



# La tolérance aux pannes dans les systèmes répartis temps réel

Master 2 Informatique - UFR S.A.T

Pr. Ousmane THIARE

othiare@ugb.edu.sn  
[[www.ousmanethiare.com](http://www.ousmanethiare.com)]

18 juin 2025

# La tolérance aux pannes dans les systèmes répartis temps réel

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

1 Introduction

2 Classification des pannes

3 Les différentes catégories de redondance

4 Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

5 Quelques Problèmes



## Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

# La tolérance aux pannes dans les systèmes répartis temps réel

# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance
    - support de dispositifs spécifiques



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance
    - support de dispositifs spécifiques
  - Mais aussi en gestion transactionnelle



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance
    - support de dispositifs spécifiques
  - Mais aussi en gestion transactionnelle
    - satisfaction de contraintes de sûreté



# Introduction

## Systèmes temps réel répartis sûrs de fonctionnement

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Ensemble de plusieurs calculateurs reliés en réseau qui collaborent pour des traitements
  - En contrôle de processus industriel
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance
    - support de dispositifs spécifiques
  - Mais aussi en gestion transactionnelle
    - satisfaction de contraintes de sûreté
    - satisfaction de contraintes d'échéance



# Introduction

## La sûreté de fonctionnement ("Dependability")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

## Erreurs, accidents, malveillances

L'existence d'erreurs ("design errors") ou d'accidents physiques ("physical damage") ou de malveillances est inévitable.

- Erreurs de conception, de programmation ou de saisie

L'une des circonstances précédentes peut ne pas gêner le système ou rester indétectée longtemps.

## Fautes, pannes ("Faults""Failures")

Le système est en faute ou en panne si suite à l'un des phénomènes précédents il ne respecte pas l'une de ses spécifications.



# Introduction

## La sûreté de fonctionnement ("Dependability")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

## Erreurs, accidents, malveillances

L'existence d'erreurs ("design errors") ou d'accidents physiques ("physical damage") ou de malveillances est inévitable.

- Erreurs de conception, de programmation ou de saisie
- Accidents dûs à l'environnement

L'une des circonstances précédentes peut ne pas gêner le système ou rester indétectée longtemps.

## Fautes, pannes ("Faults""Failures")

Le système est en faute ou en panne si suite à l'un des phénomènes précédents il ne respecte pas l'une de ses spécifications.



# Introduction

## La sûreté de fonctionnement ("Dependability")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

## Erreurs, accidents, malveillances

L'existence d'erreurs ("design errors") ou d'accidents physiques ("physical damage") ou de malveillances est inévitable.

- Erreurs de conception, de programmation ou de saisie
- Accidents dûs à l'environnement
- Malveillances intentionnelles.

L'une des circonstances précédentes peut ne pas gêner le système ou rester indétectée longtemps.

## Fautes, pannes ("Faults""Failures")

Le système est en faute ou en panne si suite à l'un des phénomènes précédents il ne respecte pas l'une de ses spécifications.



# Introduction

Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

## Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- Domaine des transports

## Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.



# Introduction

Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

## Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- Domaine des transports
  - Conduite automatique de trains.

## Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.
- Pannes non catastrophiques  $\implies$  elles sont acceptables.



# Introduction

Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

## Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- Domaine des transports
  - Conduite automatique de trains.
  - Systèmes de contrôle en avionique.

## Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.
- Pannes non catastrophiques  $\implies$  elles sont acceptables.



# Introduction

Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

## Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- Domaine des transports
  - Conduite automatique de trains.
  - Systèmes de contrôle en avionique.
- Domaine de la production d'énergie

## Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.
- Pannes non catastrophiques  $\implies$  elles sont acceptables.



# Introduction

Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

## Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- Domaine des transports
  - Conduite automatique de trains.
  - Systèmes de contrôle en avionique.
- Domaine de la production d'énergie
  - Conduite de centrales nucléaires.

## Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.
- Pannes non catastrophiques  $\implies$  elles sont acceptables.



# Introduction

## Systèmes de sécurité, systèmes critiques "Safety critical systems"

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

Le domaine d'utilisation du système est particulièrement dangereux et met en jeu des vies humaines avec des coûts liés aux pannes qui peuvent être immenses.

- **Domaine des transports**
  - Conduite automatique de trains.
  - Systèmes de contrôle en avionique.
- **Domaine de la production d'énergie**
  - Conduite de centrales nucléaires.
  - Conduite de barrages.

### Classification des pannes

- Pannes catastrophiques  $\implies$  elles sont inacceptables.
- Pannes non catastrophiques  $\implies$  elles sont acceptables.



# Introduction

## L'évitement des fautes ("Fault avoidance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

L'ensemble des techniques de conception, de fabrication qui permettent de produire des composants informatiques de très bonne qualité (très fiable).

- Le composant ne doit pas tomber en panne



# Introduction

## L'évitement des fautes ("Fault avoidance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

L'ensemble des techniques de conception, de fabrication qui permettent de produire des composants informatiques de très bonne qualité (très fiable).

- Le composant ne doit pas tomber en panne
  - bonne protection physique



# Introduction

## L'évitement des fautes ("Fault avoidance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

L'ensemble des techniques de conception, de fabrication qui permettent de produire des composants informatiques de très bonne qualité (très fiable).

