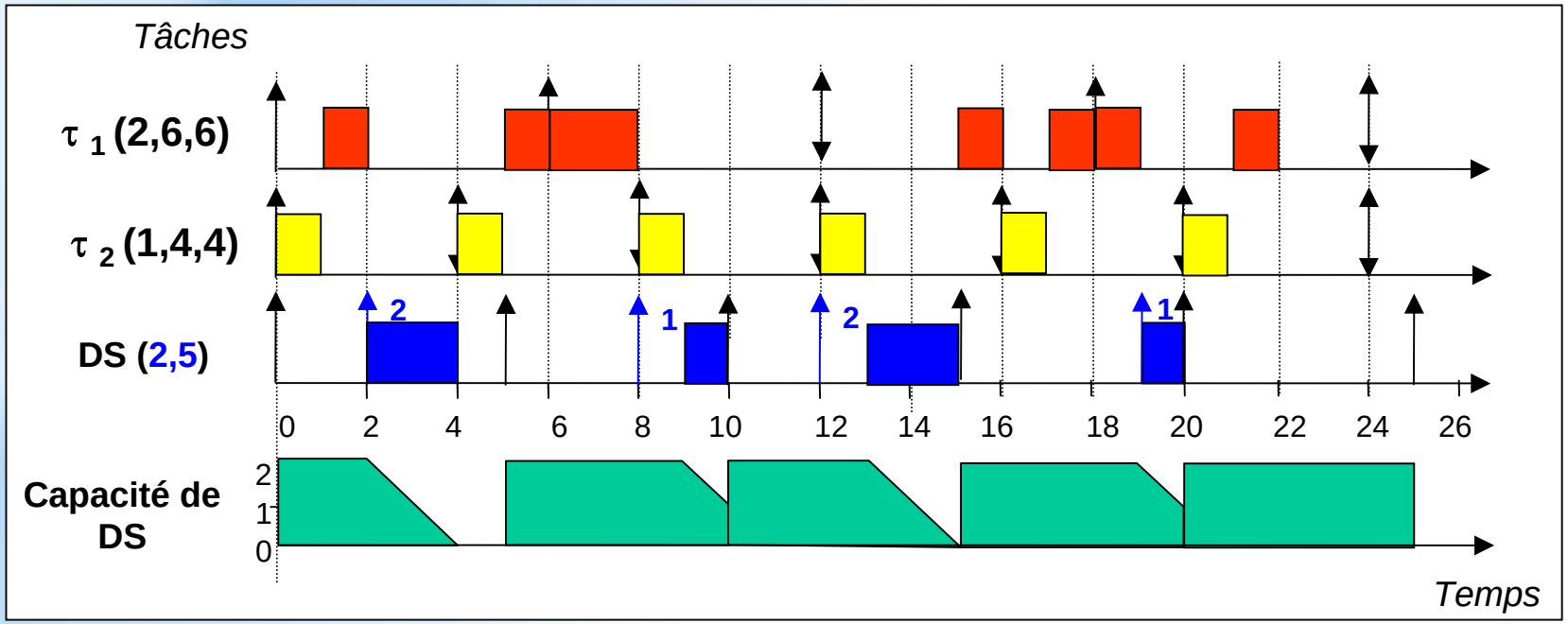
  - La capacité du serveur est perdue en cas d'absence de tâche apériodique en attente lors du réveil du serveur

  - Hypothèses restrictives de l'algorithme RM

Deferrable Server (DS)

- **Principe** : identique à celui du Polling server à l'exception que DS conserve sa capacité courante jusqu'à la fin de sa période d'activation

- **Exemple (RM-DS, C_s=2; T_s=5):**



Deferrable Server (DS)

- **Intérêts** : 

  - Meilleures performances que celles obtenues avec le server Polling
  - Faibles complexités de calcul et d'implémentation

- **Inconvénients** : 

  - Hypothèses restrictives de l'algorithme RM

Total Bandwidth Server (TBS)

- **Principe** : Lorsque la $k^{ème}$ requête apériodique arrive au temps $t=r_k$, elle reçoit une **échéance fictive** calculée comme suit :

