

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

Master SAR

UE GRETR

Manuel GONZALEZ

Axel SEGUIN

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

# Introduction

- Nécessité d'horloge temps réel dans l'industrie de plus en plus précis
- Exemples :
  - NFS
  - TDMA
  - Fourniture d'eau
  - Fourniture d'énergie

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- **Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge**
- IEEE 1588
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

# Concepts et problèmes de la synchro d'horloge

- Besoin d'un temps commun sans horloge partagée
- Dérive des horloges
- Synchronisation externe : horloge de référence
- Synchronisation interne : maintenir un groupe d'horloges synchronisées
- Temps de transmission des messages sur le réseau

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- **IEEE 1588**
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

# IEEE 1588

- Objectifs
- Principes (fonctionnement de la synchronisation)
- Les différents messages
- Election du maître
- Les différents états
- Les messages de gestion

# IEEE 1588

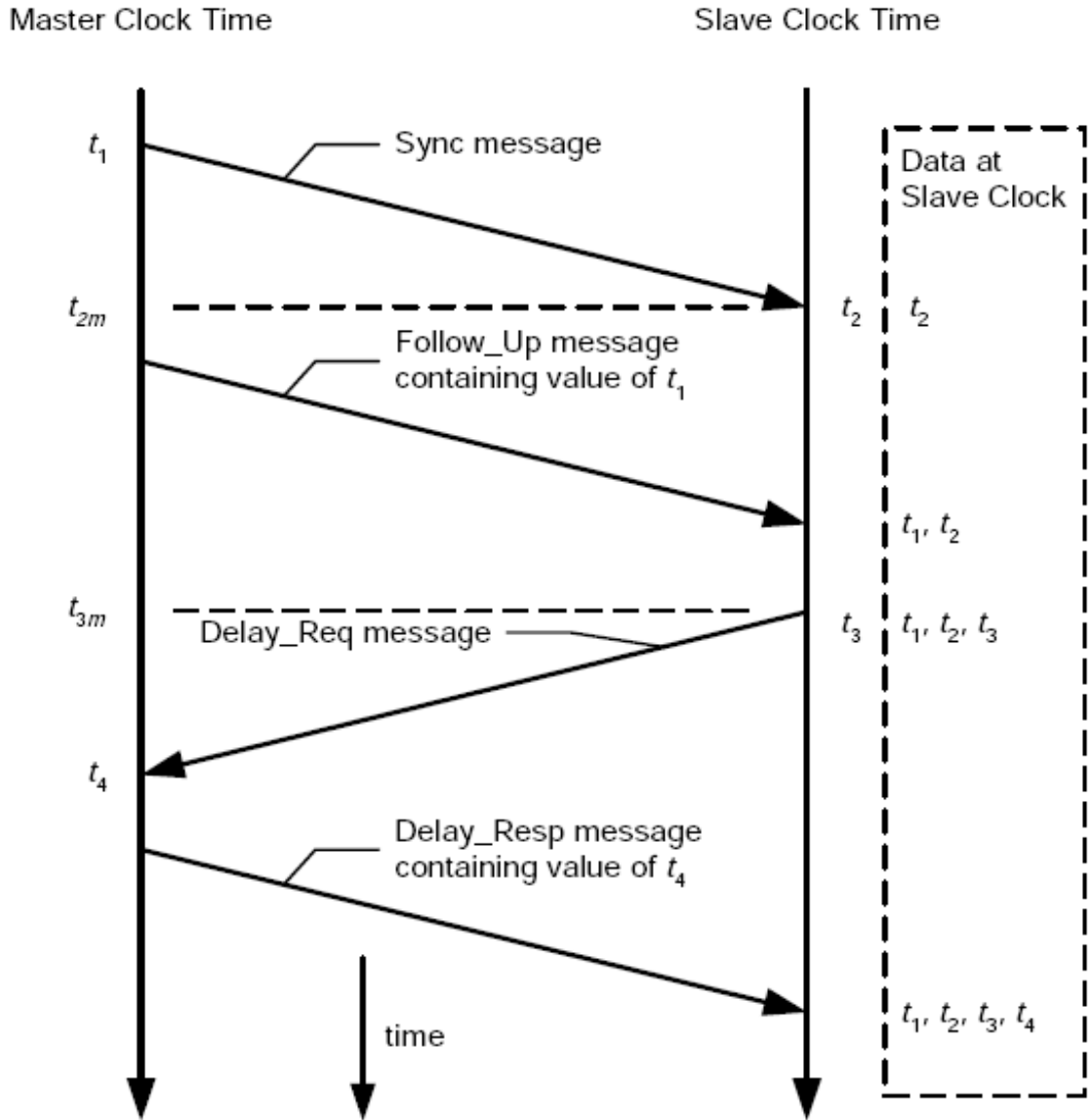
## Objectifs

- Synchronisation submicroseconde d'horloges RT sur un réseau
- Destiné à des réseaux locaux supportant le multicast
- Installation simple sans administration
- Gère un ensemble d'horloges hétérogènes
- Peu de ressources sur les hôtes et le réseau

# Principes

- Un maître sur lequel se synchronisent les esclaves
- Echange de messages périodiquement
  - Le maître envoie SYNC en multicast
  - Le maître envoie FOLLOW\_UP
  - L'esclave envoie DELAY\_REQ
  - Le maître envoie DELAY\_RESP

# Principles



# Principes

## Décalage apparent

- SYNC et FOLLOW\_UP : mesurent le décalage apparent entre 2 horloges

diff\_ME = réception esclave – émission maître

$$= t_2 - t_1$$

diff\_ME = dérive + ME délai transmission

- Exemple :

11:30 – 10:00 = 90 minutes

# Principes

## Délai de transmission

- DELAY\_REQ et DELAY\_RESP mesurent le délai de propagation

