

# Mise au point d'algorithmes répartis en environnement fortement variable, et expérimentation sur réseaux sans fil

Corine MARCHAND

Directeur de thèse : M<sup>me</sup> Brigitte PATEAU

Co-encadrant : M. Jean-Marc VINCENT

Laboratoire ID-IMAG (UMR 5132), Projet Apache.

Projet MIRRA : Contrat de collaboration INRIA - France Télécom R&D



Laboratoire  
Informatique et  
Distribution



Institut National  
Polytechnique  
de Grenoble



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



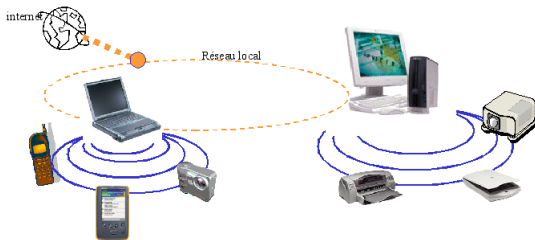
INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE EN  
INFORMATIQUE ET  
EN AUTOMATIQUE



UNIVERSITÉ  
JOSEPH FOURIER  
SCIENCE TECHNOLOGIE MÉDECINE

## Environnement

### Environnement type



### Objets Communicants

- Ordinateurs portables
- Assistants personnels
- Téléphones cellulaires
- ...

### Réseau ad-hoc sans fil

- WIFI
- Bluetooth
- ...

### Principe

Les entités partagent des **services** et collaborent au **maintien** de la communauté

**Exemples** : Réunion de travail, jeux en réseau

- 1 Réseaux ambiants
- 2 Caractérisation de la variabilité
- 3 Algorithme de consensus en environnement variable
- 4 Détecteurs de défaillances et qualité de service
- 5 Analyse et évaluation du module de consensus
- 6 Conclusions et Perspectives

# Réseaux ambiants

## Applications sur réseaux sans fil

### Architecture dynamique

- Comportement des objets communicants
  - Connexions / Déconnexions
- Comportement de l'interconnexion
  - Communications non fiables
  - Variabilité des latences
- Hétérogénéité

⇒ Construction d'une infrastructure middleware distribuée.

### Offrir une palette d'outils middleware

- Garantir la disponibilité des services
- Gérer l'accès cohérent aux services

## Applications sur réseaux sans fil

### Architecture dynamique

- Comportement des objets communicants
  - Connexions / Déconnexions
- Comportement de l'interconnexion
  - Communications non fiables
  - Variabilité des latences
- Hétérogénéité

⇒ Construction d'une infrastructure middleware distribuée.

### Offrir une palette d'outils middleware

- Garantir la disponibilité des services
- Gérer l'accès cohérent aux services

## Applications sur réseaux sans fil

### Architecture dynamique

- Comportement des objets communicants
  - Connexions / Déconnexions
- Comportement de l'interconnexion
  - Communications non fiables
  - Variabilité des latences
- Hétérogénéité

⇒ Construction d'une infrastructure middleware distribuée.

### Offrir une palette d'outils middleware

- Garantir la disponibilité des services
- Gérer l'accès cohérent aux services

## Contexte général

### Problématique

Comment assurer le maintien de la cohérence de la communauté dans un réseau ambiant ?

### Moyen

- Prise de décision répartie.
- Conception et mise au point d'algorithmes répartis "adaptés".

### Réalisation

Construction de modules middleware adaptés à la dynamique de l'architecture.

→ A terme, masquer l'instabilité de l'architecture aux applications



## Contexte général

### Problématique

Comment assurer le maintien de la cohérence de la communauté dans un réseau ambiant ?

### Moyen

- Prise de décision répartie.
- Conception et mise au point d'algorithmes répartis "adaptés".

### Réalisation

Construction de modules middleware adaptés à la dynamique de l'architecture.

→ A terme, masquer l'instabilité de l'architecture aux applications

## Contexte général

### Problématique

Comment assurer le maintien de la cohérence de la communauté dans un réseau ambiant ?

### Moyen

- Prise de décision répartie.
- Conception et mise au point d'algorithmes répartis "adaptés".

### Réalisation

Construction de modules middleware adaptés à la dynamique de l'architecture.  
→ A terme, masquer l'instabilité de l'architecture aux applications

## Contexte général

### Approche

- Adaptation des algorithmes existants.