- Le composant ne doit pas tomber en panne
  - bonne protection physique
  - bonne fabrication



# Introduction

## L'évitement des fautes ("Fault avoidance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

L'ensemble des techniques de conception, de fabrication qui permettent de produire des composants informatiques de très bonne qualité (très fiable).

- Le composant ne doit pas tomber en panne
  - bonne protection physique
  - bonne fabrication
  - techniques de génie logiciel, de preuves, de tests => pas d'erreurs.



# Introduction

## La tolérance aux fautes ("Fault tolerance")

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Le composant ne doit pas tomber en panne



# Introduction

## La tolérance aux fautes ("Fault tolerance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Le composant ne doit pas tomber en panne
  - L'ensemble des techniques de conception, de fabrication des architectures qui continuent de fonctionner même en présence de la panne de l'un de leurs composants.



# Introduction

## La tolérance aux fautes ("Fault tolerance")

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

- Le composant ne doit pas tomber en panne
  - L'ensemble des techniques de conception, de fabrication des architectures qui continuent de fonctionner même en présence de la panne de l'un de leurs composants.
  - L'ensemble de l'architecture considérée comme un tout continue de rendre le service attendu.



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

### ■ La fiabilité



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité
  - Probabilité pour qu'un système soit en fonctionnement à un instant t donné.



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité
  - Probabilité pour qu'un système soit en fonctionnement à un instant t donné.
- La maintenabilité



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité
  - Probabilité pour qu'un système soit en fonctionnement à un instant t donné.
- La maintenabilité
  - Probabilité pour qu'un système en panne à l'instant 0 soit réparé à l'instant t.



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité
  - Probabilité pour qu'un système soit en fonctionnement à un instant t donné.
- La maintenabilité
  - Probabilité pour qu'un système en panne à l'instant 0 soit réparé à l'instant t.
- La sécurité



# Introduction

## Les composantes de la sûreté de fonctionnement

### Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- La fiabilité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement sur une période donnée (entre 0 et t).
- La disponibilité
  - Probabilité pour qu'un système soit en fonctionnement à un instant t donné.
- La maintenabilité
  - Probabilité pour qu'un système en panne à l'instant 0 soit réparé à l'instant t.
- La sécurité
  - Probabilité pour qu'un système soit continûment en fonctionnement non catastrophique sur une période donnée (entre 0 et t).



# Introduction

## Sûreté de fonctionnement et systèmes répartis

### Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

La sûreté de fonctionnement d'un système réparti doit être étudiée soigneusement

### ■ Architecture de n sites en coopération

Au contraire une organisation efficace d'un système réparti (techniques de tolérance aux pannes) atteint des niveaux de sûreté de fonctionnement qu'aucune approche d'évitement ne peut atteindre (fiabilité, disponibilité, sécurité) à un coût acceptable.



# Introduction

## Sûreté de fonctionnement et systèmes répartis

### Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

La sûreté de fonctionnement d'un système réparti doit être étudiée soigneusement

- Architecture de  $n$  sites en coopération
  - Si le taux de panne d'un site est  $\lambda$

Au contraire une organisation efficace d'un système réparti (techniques de tolérance aux pannes) atteint des niveaux de sûreté de fonctionnement qu'aucune approche d'évitement ne peut atteindre (fiabilité, disponibilité, sécurité) à un coût acceptable.



# Introduction

## Sûreté de fonctionnement et systèmes répartis

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

La sûreté de fonctionnement d'un système réparti doit être étudiée soigneusement

- Architecture de  $n$  sites en coopération
  - Si le taux de panne d'un site est  $\lambda$
  - Chaque site est indispensable

Au contraire une organisation efficace d'un système réparti (techniques de tolérance aux pannes) atteint des niveaux de sûreté de fonctionnement qu'aucune approche d'évitement ne peut atteindre (fiabilité, disponibilité, sécurité) à un coût acceptable.



# Introduction

## Sûreté de fonctionnement et systèmes répartis

### Introduction

#### Classification des pannes

#### Les différentes catégories de redondance

#### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

#### Quelques Problèmes

La sûreté de fonctionnement d'un système réparti doit être étudiée soigneusement

#### ■ Architecture de n sites en coopération

- Si le taux de panne d'un site est  $\lambda$
- Chaque site est indispensable
- Le taux de panne du système est  $n\lambda$ .

Au contraire une organisation efficace d'un système réparti (techniques de tolérance aux pannes) atteint des niveaux de sûreté de fonctionnement qu'aucune approche d'évitement ne peut atteindre (fiabilité, disponibilité, sécurité) à un coût acceptable.