diff\_EM = réception maître – émission esclave

$$= t_4 - t_3$$

diff\_EM = - dérive + EM délai transmission

- Exemple :

11:10 – 11:30 = -20 minutes

# Principes

- 2 équations, 3 inconnues :
  - $ME_{diff} = \text{dérive} + ME \text{ délai transmission}$
  - $EM_{diff} = -\text{dérive} + EM \text{ délai transmission}$
- Donc (avec des délais de transmission symétriques) :
  - $\text{Dérive} = \{(ME_{diff} - EM_{diff}) - (ME \text{ délai} - EM \text{ délai})\} / 2$   
 $= (ME_{diff} - EM_{diff}) / 2$
  - $\text{Délai} = (ME_{diff} + EM_{diff}) / 2$

# Principes

## Exemple

- Exemple :
  - Dérive des horloges 1 heure
  - Délai ME = 30 mins
  - Délai EM = 40 mins
  - ME\_diff = 90 mins
  - EM\_diff = -20 mins
  - Dérive =  $\{90 - (-20)\} / 2 = 55$  minutes
  - Délai =  $\{90 + (-20)\} / 2 = 35$  minutes

# Les différents messages SYNC

- Envoyé par le maître
- Contient les propriétés de l'horloge
- Contient une estimation de l'heure d'émission
- Son heure de réception est notée
- Doit être identifiable sur le réseau afin que l'heure de réception soit la plus précise possible

# Les différents messages

## FOLLOW\_UP

- Envoyé par le maître
- Toujours en association avec le message SYNC qui le précède
- Contient l'heure exacte d'émission
- Utilisé par l'esclave pour déterminer la dérive

# Les différents messages

## DELAY\_REQ

- Envoyé par l'esclave
- L'esclave enregistre l'heure d'émission
- Le maître enregistre l'heure de réception
- Doit être identifiable sur le réseau afin que l'heure de réception soit la plus précise possible

# Les différents messages

## DELAY\_RESP

- Envoyé par le maître
- Toujours associé avec le message DELAY\_REQ qui le précède
- Contient l'heure exacte de réception du message DELAY\_REQ
- L'heure qu'il contient est enregistrée par l'esclave

# Election du maître

- Chaque horloge peut envoyer des SYNC messages
- A réception d'un message SYNC, un maître exécute l'algorithme BMC (Best Master Clock)
- Utilise les infos contenues dans le SYNC
- Switchs et routeurs peuvent être maître et esclave en même temps