### Méthodologie

- Caractérisation de l'environnement
  - Identification et quantification des particularités.
- Adaptation des algorithmes répartis
  - Adaptation interne → comportementale.
  - Mise au point et dimensionnement → réglage du paramétrage.
- Validation expérimentale

## Contexte général

### Approche

- Adaptation des algorithmes existants.

### Méthodologie

- Caractérisation de l'environnement
  - Identification et quantification des particularités.
- Adaptation des algorithmes répartis
  - Adaptation interne → comportementale.
  - Mise au point et dimensionnement → réglage du paramétrage.
- Validation expérimentale

# Caractérisation de la variabilité

## Caractérisation de la dynamique

### Adaptations nécessaires :

- Non fiabilité des communications
- Forte variabilité des temps de communication
- Le problème des déconnexions / reconnexions fréquentes
- Hétérogénéité des entités

### Objectif :

Exhiber et analyser les comportements de l'environnement.

- Niveau comportemental (connexion/déconnexion).
- 

### Campagnes d'expériences :

Expérimentations et analyse de performances.

## Caractérisation de la dynamique

### Adaptations nécessaires :

- Non fiabilité des communications
- Forte variabilité des temps de communication
- Le problème des déconnexions / reconnexions fréquentes
- Hétérogénéité des entités

### Objectif :

Exhiber et analyser les comportements de l'environnement.

- Niveau comportemental (connexion/déconnexion).
- Niveau communication (variabilité).

### Campagnes d'expériences :

Expérimentations et analyse de performances.

## Caractérisation de la dynamique

### Adaptations nécessaires :

- Non fiabilité des communications
- Forte variabilité des temps de communication
- Le problème des déconnexions / reconnexions fréquentes
- Hétérogénéité des entités

### Objectif :

Exhiber et analyser les comportements de l'environnement.

- Niveau comportemental (connexion/déconnexion).
- **Niveau communication (variabilité).**

### Campagnes d'expériences :

Expérimentations et analyse de performances.



## Caractérisation de la dynamique

### Adaptations nécessaires :

- Non fiabilité des communications
- Forte variabilité des temps de communication
- Le problème des déconnexions / reconnexions fréquentes
- Hétérogénéité des entités

### Objectif :

Exhiber et analyser les comportements de l'environnement.

- Niveau comportemental (connexion/déconnexion).
- **Niveau communication (variabilité).**

### Campagnes d'expériences :

Expérimentations et analyse de performances.

## Paramètre étudié : Latence

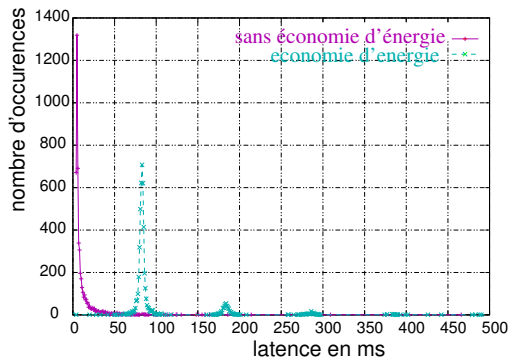
Expériences préliminaires : **Latence**, débit et pertes

## Contexte expérimental :

- Protocole 802.11b
- Mode ad-hoc

## Mesure de latence :

- PDAs 1<sup>ère</sup> génération
- ping (délai : 1s)
- Taille échantillon : 5000 mesures



Facteur influent : Économie d'énergie

⇒ Identification des facteurs influents

## Paramètres étudié : Latence

## Analyse factorielle des latences

## Facteurs retenus :

- Distance
- Nb obstacles
- Nb entités
- Charge réseau
- Type récepteur
- Type émetteur
- Économie d'énergie

+ Interactions

Restrictions : environnement de type salle de réunion

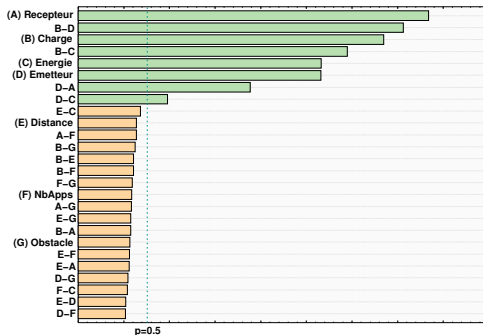
## Paramètres étudié : Latence

## Analyse factorielle des latences

## Facteurs retenus :

- Distance
- Nb obstacles
- Nb entités
- Charge réseau
- Type récepteur
- Type émetteur
- Économie d'énergie