# Classification des pannes

Modèle des systèmes répartis étudiés

Introduction

**Classification des pannes**

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

C'est un ensemble de serveurs logiciels utilisant comme serveurs de base :

- Des processeurs physiques



# Classification des pannes

Modèle des systèmes répartis étudiés

Introduction

**Classification des pannes**

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

C'est un ensemble de serveurs logiciels utilisant comme serveurs de base :

- Des processeurs physiques
  - On considère du point de vue de la tolérance l'unité de traitement



# Classification des pannes

## Modèle des systèmes répartis étudiés

Introduction

**Classification des pannes**

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

C'est un ensemble de serveurs logiciels utilisant comme serveurs de base :

- Des processeurs physiques
  - On considère du point de vue de la tolérance l'unité de traitement
  - l'horloge, (granularité suffisamment fine pour que l'horloge ne délivre pas la même date sur deux événements différents pour l'estampillage)



# Classification des pannes

## Modèle des systèmes répartis étudiés

### Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

C'est un ensemble de serveurs logiciels utilisant comme serveurs de base :

- Des processeurs physiques
  - On considère du point de vue de la tolérance l'unité de traitement
  - l'horloge, (granularité suffisamment fine pour que l'horloge ne délivre pas la même date sur deux événements différents pour l'estampillage)
- la mémoire locale.
  - Des services de communication implantés au moyen de voies physiques.



# Classification des pannes

## Comportement des composants du système

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Un composant (matériel ou logiciel) est considéré comme correct s'il se comporte de manière consistante avec ses spécifications.

Un automate décrit le comportement correct du composant. Pour toute situation on connaît :

- Un ensemble possible d'événements entrants.

Un composant en panne ne se comporte pas selon ses spécifications de comportement et de performances.



# Classification des pannes

## Comportement des composants du système

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Un composant (matériel ou logiciel) est considéré comme correct s'il se comporte de manière consistante avec ses spécifications.

Un automate décrit le comportement correct du composant. Pour toute situation on connaît :

- Un ensemble possible d'événements entrants.
- Les traitements à réaliser

Un composant en panne ne se comporte pas selon ses spécifications de comportement et de performances.



# Classification des pannes

## Comportement des composants du système

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Un composant (matériel ou logiciel) est considéré comme correct s'il se comporte de manière consistante avec ses spécifications.

Un automate décrit le comportement correct du composant. Pour toute situation on connaît :

- Un ensemble possible d'événements entrants.
- Les traitements à réaliser
- Les ensembles de messages produits en résultat

Un composant en panne ne se comporte pas selon ses spécifications de comportement et de performances.



# Classification des pannes

## Comportement des composants du système

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Un composant (matériel ou logiciel) est considéré comme correct s'il se comporte de manière consistante avec ses spécifications.

Un automate décrit le comportement correct du composant. Pour toute situation on connaît :

- Un ensemble possible d'événements entrants.
- Les traitements à réaliser
- Les ensembles de messages produits en résultat
- Les contraintes de délais de réponse (dans de nombreux cas cette donnée est fondamentale).

Un composant en panne ne se comporte pas selon ses spécifications de comportement et de performances.



# Classification des pannes

## Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

## Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.
- Réseau de communication correct

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.
- Réseau de communication correct
  - Topologie quelconque permettant tous les échanges nécessaires à l'application.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r)(u - v) < c(u) - c(v) < (u - v)(1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.
- Réseau de communication correct
  - Topologie quelconque permettant tous les échanges nécessaires à l'application.
  - Délai de transmission des messages borné.

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.
- Réseau de communication correct
  - Topologie quelconque permettant tous les échanges nécessaires à l'application.
  - Délai de transmission des messages borné.
- Horloges physiques correctes

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Conséquences sur les équipements matériels

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un ensemble possible d'événements entrants.
  - Exécution du jeu d'instruction respecté.
  - Respect de l'intégrité des données en mémoire.
  - Temps de traitement conformes aux spécifications.
- Réseau de communication correct
  - Topologie quelconque permettant tous les échanges nécessaires à l'application.
  - Délai de transmission des messages borné.
- Horloges physiques correctes
  - Dérive bornée (par rapport à un temps universel utilisé à titre de comparaison)

Exemple :  $u, v$  : dates universelles

$c(u), c(v)$  : valeurs lues

$r$  : dérive maximum

$$(1 - r) (u - v) < c(u) - c(v) < (u - v) (1 + r)$$



# Classification des pannes

Panne franche "Fail-silent", "Fail- stop", "Crash"

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

Une fois le composant en panne il cesse immédiatement et de façon indéfinie de répondre à toute sollicitation ou de générer de nouvelles requêtes (jusqu'à une réparation).  
La panne franche est une panne permanente.

## Exemples :

- Panne franche de processeur.



# Classification des pannes

Panne franche "Fail-silent", "Fail-stop", "Crash"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Une fois le composant en panne il cesse immédiatement et de façon indéfinie de répondre à toute sollicitation ou de générer de nouvelles requêtes (jusqu'à une réparation).  
La panne franche est une panne permanente.

## Exemples :

- Panne franche de processeur.
- Coupure de voie physique.



# Classification des pannes

Panne franche "Fail-silent", "Fail-stop", "Crash"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Une fois le composant en panne il cesse immédiatement et de façon indéfinie de répondre à toute sollicitation ou de générer de nouvelles requêtes (jusqu'à une réparation).  
La panne franche est une panne permanente.

## Exemples :

- Panne franche de processeur.
- Coupure de voie physique.
- Certains types de programmes erronés (exemple boucle)



# Classification des pannes

Panne franche "Fail-silent", "Fail-stop", "Crash"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Une fois le composant en panne il cesse immédiatement et de façon indéfinie de répondre à toute sollicitation ou de générer de nouvelles requêtes (jusqu'à une réparation).  
La panne franche est une panne permanente.

