

## LE TEMPS RÉEL

1. PRÉSENTATION DU TEMPS RÉEL
  - 1.1. APPLICATIONS TEMPS RÉEL
  - 1.2. CONTRAINTES DE TEMPS RÉEL
2. STRUCTURES D'ACCUEIL POUR LE TEMPS RÉEL
  - 2.1. EXÉCUTIFS TEMPS RÉEL
  - 2.2. RÉSEAUX LOCAUX TEMPS RÉEL
  - 2.3. TENDANCES ACTUELLES
  - 2.4. LES LANGAGES DE PROGRAMMATION POUR LE TEMPS RÉEL
3. ORDONNANCEMENT TEMPS RÉEL DES TÂCHES
 

MODÈLE ET CONFIGURATION DE TÂCHES

ORDONNANCEMENT DE TÂCHES INDÉPENDANTES

ORDONNANCEMENT DE TÂCHES DÉPENDANTES

ORDONNANCEMENT CONJOINT DE TÂCHES ET DE MESSAGES DANS LES RÉSEAUX TEMPS RÉELS

DIVERS ASPECTS AVANCÉS
4. QUELQUES EXEMPLES DU DYNAMISME ACTUEL DU TEMPS RÉEL
 

LINUX-RT

ADA RÉPARTI POUR LE TEMPS RÉEL

CORBA TEMPS RÉEL, JAVA TEMPS RÉEL, UML TEMPS RÉEL
5. TRAVAUX DE L'ÉQUIPE CRATÈRE (<http://cedric.enam.fr>)
 

IMPORTANCE, RÉSORPTION CONTRÔLÉE DES PANNES TEMPORELLES DUES AUX SURCHARGES.

EXPÉRIENCES AVEC CHORUS ET LINUX-RT.

PRÉVENTION D'INTERBLOCAGE POUR DES TÂCHES CONCURRENTES DOTÉES D'UN ORDRE DE SERVICE

version novembre 2001

1

©©©©©©©

## 1. PRÉSENTATION DU TEMPS RÉEL CLASSES D'APPLICATIONS INFORMATIQUES

### APPLICATIONS TRANSFORMATIONNELLES

- la plate-forme système gère des programmes dont :
  - les résultats sont calculés à partir de données disponibles dès l'initialisation du programme
  - les instants de production des résultats ne sont pas contraints

### APPLICATIONS INTERACTIVES

- la plate-forme système gère des programmes dont :
  - les résultats sont fonctions de données produites par l'environnement du programmeur
  - les instants de production des résultats ne sont pas contraints
- temps partagé : assurer un temps de réponse court pour des demandes indépendantes (édition, compilation, calcul, consultation multimédia)
- transactionnel : garantir le contrôle et la cohérence d'accès à des "fichiers" partagés (bases de données) en consultation et mise à jour

### APPLICATIONS RÉACTIVES, EN TEMPS RÉEL

- la plate-forme système gère des programmes dont :
  - les résultats sont fonctions de données produites par l'environnement du programme (le procédé à contrôler)
  - les instants de saisie des données et de production des résultats sont contraints par les dynamiques du procédé contrôlé
- temps réel : contrôle de processus industriels, de trafic, de production