+ Interactions



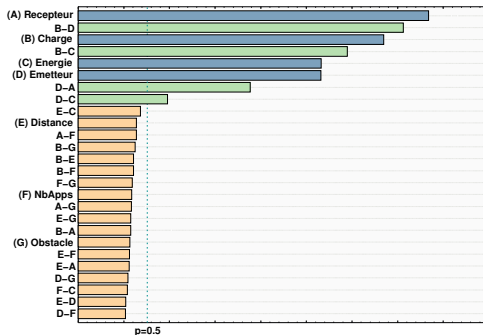
Restrictions : environnement de type salle de réunion

## Paramètres étudié : Latence

## Analyse factorielle des latences

## Facteurs prépondérants :

- Distance
- Nb obstacles
- Nb entités
- Charge réseau
- Type récepteur
- Type émetteur
- Économie d'énergie
- + Interactions



Restrictions : environnement de type salle de réunion

## Bilan

### Étude environnementale

- Niveau réseau d'interconnexion :
  - Identification des spécificités de l'environnement.
  - Quantification des performances escomptées.
- Niveau objets communicants :
  - Qualification des comportements.
  - Caractérisation de l'hétérogénéité

### Intérêt :

- Adaptation spécifique des algorithmes
- Réglage adéquat des paramètres

## Bilan

### Étude environnementale

- Niveau réseau d'interconnexion :
  - Identification des spécificités de l'environnement.
  - Quantification des performances escomptées.
- Niveau objets communicants :
  - Qualification des comportements.
  - Caractérisation de l'hétérogénéité

### Intérêt :

- Adaptation spécifique des algorithmes
- Réglage adéquat des paramètres

## Bilan

### Étude environnementale

- Niveau réseau d'interconnexion :
  - Identification des spécificités de l'environnement.
  - Quantification des performances escomptées.
- Niveau objets communicants :
  - Qualification des comportements.
  - Caractérisation de l'hétérogénéité

### Intérêt :

- Adaptation spécifique des algorithmes
- Réglage adéquat des paramètres



## Bilan

### Étude environnementale

- Niveau réseau d'interconnexion :
  - Identification des spécificités de l'environnement.
  - Quantification des performances escomptées.
- Niveau objets communicants :
  - Qualification des comportements.
  - Caractérisation de l'hétérogénéité

### Intérêt :

- Adaptation spécifique des algorithmes
- Réglage adéquat des paramètres

# Algorithme de consensus en environnement variable

## Le problème du consensus

### Problèmes de "cohérence applicative" :

- Gestion de groupe
- Continuité de service
- Gestion de ressources

### Classes d'algorithmes :

- Diffusion atomique
- Élection
- Consensus
- Enregistrements cohérents d'états
- ...

⇒ Brique de base : Algorithme de Consensus

## Le problème du consensus

### Problèmes de "cohérence applicative" :

- Gestion de groupe
- Continuité de service
- Gestion de ressources

### Classes d'algorithmes :

- Diffusion atomique
- Élection
- Consensus
- Enregistrements cohérents d'états
- ...

⇒ Brique de base : Algorithme de Consensus

## Le problème du consensus

### Problèmes de "cohérence applicative" :

- Gestion de groupe
- Continuité de service
- Gestion de ressources

### Classes d'algorithmes :

- Diffusion atomique
- Élection
- Consensus
- Enregistrements cohérents d'états
- ...

⇒ Brique de base : Algorithme de Consensus

## L'instabilité de l'environnement

### Modèles de l'environnement

- Au niveau des communications
  - Environnement asynchrone
  - Environnement non fiable
- Au niveau des défaillances
  - Défaillances définitives
  - Défaillances momentanées

## L'instabilité de l'environnement

### Modèles de l'environnement

- Au niveau des communications
  - Environnement asynchrone
  - Environnement non fiable
- Au niveau des défaillances
  - Défaillances définitives
  - Défaillances momentanées

## L'instabilité de l'environnement

### Modèles de l'environnement

- Au niveau des communications
  - Environnement asynchrone
  - Environnement non fiable
- Au niveau des défaillances
  - Défaillances définitives
  - Défaillances momentanées



## Le problème du consensus

### Impossibilité de Fisher, Lynch & Paterson

[Fischer-Lynch-Paterson 85]

#### Alternatives (Approches possibles)

- Algorithmes probabilistes [Canetti-Rabin 93]
- Algorithmes auto-stabilisants [Tixeuil 00]
- Approche partiellement synchrone [Dwork-Lynch-Stockmeyer 88]
- ....