## Exemples :

- Panne franche de processeur.
- Coupure de voie physique.
- Certains types de programmes erronés (exemple boucle)
- Système d'exploitation interbloqué



# Classification des pannes

Panne transitoire ou intermittente "Transient, Intermittent, Omission failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

En réponse à un événement en entrée un composant ne délivre jamais la réponse attendue (le composant ne peut fournir son service habituel pendant une certaine période => perte de quelques données).

Ultérieurement il peut répondre à nouveau de façon correcte. Il n'y a pas déviation par rapport aux spécifications sur ces autres réponses. **Distinction possible**

- **Panne transitoire**  $\implies$  Apparaît une seule fois puis disparaît.

**Exemples :**



# Classification des pannes

Panne transitoire ou intermittente "Transient, Intermittent, Omission failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

En réponse à un événement en entrée un composant ne délivre jamais la réponse attendue (le composant ne peut fournir son service habituel pendant une certaine période => perte de quelques données).

Ultérieurement il peut répondre à nouveau de façon correcte. Il n'y a pas déviation par rapport aux spécifications sur ces autres réponses. **Distinction possible**

- **Panne transitoire**  $\implies$  Apparaît une seule fois puis disparaît.
- **Panne intermittente**  $\implies$  Apparaît plus ou moins périodiquement.

**Exemples :**



# Classification des pannes

Panne transitoire ou intermittente "Transient, Intermittent, Omission failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

En réponse à un événement en entrée un composant ne délivre jamais la réponse attendue (le composant ne peut fournir son service habituel pendant une certaine période => perte de quelques données).

Ultérieurement il peut répondre à nouveau de façon correcte. Il n'y a pas déviation par rapport aux spécifications sur ces autres réponses. **Distinction possible**

- **Panne transitoire**  $\implies$  Apparaît une seule fois puis disparaît.
- **Panne intermittente**  $\implies$  Apparaît plus ou moins périodiquement.

**Exemples :**

- Perte de messages sur une voie physique.



# Classification des pannes

Panne transitoire ou intermittente "Transient, Intermittent, Omission failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

En réponse à un événement en entrée un composant ne délivre jamais la réponse attendue (le composant ne peut fournir son service habituel pendant une certaine période => perte de quelques données).

Ultérieurement il peut répondre à nouveau de façon correcte. Il n'y a pas déviation par rapport aux spécifications sur ces autres réponses. **Distinction possible**

- **Panne transitoire**  $\implies$  Apparaît une seule fois puis disparaît.
- **Panne intermittente**  $\implies$  Apparaît plus ou moins périodiquement.

**Exemples :**

- Perte de messages sur une voie physique.
- Destruction de transaction ou de message pour éviter l'interblocage ou l'écroulement.



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

**Classification des pannes**

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.

**Exemples :**

**Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone**



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais

**Exemples :**

**Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone**



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

**Exemples :**

**Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone**



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

## Exemples :

- Surcharge d'un processeur.

## Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

## Exemples :

- Surcharge d'un processeur.
- Horloge trop rapide.

## Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

## Exemples :

- Surcharge d'un processeur.
- Horloge trop rapide.
- Délai de transmission trop long.

## Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

## Exemples :

- Surcharge d'un processeur.
- Horloge trop rapide.
- Délai de transmission trop long.

## Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone

- Cas synchrone : la réponse à une sollicitation s'effectue toujours dans un délai connu et fini ou pas du tout.



# Classification des pannes

Panne temporelle "Timing, Performance failure"

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Une sortie correcte associée à une requête entrante se manifeste de façon incohérente avec les spécifications.
- Trop tard ou jamais
- Trop tôt

## Exemples :

- Surcharge d'un processeur.
- Horloge trop rapide.
- Délai de transmission trop long.

## Algorithmique répartie synchrone vs asynchrone

- Cas synchrone : la réponse à une sollicitation s'effectue toujours dans un délai connu et fini ou pas du tout.
- Cas asynchrone : on ne connaît pas le temps de réponse à une requête qui peut-être arbitraire.



# Classification des pannes

Panne quelconque ou byzantine ("Malicious, byzantine Failures")

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Tout comportement s'écartant des spécifications (principalement en ce que les résultats sont non conformes) est qualifié de comportement byzantin. On distingue quelquefois :

- Fautes byzantines "naturelles"



# Classification des pannes

Panne quelconque ou byzantine ("Malicious, byzantine Failures")

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

Tout comportement s'écartant des spécifications (principalement en ce que les résultats sont non conformes) est qualifié de comportement byzantin. On distingue quelquefois :

- Fautes byzantines "naturelles"
  - Ex. : erreur physique non détectée (sur une transmission de message, en mémoire , sur une instruction).



# Classification des pannes

Panne quelconque ou byzantine ("Malicious, byzantine Failures")

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Tout comportement s'écartant des spécifications (principalement en ce que les résultats sont non conformes) est qualifié de comportement byzantin. On distingue quelquefois :

- Fautes byzantines "naturelles"
  - Ex. : erreur physique non détectée (sur une transmission de message, en mémoire , sur une instruction).
  - erreur logicielle amenant une non vérification des spécifications.