version novembre 2001

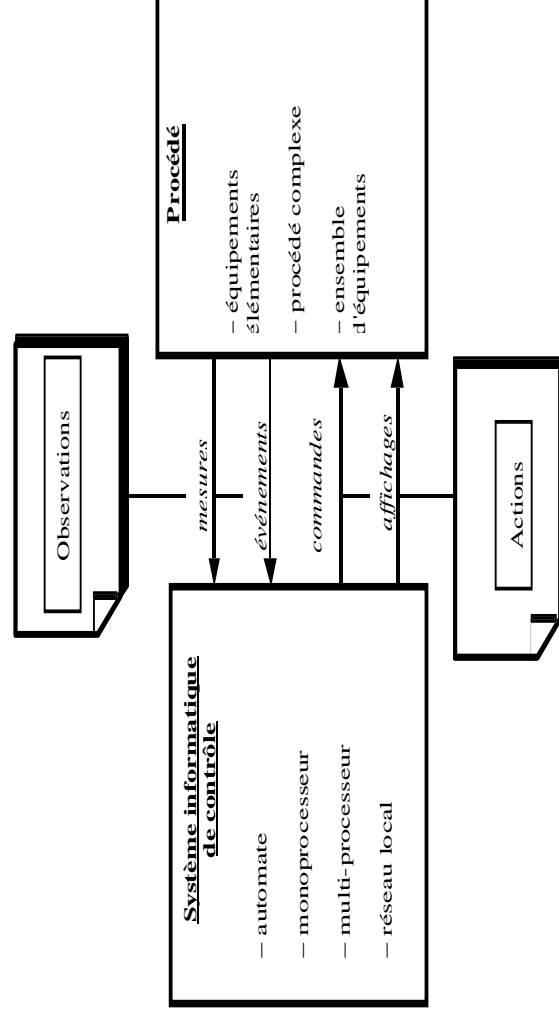
2

©©©©©©©

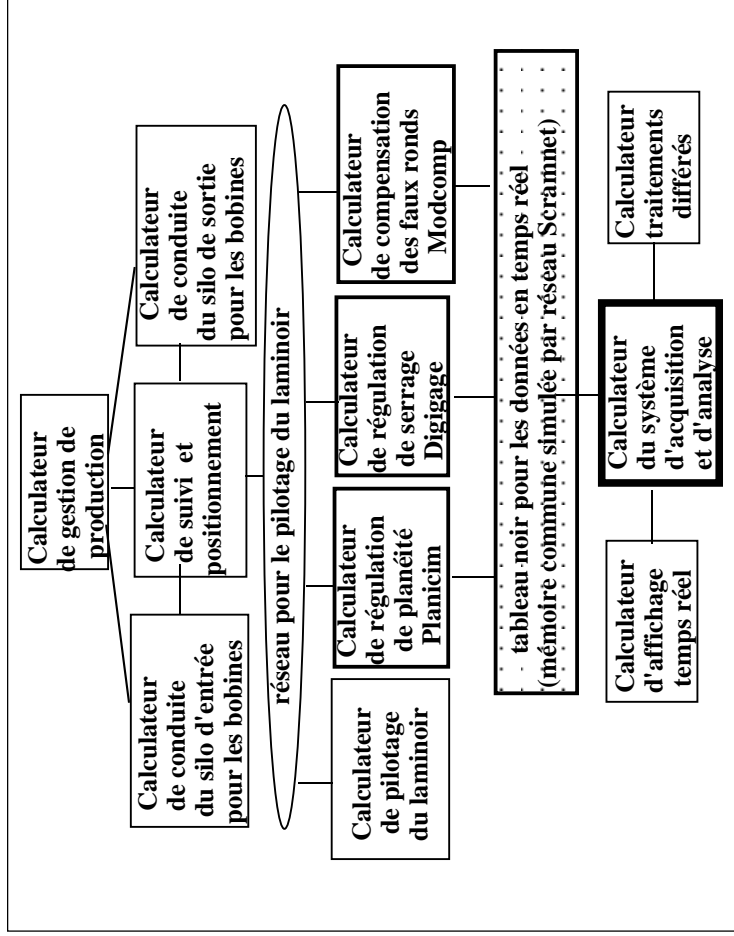
### 1.1.1. APPLICATIONS TEMPS RÉEL

- Contrôle de procédés : par exemple, suivi en temps réel des signaux d'un laminoir accessibles dans une mémoire commune durant une fenêtre temporelle pendant laquelle les signaux peuvent être lus.
- Systèmes de conduite, fixe ou mobile (embarqué) de véhicules : bus, métro, voiture, train, avion, navette
- Transactions bancaires et boursières avec des dates de valeurs définies et prises en compte
- Systèmes de surveillance : traçabilité des événements et recherche en ligne des relations de causalité
- Radiotéléphonie GSM : transmission d'un flux régulier des échantillons de parole (577 µs de parole toutes les 4,6 ms) à des abonnés mobiles ; la mobilité modifie les distances et les chemins de communication.
- Multimédia, Vidéo conférence : compression, transfert, décodage, mélange, synchronisation temporelle de plusieurs flux d'information : son, image, animation, texte, avec un trafic périodique ou aperiodique dans chaque flux, avec une synchronisation intra flux et une synchronisation inter flux.
- Etc....