Date de réveil de la requête occurrente

Durée d'exécution de la requête occurrente

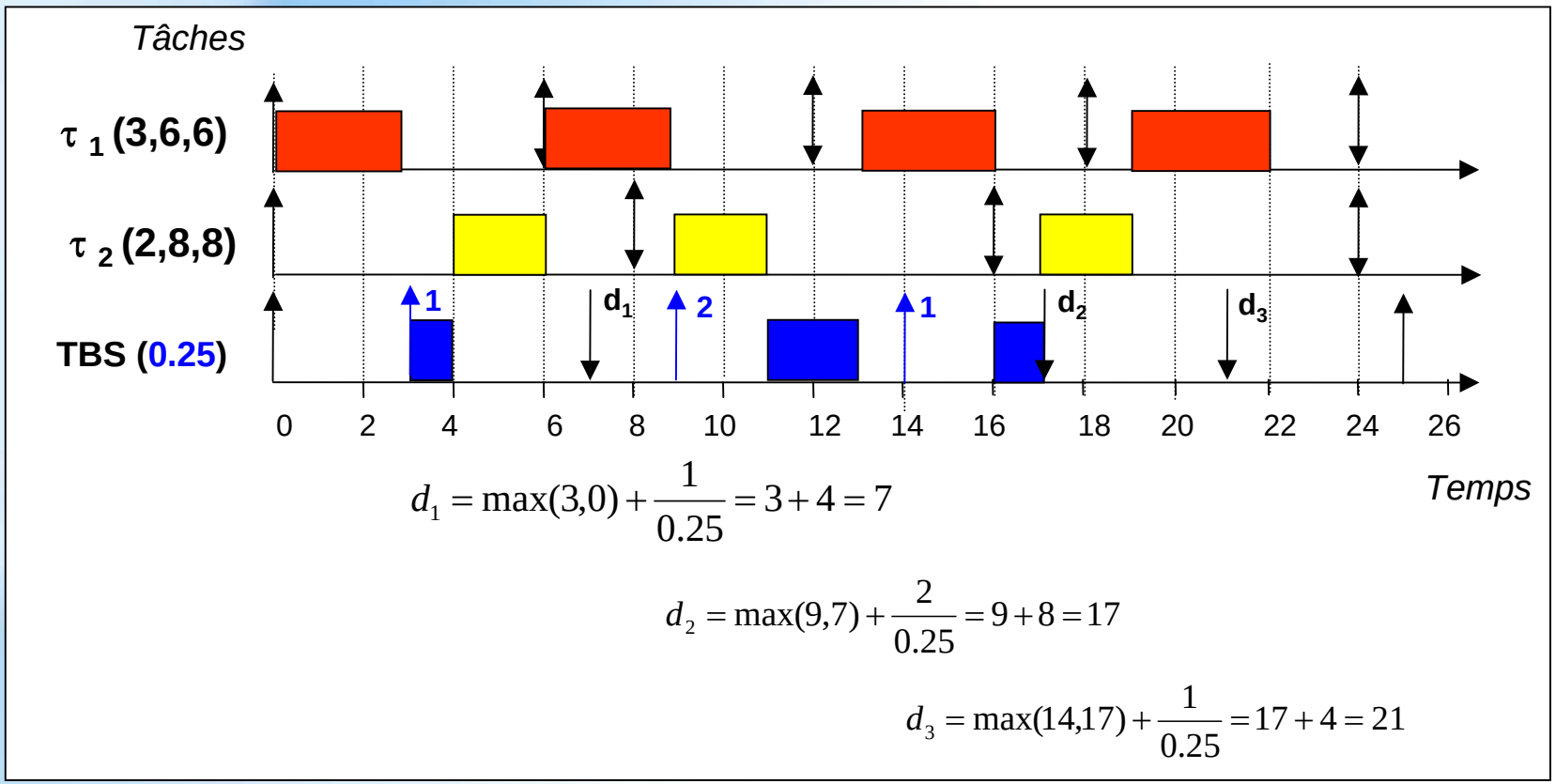
$$d_k = \max(r_k, d_{k-1}) + \frac{C_k^a}{U_s}$$

Largeur de bande CPU allouée au serveur

Échéance fictive de la requête précédente

Total Bandwidth Server (TBS)

- **Exemple (EDF-TBS, U_p=0.75; U_s=0.25):**



$$d_1 = \max(3,0) + \frac{1}{0.25} = 3 + 4 = 7$$

$$d_2 = \max(9,7) + \frac{2}{0.25} = 9 + 8 = 17$$

$$d_3 = \max(14,17) + \frac{1}{0.25} = 17 + 4 = 21$$

Total Bandwidth Server (TBS)

- **Intérêts** : 

  - Mise en œuvre assez simple
  - Faibles complexités de calcul et d'implémentation