# Classification des pannes

Panne quelconque ou byzantine ("Malicious, byzantine Failures")

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Tout comportement s'écartant des spécifications (principalement en ce que les résultats sont non conformes) est qualifié de comportement byzantin. On distingue quelquefois :

- Fautes byzantines "naturelles"
  - Ex. : erreur physique non détectée (sur une transmission de message, en mémoire , sur une instruction).
  - erreur logicielle amenant une non vérification des spécifications.
- Fautes byzantines "malicieuses"
  - Ex. : . comportement visant à faire échouer le système (sabotage, virus ....).



# Classification des pannes

## Classification complémentaire des pannes byzantines

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Le cryptage (authentification ou signature) des messages entraîne une résistance aux pannes byzantines bien meilleure (surtout pour ce qui concerne les modifications quelconques qui pourraient être effectuées sur les messages du fait de la transmission via des sites malicieux).

On distingue donc parfois :

- La classe des fautes byzantines précédemment décrites (pour lesquelles les communications sont non authentifiées).



# Classification des pannes

## Classification complémentaire des pannes byzantines

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Le cryptage (authentification ou signature) des messages entraîne une résistance aux pannes byzantines bien meilleure (surtout pour ce qui concerne les modifications quelconques qui pourraient être effectuées sur les messages du fait de la transmission via des sites malicieux).

On distingue donc parfois :

- La classe des fautes byzantines précédemment décrites (pour lesquelles les communications sont non authentifiées).
- La classe des fautes byzantines qui apparaissent malgré les signatures ("pannes byzantines authentifiées").



# Classification des pannes

## Hiérarchisation des classes de pannes

Introduction

**Classification des pannes**

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les 4 classes de pannes précédentes sont hiérarchisées.

panne franche  $\Leftarrow$  panne transitoire  $\Leftarrow$  panne temporelle  $\Leftarrow$  panne byzantine

En effet :

- panne franche  $\implies$  pas de réponse à une entrée

Tolérance à une classe de pannes

- On réalise des composants sous des hypothèses de panne appartenant à l'une des classes précédentes pour tolérer cette classe



# Classification des pannes

## Hiérarchisation des classes de pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les 4 classes de pannes précédentes sont hiérarchisées.  
panne franche  $\Leftarrow$  panne transitoire  $\Leftarrow$  panne temporelle  $\Leftarrow$  panne byzantine

En effet :

- panne franche  $\implies$  pas de réponse à une entrée
- panne transitoire  $\implies$  délai de réponse à un événement infini.

Tolérance à une classe de pannes

- On réalise des composants sous des hypothèses de panne appartenant à l'une des classes précédentes pour tolérer cette classe
- Restent non tolérées les pannes de la classe supérieure.



# Classification des pannes

## Hiérarchisation des classes de pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les 4 classes de pannes précédentes sont hiérarchisées.  
panne franche  $\Leftarrow$  panne transitoire  $\Leftarrow$  panne temporelle  $\Leftarrow$  panne byzantine

En effet :

- panne franche  $\implies$  pas de réponse à une entrée
- panne transitoire  $\implies$  délai de réponse à un événement infini.
- panne quelconque  $\implies$  panne temporelle

Tolérance à une classe de pannes

- On réalise des composants sous des hypothèses de panne appartenant à l'une des classes précédentes pour tolérer cette classe
- Restent non tolérées les pannes de la classe supérieure.
- L'une des hypothèses les plus fréquentes est la tolérance aux pannes intermittentes (d'omission).



# Les différentes catégories de redondance

Rappel : Architectures à redondances matérielles

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Exemple 1 : Architecture TANDEM

- Tolérance à une panne franche matérielle quelconque.



# Les différentes catégories de redondance

Rappel : Architectures à redondances matérielles

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Exemple 1 : Architecture TANDEM

- Tolérance à une panne franche matérielle quelconque.
- Système orienté disponibilité : redondance passive



# Les différentes catégories de redondance

Rappel : Architectures à redondances matérielles

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Exemple 1 : Architecture TANDEM

- Tolérance à une panne franche matérielle quelconque.
- Système orienté disponibilité : redondance passive
- Destiné aux applications de gestion



# Les différentes catégories de redondance

Rappel : Architectures à redondances matérielles

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Exemple 1 : Architecture TANDEM



# Les différentes catégories de redondance

Rappel : Architectures à redondances matérielles

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Exemple 2 : Architecture "Vax Cluster"



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

### ■ Redondances de données

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

### ■ Redondances de données

- Pour un message soumis à des erreurs de transmission il est possible de rajouter des informations de redondance selon un code correcteur d'erreur qui permet de corriger certaines erreurs.



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Redondances de données
  - Pour un message soumis à des erreurs de transmission il est possible de rajouter des informations de redondance selon un code correcteur d'erreur qui permet de corriger certaines erreurs.
- Redondances temporelles - Redondances de serveurs uniques



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Redondances de données
  - Pour un message soumis à des erreurs de transmission il est possible de rajouter des informations de redondance selon un code correcteur d'erreur qui permet de corriger certaines erreurs.
- Redondances temporelles - Redondances de serveurs uniques
  - Pour un composant soumis à des pannes transitoires il est de pratique courante de tenter de masquer cette panne par un nombre fixé de tentatives successives.