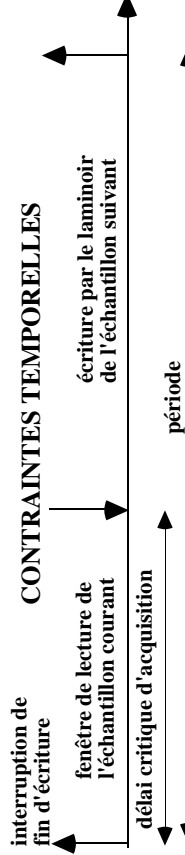
### 1.1.2. REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE D'UNE APPLICATION TEMPS RÉEL



### 1.1.3. EXEMPLE CENTRALISÉ SUIVI EN TEMPS RÉEL POUR TRAÇABILITÉ D'UN LAMINOIR



### 1.1.3. SUIVI EN TEMPS RÉEL POUR TRAÇABILITÉ D'UN LAMINOIR



#### SIGNAUX REÇUS : ORIGINES, CONTRAINTES TEMPORELLES STRICTES

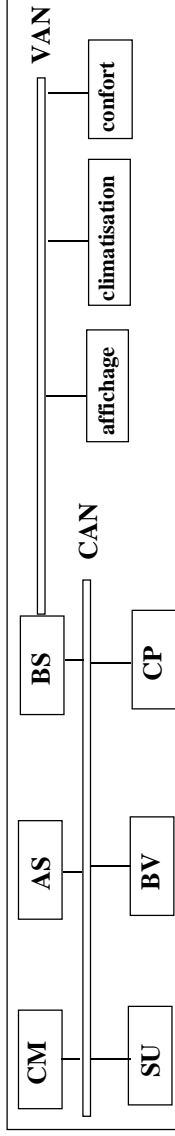
- **Données D** (Digigage) : pilotage des cylindres, des vérins de serrage, régulation de l'épaisseur de sortie et compensation des variations d'épaisseur en entrée  
544 octets toutes les 20 ms. Fenêtre de lecture : 10 ms
- **Données P** (Planicim) : régulation de la planéité de la bande en sortie  
2052 octets toutes les 100 ms. Fenêtre de lecture : 50 ms
- **Données M** (Modcomp) : compensation des variations d'épaisseur dues aux défaut des cylindres  
984 octets toutes les 4 ms. Fenêtre de lecture : 1 ms

#### QUELQUES TÂCHES AVEC DES ÉCHÉANCES STRICTES

Tâche	Période P (μs)	Durée C min (μs)	C max (en μs)	C moyen (μs)	délat critique R
acquisition M	4 000	600	992	613	1 000
traitement M	4 000	623	1 532	670	4 000
acquisition D	20 000	860	1 430	1 130	10 000
acquisition P	100 000	1 800	2 220	1 920	50 000
présentations	200 000	987	4 010	3 130	200 000

Références : [Cottet 2000], [Kaiser 2001]

### 1.1.4. EXEMPLE RÉPARTI : CONDUITE D'UN VÉHICULE AUTOMOBILE



CM : calculateur du contrôle moteur

AS : calculateur de commande de l'ABS et du contrôle de stabilité

BS : calculateur du boîtier de servitude intelligent, passerelle avec le réseau VAN

SU : calculateur de contrôle de suspension automatique

BV : calculateur de boîte de vitesse automatique

CP : calculateur pour le correcteur de phare selon la mesure d'angle de volant

CAN : réseau local à diffusion avec protocole CSMA/CA ("collision avoidance")

VAN : réseau local pour les services de l'habitacle (affichage, climatisation, confort)

Les tâches et les messages sont tous à échéance sur requête (délai critique = période) et réveil sur période