⇒ Choix algorithmiques :

Consensus + Détecteurs de défaillances [Chandra-Toueg 96]

#### Intérêt

Concentrer l'analyse de la variabilité de l'environnement.

## Le problème du consensus

### Impossibilité de Fisher, Lynch & Paterson

[Fischer-Lynch-Paterson 85]

### Alternatives (Approches possibles)

- Algorithmes probabilistes [Canetti-Rabin 93]
- Algorithmes auto-stabilisants [Tixeuil 00]
- Approche partiellement synchrone [Dwork-Lynch-Stockmeyer 88]
- ....

⇒ Choix algorithmiques :

Consensus + Détecteurs de défaillances

[Chandra-Toueg 96]

### Intérêt

Concentrer l'analyse de la variabilité de l'environnement.

## Le problème du consensus

### Impossibilité de Fisher, Lynch & Paterson

[Fischer-Lynch-Paterson 85]

### Alternatives (Approches possibles)

- Algorithmes probabilistes [Canetti-Rabin 93]
- Algorithmes auto-stabilisants [Tixeuil 00]
- Approche partiellement synchrone [Dwork-Lynch-Stockmeyer 88]
- ....

⇒ Choix algorithmiques :

Consensus + Détecteurs de défaillances [Chandra-Toueg 96]

### Intérêt

Concentrer l'analyse de la variabilité de l'environnement.

## Le problème du consensus

### Impossibilité de Fisher, Lynch & Paterson

[Fischer-Lynch-Paterson 85]

### Alternatives (Approches possibles)

- Algorithmes probabilistes [Canetti-Rabin 93]
- Algorithmes auto-stabilisants [Tixeuil 00]
- Approche partiellement synchrone [Dwork-Lynch-Stockmeyer 88]
- ....

⇒ Choix algorithmiques :

Consensus + Détecteurs de défaillances [Chandra-Toueg 96]

### Intérêt

Concentrer l'analyse de la variabilité de l'environnement.

## Les détecteurs de défaillances

### Fonctionnalité

Construction d'un état estimé de chaque site distant.

Vue locale de l'ensemble du système.

→ Liste des sites distants suspects (notion de "présence")

### Propriétés

- Exactitude (un processus correct ne doit pas être suspecté)
- Complétude (un processus incorrect doit être suspecté)

### Qualité de l'information et Réactivité

[Chen-Toueg-Aguilera 00]

- Erreurs non symétriques
- Risques associées différents

	<i>connecté</i>	<i>déconnecté</i>
<i>non suspecté</i>	ok	erreur type I
<i>suspecté</i>	erreur type II	ok

## Les détecteurs de défaillances

### Fonctionnalité

Construction d'un état estimé de chaque site distant.

Vue locale de l'ensemble du système.

→ Liste des sites distants suspects (notion de "présence")

### Propriétés

- Exactitude (un processus correct ne doit pas être suspecté)
- Complétude (un processus incorrect doit être suspecté)

### Qualité de l'information et Réactivité

[Chen-Toueg-Aguilera 00]

● Erreurs non symétriques

→ Risques associées différents

	<i>connecté</i>	<i>déconnecté</i>
<i>non suspecté</i>	ok	erreur type I
<i>suspecté</i>	erreur type II	ok

## Les détecteurs de défaillances

### Fonctionnalité

Construction d'un état estimé de chaque site distant.

Vue locale de l'ensemble du système.

→ Liste des sites distants suspects (notion de "présence")

### Propriétés

- Exactitude (un processus correct ne doit pas être suspecté)
- Complétude (un processus incorrect doit être suspecté)

### Qualité de l'information et Réactivité

[Chen-Toueg-Aguilera 00]

- Erreurs non symétriques
- Risques associées différents

	<i>connecté</i>	<i>déconnecté</i>
<i>non suspecté</i>	ok	erreur type I
<i>suspecté</i>	erreur type II	ok

## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round

## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

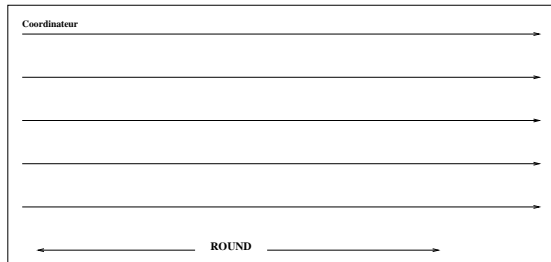
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