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Redondances de données
  - Pour un message soumis à des erreurs de transmission il est possible de rajouter des informations de redondance selon un code correcteur d'erreur qui permet de corriger certaines erreurs.
- Redondances temporelles - Redondances de serveurs uniques
  - Pour un composant soumis à des pannes transitoires il est de pratique courante de tenter de masquer cette panne par un nombre fixé de tentatives successives.
  - Utilisable pour certaines pannes temporelles voire quelconques.



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondance

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Redondances de données
  - Pour un message soumis à des erreurs de transmission il est possible de rajouter des informations de redondance selon un code correcteur d'erreur qui permet de corriger certaines erreurs.
- Redondances temporelles - Redondances de serveurs uniques
  - Pour un composant soumis à des pannes transitoires il est de pratique courante de tenter de masquer cette panne par un nombre fixé de tentatives successives.
  - Utilisable pour certaines pannes temporelles voire quelconques.
  - On peut faire l'hypothèse que cette technique est utilisée systématiquement par les serveurs et que ce n'est qu'après l'échec de cette approche que l'on déclare une panne (du type de celle pour laquelle la redondance temporelle a échoué).



# Les différentes catégories de redondance

Redondances spatiales - Redondances de groupes

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Un groupe de serveurs redondants  $g$  en redondance spatiale est conçu pour tolérer la panne de certains de ses membres.  
En dépit de la panne (à un certain niveau) de certains membres de  $g$ , le service offert du point de vue global par les membres de  $g$  continue en masquant le niveau de panne visé.  
Éventuellement certaines performances sont dégradées.



# Les différentes catégories de redondance

## Redondances spatiales - Redondances de groupes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Un groupe de serveurs redondants  $g$  en redondance spatiale est conçu pour tolérer la panne de certains de ses membres.  
En dépit de la panne (à un certain niveau) de certains membres de  $g$ , le service offert du point de vue global par les membres de  $g$  continue en masquant le niveau de panne visé.  
Éventuellement certaines performances sont dégradées.
- $g$  se comporte comme un composant unique ayant son propre niveau de panne supérieur au niveau de chacun des membres du groupe.  
Les seules pannes observables par un utilisateur de  $g$  sont d'un niveau supérieur aux pannes masquées.  
Par exemple on observe des pannes temporelles si l'on masque les pannes transitoires.



# Les différentes catégories de redondance

## Les différents types de redondances spatiales

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Redondances passives ("Standby redundancy") ("Primary backup")

**Objectif poursuivi :** Tolérance aux pannes franches de  
calculateurs



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance passive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Un seul des composants réalise effectivement les traitements et est affecté aux sorties (le primaire).



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance passive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Un seul des composants réalise effectivement les traitements et est affecté aux sorties (le primaire).
- En cas de panne du primaire l'un des calculateurs inactifs (secondaire) est sélectionné et activé pour prendre en charge le service.  
⇒ Problème de détermination du nouveau primaire.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance passive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Un seul des composants réalise effectivement les traitements et est affecté aux sorties (le primaire).
- En cas de panne du primaire l'un des calculateurs inactifs (secondaire) est sélectionné et activé pour prendre en charge le service.  
⇒ Problème de détermination du nouveau primaire.
- Pour le nouveau primaire il faut reconstituer un contexte d'exécution correct.



# Les différentes catégories de redondance

Problèmes de synchronisation en redondance passive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Solutions possibles :

- Recopie périodique d'informations de reprise constituées par le primaire pour les secondaires.



# Les différentes catégories de redondance

Problèmes de synchronisation en redondance passive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Solutions possibles :

- Recopie périodique d'informations de reprise constituées par le primaire pour les secondaires.
- Réexécution des services fournis depuis le dernier point de reprise.



# Les différentes catégories de redondance

Redondances actives ou dynamiques ("Active redundancy")

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Dans la redondance active tous les composants réalisent les traitements.



# Les différentes catégories de redondance

## Redondances actives ou dynamiques ("Active redundancy")

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Dans la redondance active tous les composants réalisent les traitements.
- Le gestionnaire de la redondance traite les sorties pour tolérer différentes classes de panne des serveurs.



# Les différentes catégories de redondance

## Redondance sélective active

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes franches

- Un seul serveur est affecté aux sorties



Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes franches

- Un seul serveur est affecté aux sorties
- En cas de panne du primaire le secondaire prend le contrôle (avec le contexte d'exécution complet de l'activité).



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance sélective active

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion.

### Remarque :

Le gestionnaire de la redondance peut-être plus complexe qu'un simple commutateur. Quand les deux composants sont actifs il peut choisir d'utiliser les résultats de l'un ou de l'autre selon les sites de résidence.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance sélective active

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion.
- Lors d'un basculement, l'alternant actif doit être réélu.

### Remarque :

Le gestionnaire de la redondance peut-être plus complexe qu'un simple commutateur. Quand les deux composants sont actifs il peut choisir d'utiliser les résultats de l'un ou de l'autre selon les sites de résidence.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance sélective active

### Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion.
- Lors d'un basculement, l'alternant actif doit être réélu.
- Lors d'un basculement, le contexte de l'alternant actif doit être cohérent avec celui laissé par l'ancien actif : besoin d'une technique pour traiter dans le même ordre et exhaustivement les mêmes données.  
⇒ Diffusion ordonnée totalement.