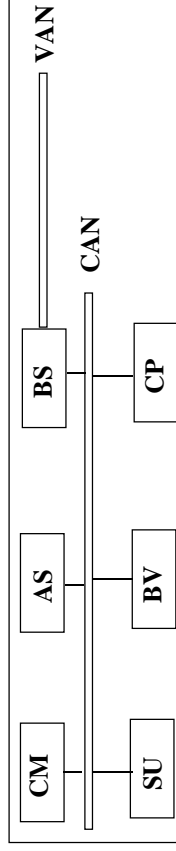
message	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
émetteur	CM1	CP1	CM2	BV1	AS1	AS2	AS3	BS1	SU1	CM3	BV2	AS4
récepteurs	BS3	BV4	AS4	CM4	SU2	CM7	SU5	CM6	AS6	BS4	BS2	BS7
	SU3	CM5	SU4			BS5		BV3	BS6			
période	10	14	20	15	20	40	15	50	20	100	50	100
durée	8	3	3	2	5	5	4	5	4	7	5	1

version novembre 2001

7

©©©©©©©

### 1.1.4. EXEMPLE RÉPARTI : CONDUITE D'UN VÉHICULE AUTOMOBILE



Tâche	calculateur du contrôle moteur						calculateur boîte de vitesse				
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	BV1	BV2	BV3	BV4
Période	10	20	100	15	15	50	40	15	50	50	14
Durée	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tâche	calculateur de commande de l'ABS					calculateur suspension dynamique					
	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5	AS6	SU1	SU2	SU3	SU4	SU5
Période	20	40	15	100	20	20	20	20	10	14	15
Durée	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2

Tâche	calcul. de phare							calculateur boîtier de servitude				
	CP1	CP2	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6	BS7			
Période	10	20	50	50	10	100	40	20	100			
Durée	4	4	2	2	2	2	2	2	2			

Les tâches et les messages sont tous à échéance sur requête (délai critique = période) et réveil sur période

version novembre 2001

8

©©©©©©©

### 1.1.s. LE TEMPS RÉEL, CE N'EST PAS

- la vitesse de traitement (l'unité centrale la plus rapide)
  - la meilleure efficacité de la plate-forme (le surcoût système le plus faible)
- .....

### LE TEMPS RÉEL C'EST

- le respect de contraintes temporelles
- .....
- la rapidité et l'efficacité aident bien, mais ne sont pas suffisantes

### LES CONTRAINTES TEMPORELLES PROVIENNENT

- des spécifications de l'application et de la dynamique du procédé
- des spécifications dérivées pour la structure d'accueil informatique

### 1.1.s. EXEMPLE SIMPLE ET ÉCLAIRANT

- système T, avec processeur à vitesse 1, surcoût système de 1 et ordonnancement EDF sur l'échéance
  - système L, avec processeur à vitesse 10, surcoût système de 0 et ordonnancement à l'ancienneté (FIFO) surcoût système = ordonnancement + changement de contexte; les tâches sont non préemptives
- Donc L est 10 fois plus rapide et infiniment plus efficace

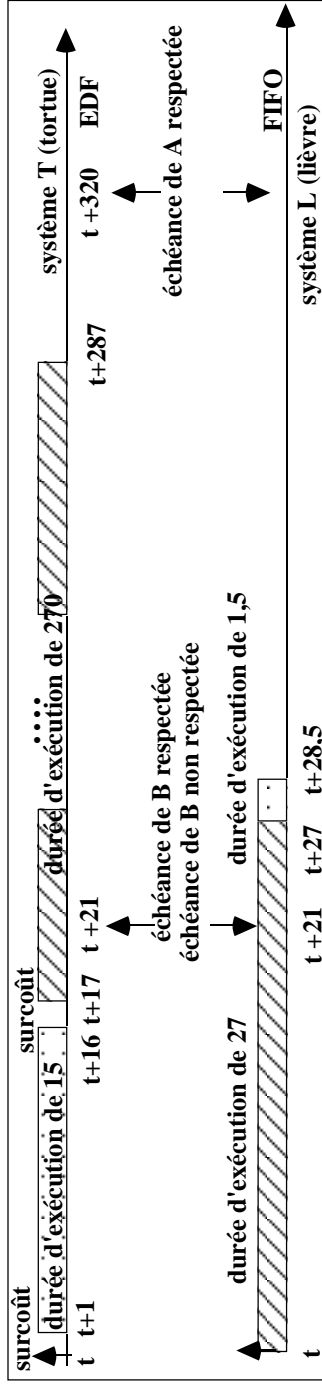
Soit une application de conduite avec deux tâches

- la tâche A qui envoie des commandes périodiques pour entretenir la commande moteur du véhicule sa durée est de 270 sur T et de 27 sur L ; son délai critique de 320
- la tâche B qui réagit à une commande du volant (ou du gouvernail ou du manche à balai) sa durée est de 15 sur T et de 1,5 sur L ; son délai critique est de 21

Au temps t, la tâche A est déclenchée pour son exécution périodique.