# Election du maître

## Algorithme BMC

- Comparaison des données des différents maîtres :
  - Groupe préféré
  - Strate
  - Précision de l'horloge
  - Stabilité
  - Le plus proche
  - UUID

# Les états

- PTP\_INITIALIZING
- PTP\_FAULTY
- PTP\_DISABLED
- PTP\_LISTENING
- PTP\_PRE\_MASTER
- PTP\_MASTER
- PTP\_PASSIVE
- PTP\_UNCALIBRATED
- PTP\_SLAVE

# Messages de gestions

- Permettent d'accéder aux data sets de chaque horloge
- Permettent la modification de certains éléments
- Permettent de commander des changements d'états

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- **Les autres approches**
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

# Les autres approches

- 2 approches principales
  - Maître/esclave
  - Démocratique
- Autres approches:
  - Peer-to-peer
  - Client/serveur
  - Distribuée

# Les autres approches

- Approche démocratique: SynUTC
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Horloge très précise
- Horo-datage des paquets
- Intervalle de temps

# Les autres approches

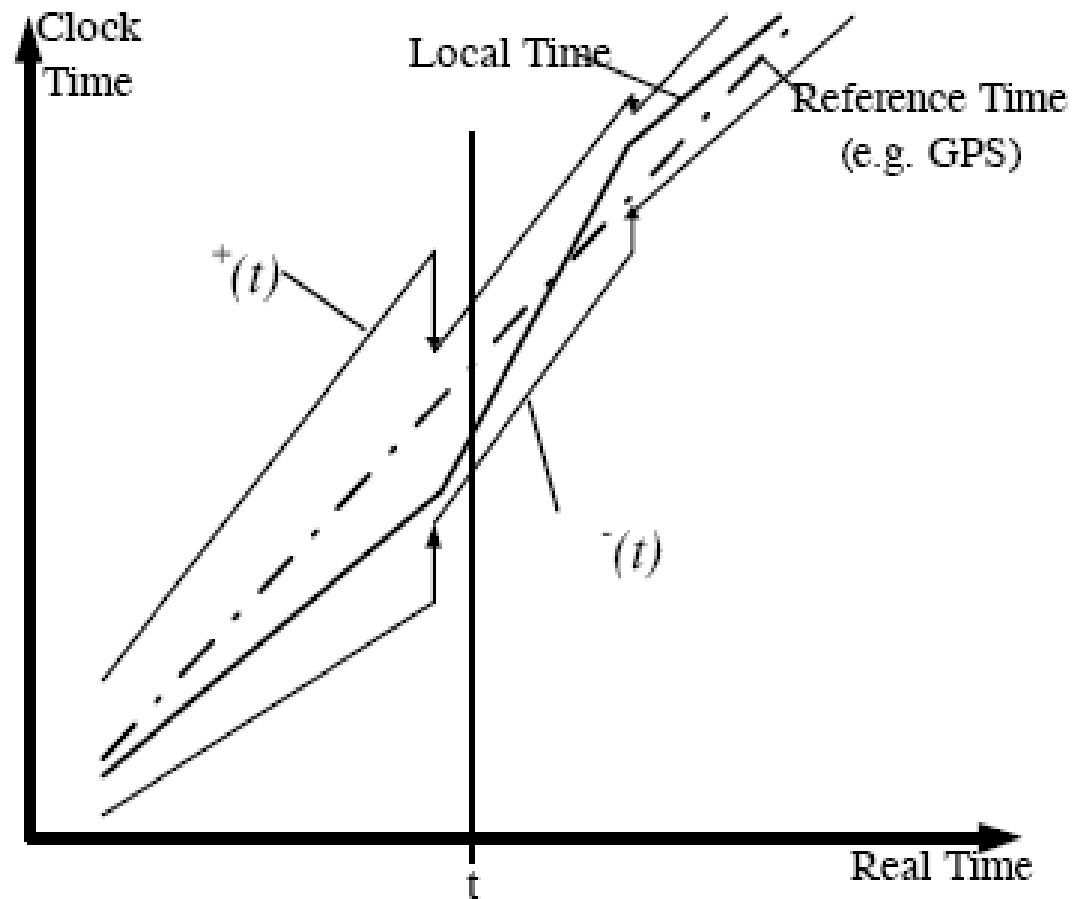


Figure 2: Basic issues of interval clocks and accuracy intervals. Local time follows the reference time within the accuracy bounds.