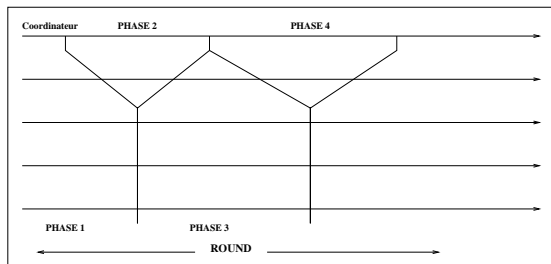
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

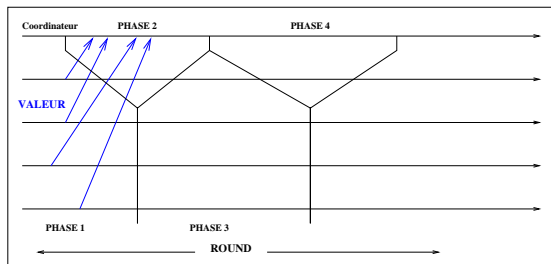
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

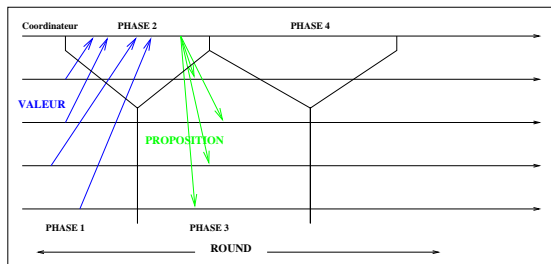
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

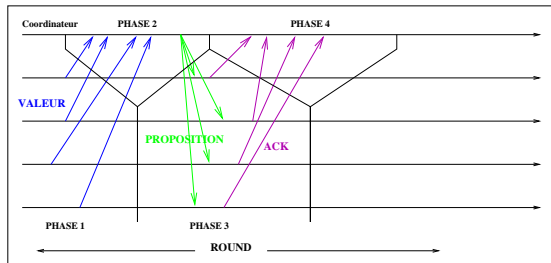
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Algorithme de consensus

### Principe algorithmique

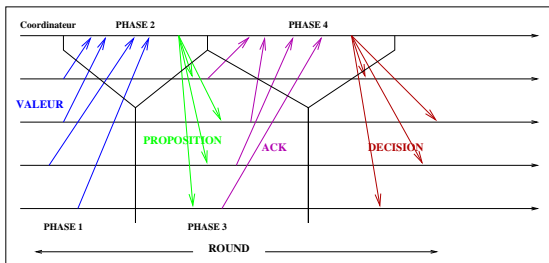
### Algorithme de Chandra & Toueg [Chandra-Toueg 96]

#### Hypothèses

- Communications fiables
- Majorité de processus corrects

#### Principe de fonctionnement

- Rounds asynchrones
- 1 coordinateur par round
- 4 étapes par round



## Adaptation de l'algorithme de consensus

### Fiabilisation des communications

- Module de retransmission périodique [Guerraoui-Oliveira-Schiper 97]
- Choix de la politique de réémission
  - Nombre de réémissions, Période de réémission, Type de messages réémis

### Gestion des entités

- Fluctuation du nombre d'entités présentes
  - ⇒ attentes longues
- Utilisation systématique des détecteurs de défaillances
  - ⇒ force le passage au round suivant en cas d'instabilité
- Interrogations des détecteurs couplées avec le module de retransmission

### Diffusion de la décision

- Protocole de diffusion agressive de la valeur de décision



## Adaptation de l'algorithme de consensus

### Fiabilisation des communications

- Module de retransmission périodique [Guerraoui-Oliveira-Schiper 97]
- Choix de la politique de réémission
  - Nombre de réémissions, Période de réémission, Type de messages réémis

### Gestion des entités

- Fluctuation du nombre d'entités présentes
  - ⇒ attentes longues
- Utilisation systématique des détecteurs de défaillances
  - ⇒ force le passage au round suivant en cas d'instabilité
- Interrogations des détecteurs couplées avec le module de retransmission

### Diffusion de la décision

- Protocole de diffusion agressive de la valeur de décision

## Adaptation de l'algorithme de consensus

### Fiabilisation des communications

- Module de retransmission périodique [Guerraoui-Oliveira-Schiper 97]
- Choix de la politique de réémission
  - Nombre de réémissions, Période de réémission, Type de messages réémis