- **Inconvénients** : 

  - Performances assez médiocres pour des systèmes fortement chargés
  - Nécessité de connaître les durées d'exécution des tâches apériodiques occurrentes

Earliest Deadline as Late as possible (EDL)

- **Principe** selon l'algorithme suivant :

début

si (tâches apériodiques présentes) **alors**

- exécuter les tâches apériodiques au + tôt

- exécuter les tâches périodiques au + tard

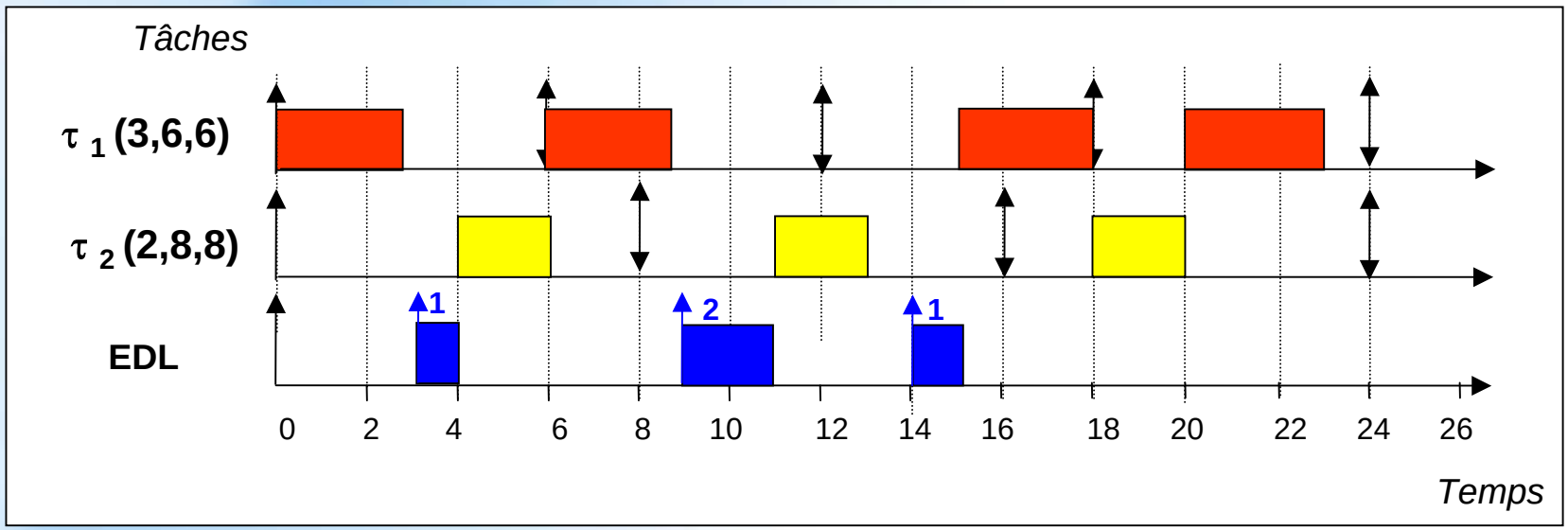
sinon

- exécuter les tâches périodiques au + tôt

fin

Earliest Deadline as Late as possible (EDL)

- **Exemple (EDF-EDL) :**



Earliest Deadline as Late as possible (EDL)

- **Intérêts** : 

  - Serveur optimal

  - Pas de nécessité de connaître les durées d'exécution des tâches apériodiques occurrentes

- **Inconvénients** : 

  - Complexités de calcul et d'implémentation élevées

  - Besoins mémoire importants

Conclusion (1)

- **En bref** :

  - L'ordonnanceur a pour rôle d'allouer le processeur aux différentes tâches

  - L'ordonnancement temps-réel

    - est régi par une politique spécifique basé sur la priorité
    - peut être hors-ligne ou en-ligne
    - doit être déterministe

  - Compromis simplicité / performances des algorithmes d'ordonnancement

  - Quantification de l'overhead d'ordonnancement

Conclusion (2)