# Les autres approches

- Approche peer-to-peer: NTP
- Protocole internet ( RFC 1305)
- Précision de l'ordre de la milliseconde
- Structure pyramidale

# Les autres approches

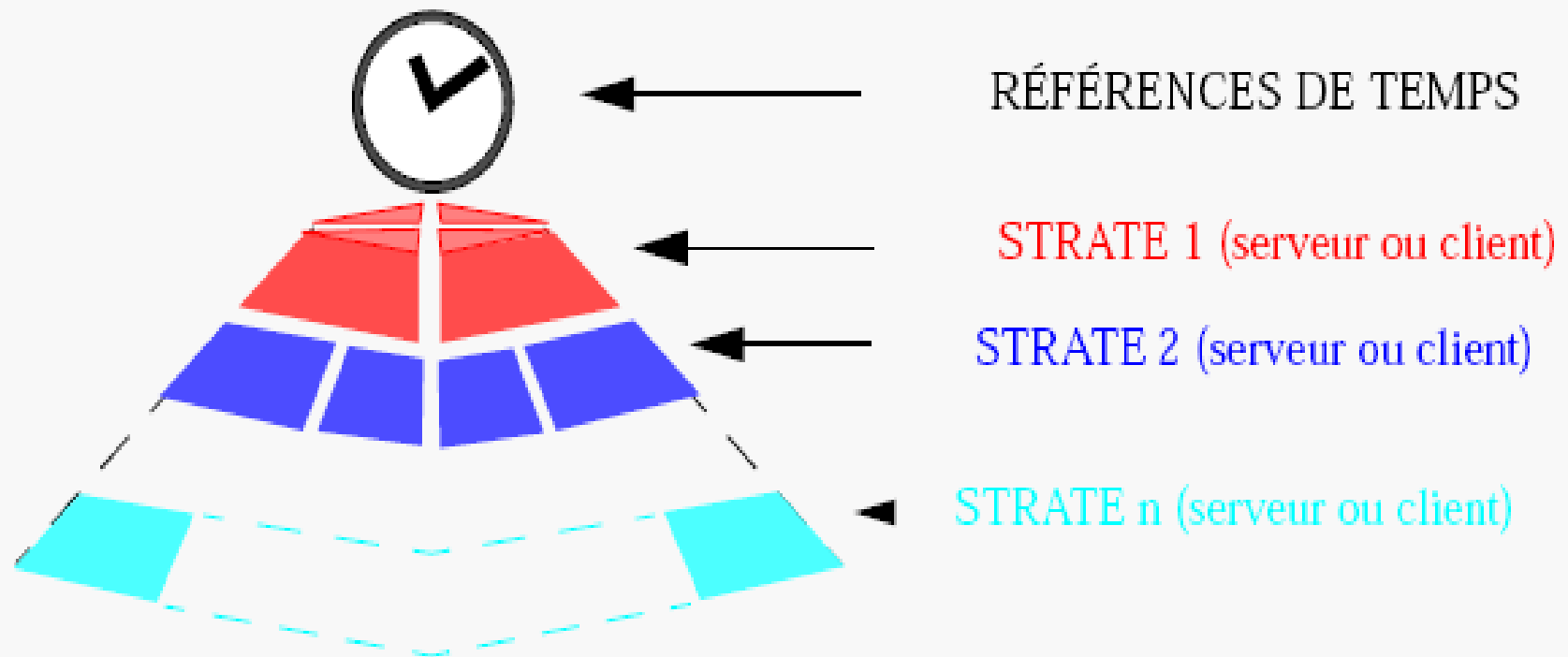
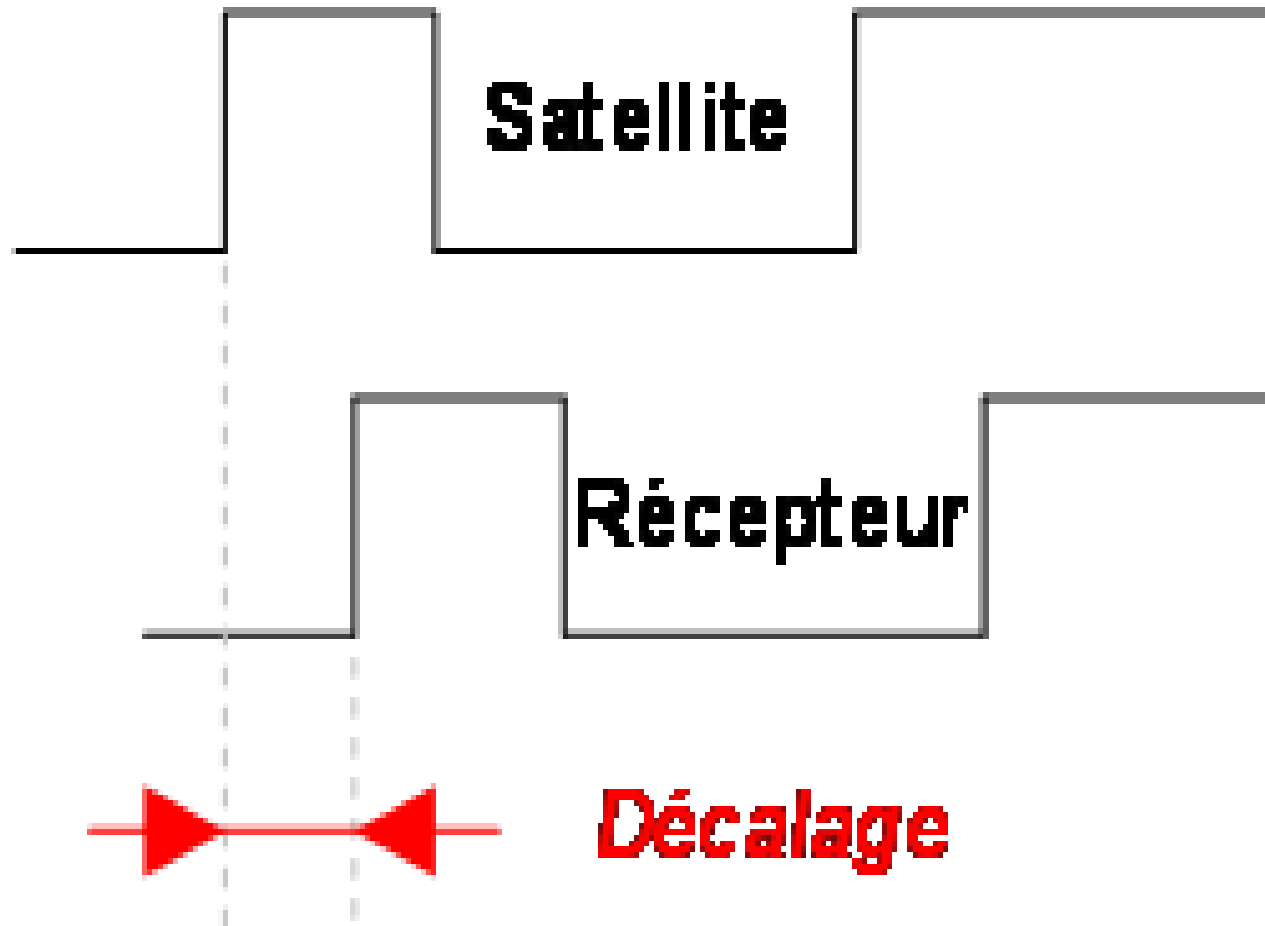


FIG. 1 - *Relations entre serveurs NTP*

# Les autres approches

- Approche client/serveur: GPS
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Satellites possèdent une horloge atomique

# Les autres approches



# Les autres approches

- Approche distribuée: TTP
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Protocole de la couche MAC
- Déterministe
- Tolérance aux fautes
- Horloge globale

# Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- Les autres approches
- **Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande**

# Application à ethernet temps-réel

- Ethernet et le temps-réel: problèmes/solutions
  - Indéterminisme dû à CSMA/CD
  - Asymétrie des délais

=>TDMA et le besoin de synchronisation
- Implémentation de la norme IEEE 1588 sur ethernet

# Application à ethernet temps-réel

- Gestion de la tolérance aux fautes:
  - Panne d'un maître, d'un switch
- => Groupes de maîtres, ...