### Gestion des entités

- Fluctuation du nombre d'entités présentes
  - ⇒ attentes longues
- Utilisation systématique des détecteurs de défaillances
  - ⇒ force le passage au round suivant en cas d'instabilité
- Interrogations des détecteurs couplées avec le module de retransmission

### Diffusion de la décision

- Protocole de diffusion agressive de la valeur de décision

## Adaptation de l'algorithme de consensus

### Fiabilisation des communications

- Module de retransmission périodique [Guerraoui-Oliveira-Schiper 97]
- Choix de la politique de réémission
  - Nombre de réémissions, Période de réémission, Type de messages réémis

### Gestion des entités

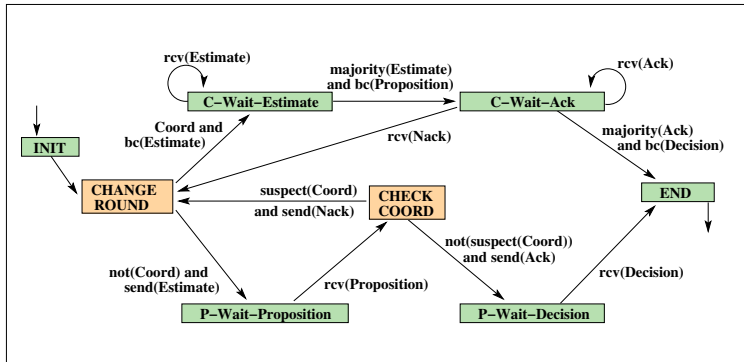
- Fluctuation du nombre d'entités présentes
  - ⇒ attentes longues
- Utilisation systématique des détecteurs de défaillances
  - ⇒ force le passage au round suivant en cas d'instabilité
- Interrogations des détecteurs couplées avec le module de retransmission

### Diffusion de la décision

- Protocole de diffusion agressive de la valeur de décision

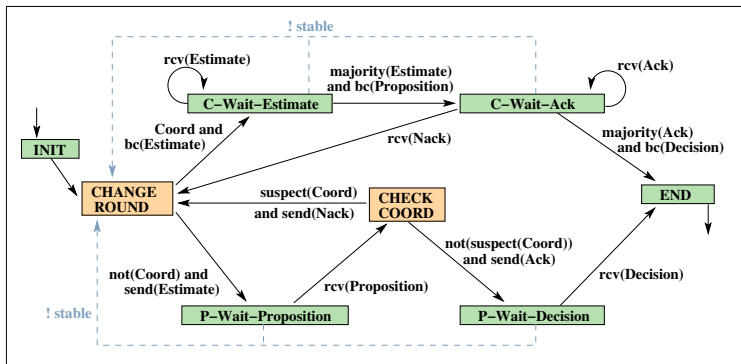
## Algorithme de consensus adapté

## Description de l'algorithme



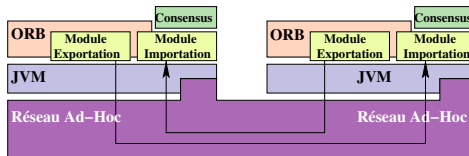
## Algorithme de consensus adapté

## Description de l'algorithme



## Implantation

### Intégration globale



### Plateforme :

Configuration matérielle des machines.

	PDA	Laptop
Architecture	0.2 GHz / 32 MB	1.0 GHz / 256 MB
OS	Linux Familiar (kernel 2.4)	Linux Debian (kernel 2.4)
JVM	Jeode EVM Version 1.10.2	Sun Java JRE 1.4.2.01-b06
Wireless Card	Compaq Orinoco 802.11b	

## Implémentation des détecteurs de défaillances

### Besoin d'informations sur les sites distants

- Exposer les données locales
- Analyser les données en provenance des sites distants

### Exportation d'informations

- Diffusion d'informations à la demande, par anticipation
  - Mécanisme de "heartbeat"

### Importation d'informations

- Collecte d'informations
- Estimation de l'état des sites distants

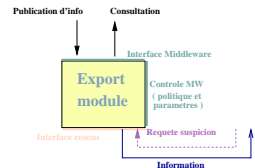
## Implémentation des détecteurs de défaillances

### Besoin d'informations sur les sites distants

- Exposer les données locales
- Analyser les données en provenance des sites distants

### Exportation d'informations

- Diffusion d'informations à la demande, par anticipation
  - Mécanisme de "heartbeat"