### Remarque :

Le gestionnaire de la redondance peut-être plus complexe qu'un simple commutateur. Quand les deux composants sont actifs il peut choisir d'utiliser les résultats de l'un ou de l'autre selon les sites de résidence.



# Les différentes catégories de redondance

## Redondance sélective active

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes franches

- Un seul serveur est affecté aux sorties



Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes franches

- Un seul serveur est affecté aux sorties
- En cas de panne du primaire le secondaire prend le contrôle (avec le contexte d'exécution complet de l'activité).



# Les différentes catégories de redondance

## Redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes quelconques



# Les différentes catégories de redondance

## Redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

**Les différentes  
catégories de  
redondance**

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

## Tolérance des pannes quelconques



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion dans le même ordre.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion dans le même ordre.
- La synchronisation entre les productions de résultats doit permettre la réalisation du vote majoritaire.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion dans le même ordre.
  - La synchronisation entre les productions de résultats doit permettre la réalisation du vote majoritaire.
  - Si les calculateurs redondants supportent la même panne (panne de mode commun) le système ne fonctionne pas.
- Solution :** la diversification (fonctionnelle)



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

### Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion dans le même ordre.
- La synchronisation entre les productions de résultats doit permettre la réalisation du vote majoritaire.
- Si les calculateurs redondants supportent la même panne (panne de mode commun) le système ne fonctionne pas.

**Solution :** la diversification (fonctionnelle)

- Diversification des équipes de développement (code et spécifications).



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

- Tout le monde doit recevoir les entrées en diffusion dans le même ordre.
- La synchronisation entre les productions de résultats doit permettre la réalisation du vote majoritaire.
- Si les calculateurs redondants supportent la même panne (panne de mode commun) le système ne fonctionne pas.

**Solution :** la diversification (fonctionnelle)

- Diversification des équipes de développement (code et spécifications).
- Diversification des processeurs, des compilateurs et des systèmes d'exploitation.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

### Remarques :

- Si l'on veut simplement tolérer des pannes temporelles on peut prendre la réponse disponible le plus rapidement.



# Les différentes catégories de redondance

## Problèmes de synchronisation en redondance massive

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

### Remarques :

- Si l'on veut simplement tolérer des pannes temporelles on peut prendre la réponse disponible le plus rapidement.
- Si l'on veut tolérer des pannes quelconques on doit voter pour exclure aussi bien les sorties non majoritaires que celles qui apparaissent trop tardivement.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les principaux mécanismes de la tolérance reposent sur l'existence de groupes de serveurs redondants dont les éléments peuvent tomber en panne.

- Il faut tout d'abord détecter les pannes.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les principaux mécanismes de la tolérance reposent sur l'existence de groupes de serveurs redondants dont les éléments peuvent tomber en panne.

- Il faut tout d'abord détecter les pannes.
- Il faut décider de la suite des situations d'appartenance au groupe de serveurs redondants.  
Les situations successives résultent :



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les principaux mécanismes de la tolérance reposent sur l'existence de groupes de serveurs redondants dont les éléments peuvent tomber en panne.

- Il faut tout d'abord détecter les pannes.
- Il faut décider de la suite des situations d'appartenance au groupe de serveurs redondants.  
Les situations successives résultent :
  - des pannes des membres



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

Les principaux mécanismes de la tolérance reposent sur l'existence de groupes de serveurs redondants dont les éléments peuvent tomber en panne.

- Il faut tout d'abord détecter les pannes.
- Il faut décider de la suite des situations d'appartenance au groupe de serveurs redondants.  
Les situations successives résultent :
  - des pannes des membres
  - des réinsertions de composants ou des adjonctions de serveurs nouveaux.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Il faut assurer des transmissions fiables vers des groupes de composants redondants (diffusion d'informations de chacun des clients vers le groupe de serveurs redondants implémentant un service). Ces diffusions doivent être réalisées sous les différentes hypothèses de pannes et satisfaire des propriétés d'ordre.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Il faut assurer des transmissions fiables vers des groupes de composants redondants (diffusion d'informations de chacun des clients vers le groupe de serveurs redondants implémentant un service). Ces diffusions doivent être réalisées sous les différentes hypothèses de pannes et satisfaire des propriétés d'ordre.
- Pour la redondance massive il faut rechercher un consensus sur une valeur calculée  $n$  fois (vote réparti).



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Il faut assurer éventuellement la satisfaction de contraintes temporelles pouvant être sévères. L'ordonnancement temps réel réparti des tâches doit assurer la satisfaction des contraintes. Un point essentiel pour la détection des pannes temporelles comme pour la satisfaction des contraintes temps réel réparti est l'existence d'une synchronisation des horloges disponibles sur les différents sites.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

- Il faut assurer éventuellement la satisfaction de contraintes temporelles pouvant être sévères. L'ordonnancement temps réel réparti des tâches doit assurer la satisfaction des contraintes. Un point essentiel pour la détection des pannes temporelles comme pour la satisfaction des contraintes temps réel réparti est l'existence d'une synchronisation des horloges disponibles sur les différents sites.
- Si la programmation de l'application organise des données réparties partagées sur différents sites il faut assurer le contrôle de l'accès concurrent aux données (maintien de la cohérence) pour des données dupliquées.



# Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

**Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes**

Quelques Problèmes

- Si la programmation de l'application comporte encore des sites centraux (redondances sélectives) il faut prévoir la défaillance de ces serveurs.



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

### Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

### **Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle
- Détection des erreurs concernant les données



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle
- Détection des erreurs concernant les données
  - protection (des interfaces)



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification des pannes

Les différentes catégories de redondance

Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

Quelques Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle
- Détection des erreurs concernant les données
  - protection (des interfaces)
  - vote



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle
- Détection des erreurs concernant les données
  - protection (des interfaces)
  - vote
  - codes détecteurs



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Utilisant des programmes de test
  - détection hors ligne (diagnostics)
  - détection en ligne (détection continue)
  - surveillance mutuelle
- Détection des erreurs concernant les données
  - protection (des interfaces)
  - vote
  - codes détecteurs
  - assertions



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Détection des erreurs d'enchaînement
  - chiens de garde



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Détection des erreurs d'enchaînement
  - chiens de garde
  - observation de points spécifiques de l'exécution



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 1 : LA DÉTECTION DE COMPORTEMENT FAUTIF

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

**Existence de très nombreuses techniques :**

- Détection des erreurs d'enchaînement
  - chiens de garde
  - observation de points spécifiques de l'exécution
  - signature de séquences.



# Quelques Problèmes

## PROBLÈME 2 : LE PROTOCOLE D'APPARTENANCE A UN GROUPE

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

- Assurer que tous les usagers ayant à connaître la situation d'un groupe de serveurs atteignent un consensus sur la composition du groupe.



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 2 : LE PROTOCOLE D'APPARTENANCE A UN GROUPE

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

- Assurer que tous les usagers ayant à connaître la situation d'un groupe de serveurs atteignent un consensus sur la composition du groupe.
- La perception de cette composition est relative à des communications de groupes. (le protocole d'appartenance à un groupe est utilisé conjointement avec un protocole à diffusion).



# Quelques Problèmes

## PROBLÈME 2 : LE PROTOCOLE D'APPARTENANCE A UN GROUPE

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

- Dans un tel protocole on admet souvent que le temps est divisé en époques ou la composition du groupe est fixe et identique pour tout le monde.



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 2 : LE PROTOCOLE D'APPARTENANCE A UN GROUPE

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Faire passer le plus vite possible un composant de l'état de faute latente à l'état de faute détectée.

- Dans un tel protocole on admet souvent que le temps est divisé en époques ou la composition du groupe est fixe et identique pour tout le monde.
- A l'intérieur d'une même époque les communications en diffusion atteignent la même liste de processeurs ou échouent ce qui peut advenir en période de changement de liste.



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 3 : LA DIFFUSION, LE PROBLÈME DU CONSENSUS

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Les deux problèmes précédents sont des variantes peu différentes consistant à faire s'accorder différents composants d'un groupe sur une même valeur

- valeur diffusée,

La valeur est utilisée comme un signal pour déclencher un traitement (valeur binaire)

Exemple du problème de validation

La valeur est utilisée comme une donnée.

Exemple du problème de redondance massive.



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 3 : LA DIFFUSION, LE PROBLÈME DU CONSENSUS

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Les deux problèmes précédents sont des variantes peu différentes consistant à faire s'accorder différents composants d'un groupe sur une même valeur

- valeur diffusée,
- valeur votée après un calcul.

La valeur est utilisée comme un signal pour déclencher un traitement (valeur binaire)

Exemple du problème de validation

La valeur est utilisée comme une donnée.

Exemple du problème de redondance massive.



# Quelques Problèmes

## PROBLÈME 4 : LE PROTOCOLE DE SYNCHRONISATION D'HORLOGE

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif** : Assurer que des horloges situées sur des sites distincts fournissent une datation absolue des événements avec une incertitude définie.

On distingue dans ce contexte deux sous-problèmes :

- Assurer que différents sites arrivent à démarrer ensemble avec la même heure absolue (au même moment avec une incertitude connue).  
Problème du peloton d'exécution.



# Quelques Problèmes

## PROBLÈME 4 : LE PROTOCOLE DE SYNCHRONISATION D'HORLOGE

### Introduction

### Classification des pannes

### Les différentes catégories de redondance

### Les problèmes fondamentaux des systèmes répartis tolérants les pannes

### Quelques Problèmes

**Objectif :** Assurer que des horloges situées sur des sites distincts fournissent une datation absolue des événements avec une incertitude définie.

On distingue dans ce contexte deux sous-problèmes :

- Assurer que différents sites arrivent à démarrer ensemble avec la même heure absolue (au même moment avec une incertitude connue).  
Problème du peloton d'exécution.
- Maintenir aussi longtemps que nécessaire les différentes horloges dans une variation relative connue en contrôlant la dérive relative



# Quelques Problèmes

## PROBLEME 5 : LE PROTOCOLE D'ÉLECTION

Introduction

Classification  
des pannes

Les différentes  
catégories de  
redondance

Les problèmes  
fondamentaux  
des systèmes  
répartis  
tolérants les  
pannes

Quelques  
Problèmes

**Objectif :** Lorsqu'une solution à un problème est basée sur l'existence d'un site coordinateur unique (solution centralisée) la panne du coordinateur doit être tolérée.

- Le protocole dit d'élection vise à désigner un et un seul coordinateur remplaçant.