Cependant, au même instant B est demandée en réaction à un événement imprévu.

A et B sont de même importance pour la conduite du véhicule



## 1.2.1. CONTRAINTES DE TEMPS RÉEL

- Concordance des temps du procédé et du système informatique (systèmes et réseaux le composant) :
  - a) L'ordre de grandeur des constantes de temps du procédé : milliseconde (radar), seconde (synoptique), minute (chaîne de fabrication), heure (réaction chimique)
    - => périodicité de l'échantillonnage et de la commande calculée par le théorème de Shannon
  - b) La stabilité de la commande
    - => la régularité des mesures et des calculs, et la faiblesse de la gigue (dispersion temporelle autour de la période moyenne)
  - c) Chaque calcul
    - => justesse des calculs + fenêtre temporelle pendant laquelle le résultat est utilisable avant l'heure, ce n'est pas l'heure ; après l'heure, ce n'est plus l'heure" (ex. robot, avion, porte-avion)
- Cohérence temporelle (faible dispersion des dates d'une donnée composée)
  - mesures d'un échantillon provenant de plusieurs capteurs répartis
  - commandes "simultanées" sur des actionneurs répartis
- Réaction à des événements du procédé : que faire d'un événement qui se produit pendant un calcul d'une commande alors qu'il faut suivre la dynamique du procédé ?
  - Réactif synchrone ou asynchrone
- Réaction aux pannes temporelles dues aux pannes du matériel, aux conflits d'utilisation des ressources partagées (mémoire, réseaux) ou aux surcharges applicatives : quelles sont les fonctions les plus importantes "hic et nunc" ?
  - Importance ≠ Urgence, mais aussi Importance ≠ Priorité

## 1.2.2. DÉFINITIONS

- **contraintes temporelles strictes : temps réel dur ("hard real-time")**
  - respect absolu des contraintes temporelles (échéances, régularité de l'échantillonnage, gigue minimale, délais des messages)
  - le non respect est une panne intolérable (par exemple, il y a des vies humaines en jeu).
- **contraintes temporelles relatives : temps réel lâche ("soft real-time")**
  - les contraintes peuvent être dépassées d'une certaine valeur (en pourcentage de la contrainte)
  - les contraintes peuvent être dépassées un certain nombre de fois (en pourcentage du nombre total)
  - les réponses peuvent, de temps en temps, ne pas être faites (règles de tolérance)

### 1.2.3. QUALITÉS REQUISES DES STRUCTURES D'ACCUEIL MATÉRIELLES ET LOGICIELLES

**Concerne les exécutifs, réseaux, plates-formes, mais aussi les langages**

- prévisibilité ("predictability") des temps d'exécution : dans le pire des cas, quelle que soit la charge et le taux de partage  
=> calcul de la capacité à respecter les contraintes temporelles
- déterminisme : faible dispersion autour de la valeur moyenne des temps de réponse  
=> robustesse des protocoles et des allocations de ressource, en présence de variation de trafic, de pannes matérielles, de congestion et de surcharge
- contrôle et respect des échéances de bout en bout
- précision suffisante de la mesure du temps et des datation des événements,
- fiabilité et disponibilité pour assurer la permanence du service

### EN RÉSUMÉ

⊙⊙⊙⊙⊙⊙

⊙⊙⊙⊙⊙⊙

**La demande des applications en temps réel, c'est :**

#### OPTIMISER LA PONCTUALITÉ

assurer le respect des contraintes temporelles

**Elle diffère de la demande des applications non temps réel où on veut :**

#### OPTIMISER LE PARTAGE DE RESSOURCES : efficacité et performance

**RÉDUIRE LES TEMPS DE RÉPONSE : vitesse et rapidité**

⊙⊙⊙⊙⊙⊙