### Importation d'informations

- Collecte d'informations
- Estimation de l'état des sites distants



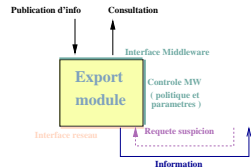
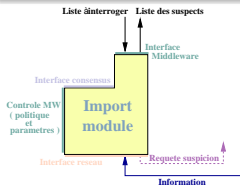
## Implémentation des détecteurs de défaillances

### Besoin d'informations sur les sites distants

- Exposer les données locales
- Analyser les données en provenance des sites distants

### Exportation d'informations

- Diffusion d'informations à la demande, par anticipation
  - Mécanisme de "heartbeat"



### Importation d'informations

- Collecte d'informations
- Estimation de l'état des sites distants

## Bilan

### Réalisations :

- Choix de l'algorithme consensus basé sur les détecteurs de défaillances
- Adaptation à l'instabilité environnementale
- Intégration Middleware

### Qualité du module de consensus

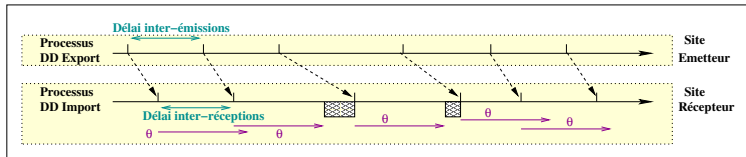
- Durée d'exécution du consensus
- Fonction de la qualité de service des détecteurs de défaillances
  - Capacité à estimer correctement l'état global
    - Fonction de la qualité de l'architecture sous-jacente

# Détecteurs de défaillances et qualité de service

## Paramétrage des détecteurs de défaillances

### Principe de fonctionnement :

Mécanisme implémenté : "heartbeat".



### Paramétrage

- Délais d'émissions des pulsations.
- Fonctions d'estimation de suspicions (temporisations).

[Bertier-Marin-Sens 03]

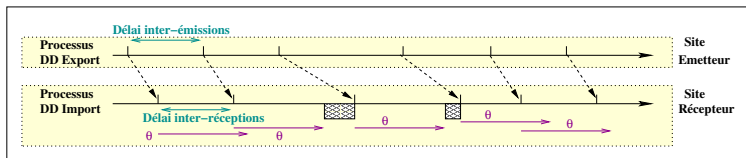
### Objectif

Estimer les valeurs de temporisations en fonction de la qualité de escomptée.

## Paramétrage des détecteurs de défaillances

### Principe de fonctionnement :

Mécanisme implémenté : "heartbeat".



### Paramétrage

- Délais d'émissions des pulsations.
- Fonctions d'estimation de suspicions (temporisations).

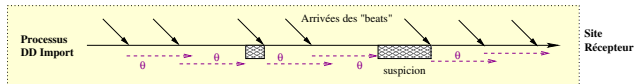
[Bertier-Marin-Sens 03]

### Objectif

Estimer les valeurs de temporisations en fonction de la qualité de escomptée.

## Modélisation des lois d'inter-arrivées des pulsations

**Hypothèses** : Arrivées des pulsations au niveau détecteur de défaillances.



Exemples : Distribution d'Erlang(2)

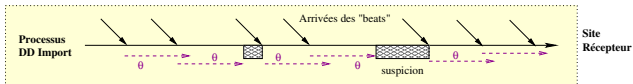
- Temporisation :  $\theta$
- Fréquence de réception des pulsations :  $\lambda$

• Taux de suspicion à tort :

$$\Phi(\theta) = e^{-2\lambda\theta} (1 + \theta)$$

## Modélisation des lois d'inter-arrivées des pulsations

**Hypothèses** : Arrivées des pulsations au niveau détecteur de défaillances.

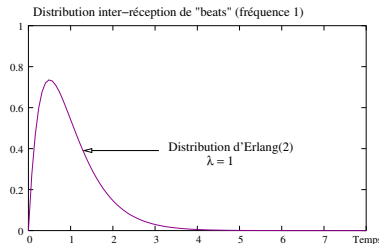


## Exemples : Distribution d'Erlang(2)

- Temporisation :  $\theta$
- Fréquence de réception des pulsations :  $\lambda$

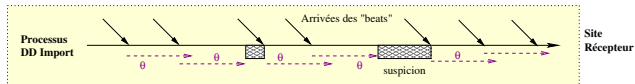
- Taux de suspicion à tort :

$$\Phi(\theta) = e^{-2\lambda\theta}(1 + \theta)$$



## Modélisation des lois d'inter-arrivées des pulsations

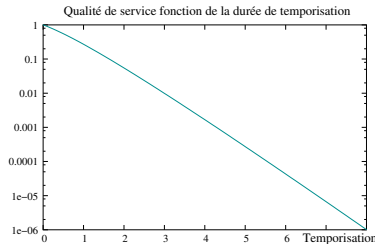
**Hypothèses** : Arrivées des pulsations au niveau détecteur de défaillances.