# Application à ethernet temps-réel

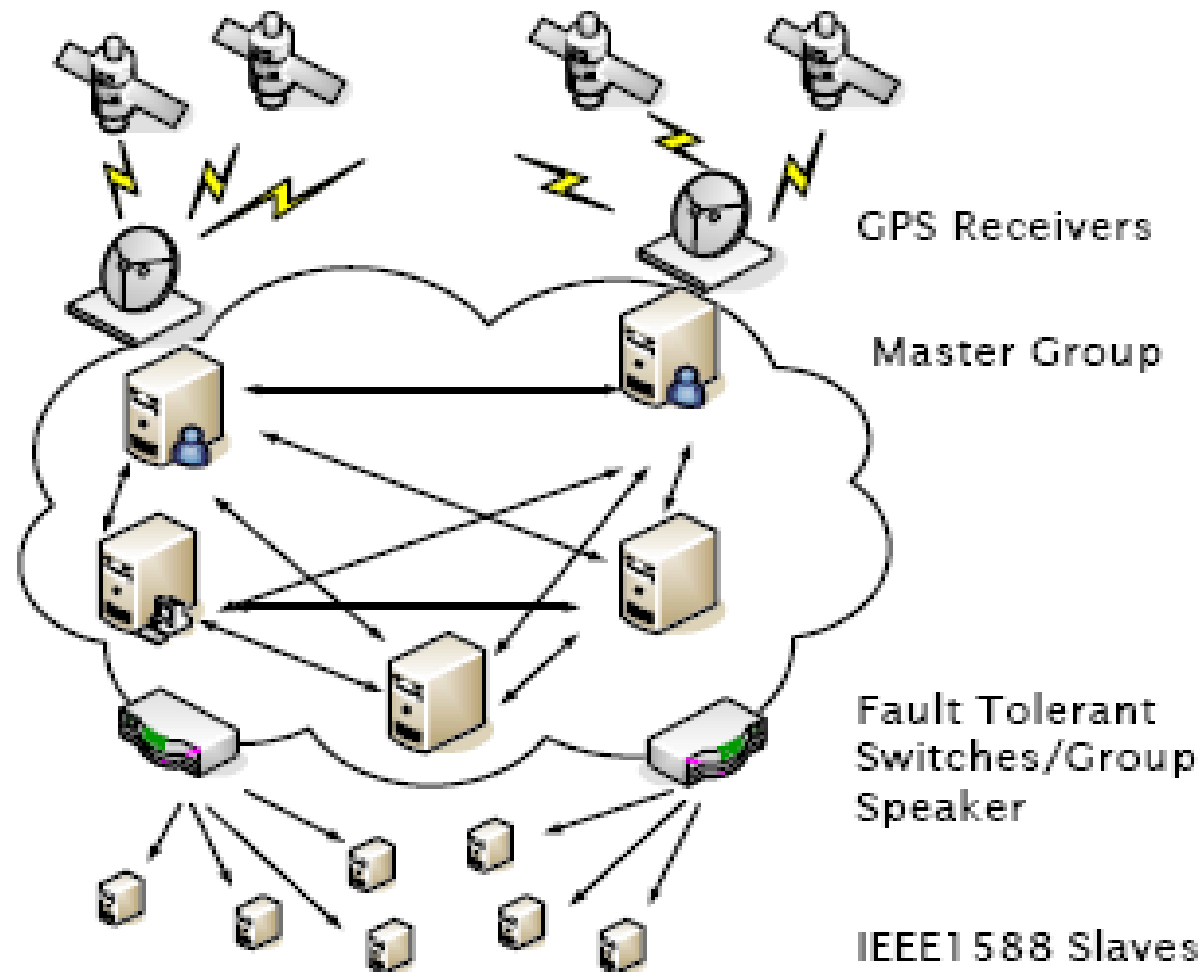


Figure 1. Master group concept

# Application à ethernet temps-réel

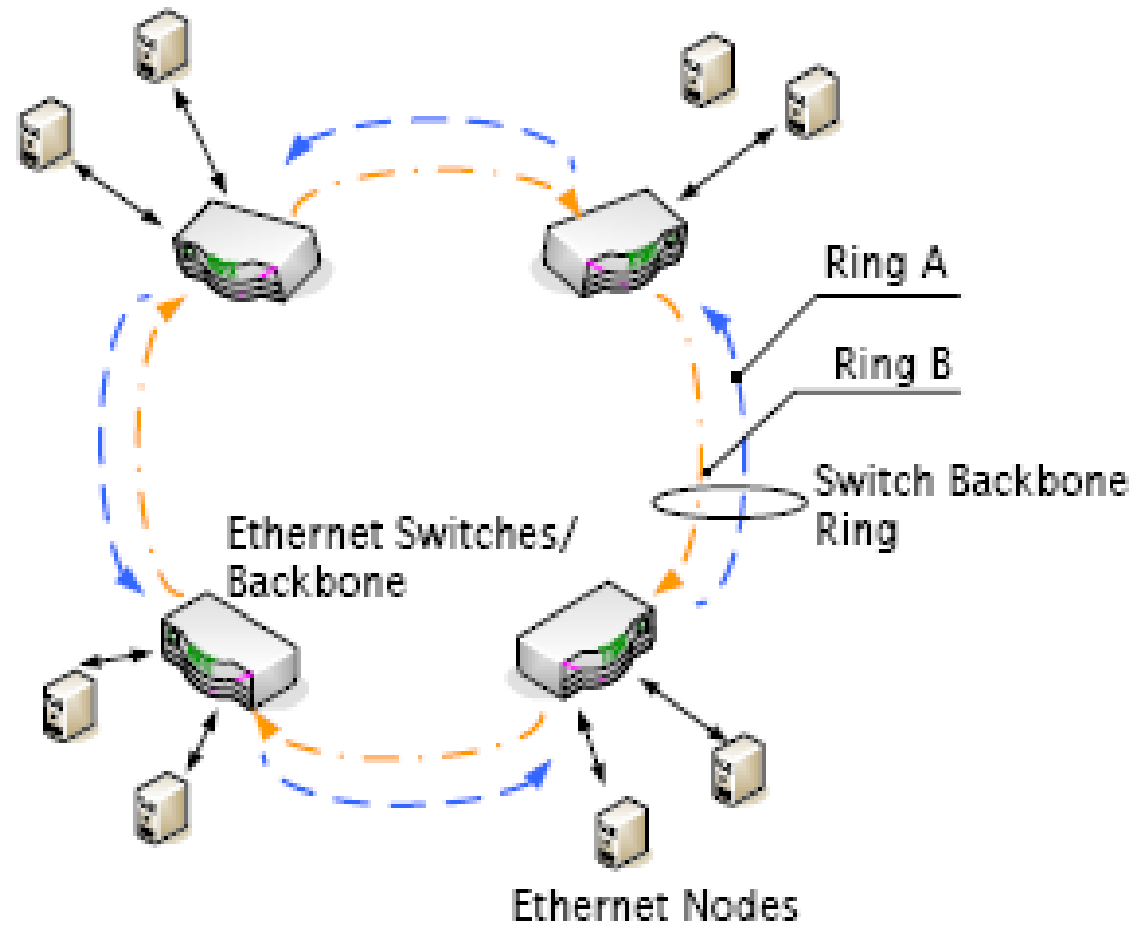


Figure 3. Inter-switch ring network [13]

# Application aux systèmes de contrôle commande

- Nécessité de synchroniser les systèmes de contrôle:
  - Capteurs
  - Contrôleurs
  - ...
- Différents degrés de précision

# Conclusion

# Conclusion

- 2 types de synchronisation:
  - Interne
  - Externe
- Synchronisation en continu
- Problème de sécurité