- **Programmation synchrone / asynchrone**

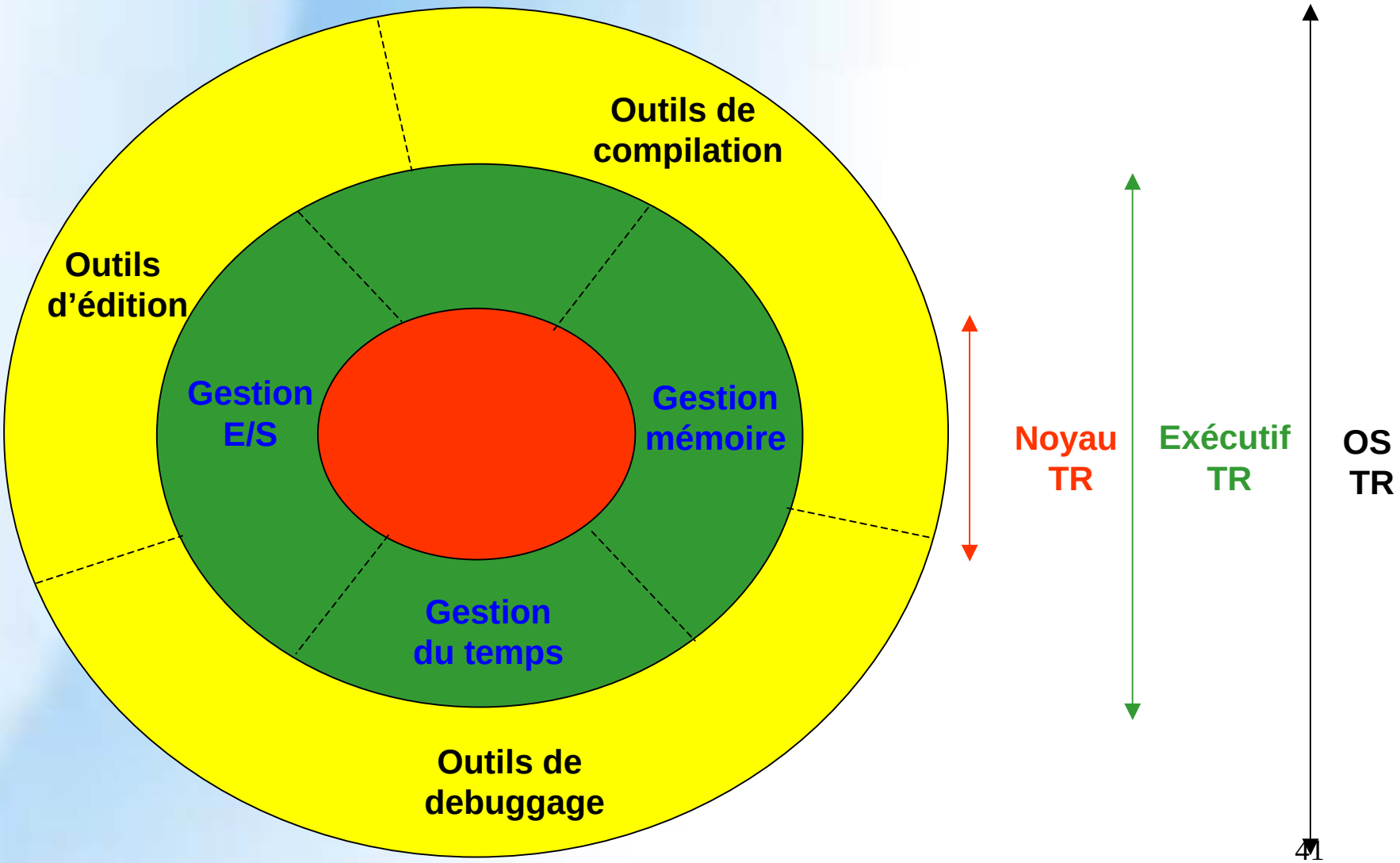
  - **Modèle de temps synchrone – Cadre d'étude**

    - Hypothèse des temps de calculs et des temps de communications *nuls*
    - *Simultanéité* possible pour les événements
    - *Contrôle logique et temporel* de l'application → vérification formelle

  - **Modèle de temps asynchrone – Monde réel**

    - Temps de calculs éventuellement longs
    - *Non-simultanéité* des événements
    - Difficultés voire impossibilité de preuves de correction de l'application

Extension à la notion d'exécutif temps-réel



Références

1. Giorgio Buttazzo, ***HARD REAL-TIME COMPUTING SYSTEMS: Predictable Scheduling Algorithms and Applications***, Second Edition, Springer, 2004.

2. J. Stankovic, K. Ramamritham, M. Spuri, and G. Buttazzo, ***Deadline Scheduling for Real-Time Systems***, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

3. J. W. S. Liu, ***Real-Time Systems***, Prentice Hall, New Jersey, 2000.