## Exemples : Distribution d'Erlang(2)

- Temporisation :  $\theta$
- Fréquence de réception des pulsations :  $\lambda$
- Taux de suspicion à tort :

$$\Phi(\theta) = e^{-2\lambda\theta}(1 + \theta)$$

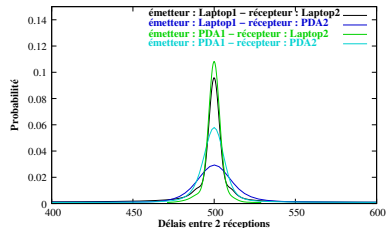




## Modélisation

### Observations expérimentales

Étude du délai de mise à jour de l'information des détecteurs de défaillances.



### Limitations du modèle

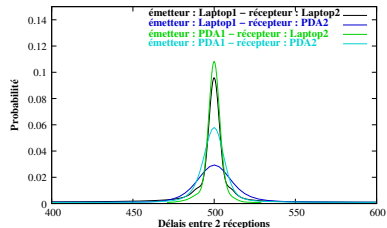
- Indépendance des inter-arrivées de pulsations

⇒ Corrélation temporelle des inter-arrivées

## Modélisation

### Observations expérimentales

Étude du délai de mise à jour de l'information des détecteurs de défaillances.



### Limitations du modèle

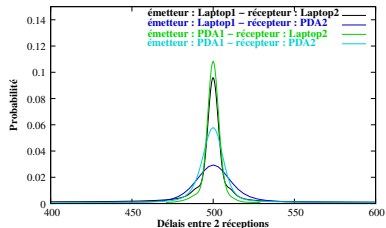
- Indépendance des inter-arrivées de pulsations

⇒ Corrélation temporelle des inter-arrivées

## Modélisation

### Observations expérimentales

Étude du délai de mise à jour de l'information des détecteurs de défaillances.



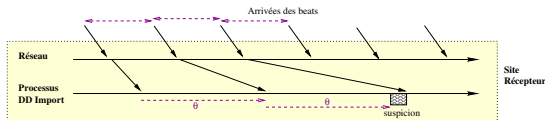
### Limitations du modèle

- Indépendance des inter-arrivées de pulsations

⇒ Corrélation temporelle des inter-arrivées

## Second modèle

**Hypothèse :** Contention à l'arrivée des pulsations.



Temporisation statique ( $\theta$ )

Modélisation par file d'attente

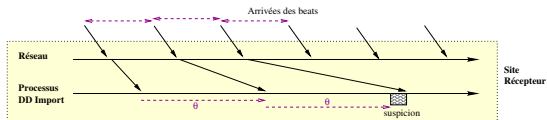
- Taux de suspicion à tort : (cas file d'attente D/M/1)

$$\Phi(\theta) = \frac{1}{A} \frac{1}{(2-\beta)\mu} e^{-\mu\theta} (e^{-\mu(1-\beta)A} + (1-\beta)e^{\mu A}) \quad \theta \geq A$$

- Temps moyen de remontée de la pile ( $\frac{1}{\mu}$ )
- Période entre deux pulsations ( $A$ )
- Probabilité que la pulsation précédente ait été traité à l'arrivée d'une pulsation ( $\beta$ )

## Second modèle

**Hypothèse :** Contention à l'arrivée des pulsations.



Temporisation statique ( $\theta$ )

Modélisation par file d'attente

- Taux de suspicion à tort : (cas file d'attente D/M/1)

$$\Phi(\theta) = \frac{1}{A} \frac{1}{(2-\beta)\mu} e^{-\mu\theta} (e^{-\mu(1-\beta)A} + (1-\beta)e^{\mu A}) \quad \theta \geq A$$

- Temps moyen de remontée de la pile ( $\frac{1}{\mu}$ )
- Période entre deux pulsations ( $A$ )
- Probabilité que la pulsation précédente ait été traité à l'arrivée d'une pulsation ( $\beta$ )

## Bilan

### Calibrage du paramétrage

- Réglage des temporisations en fonction de la qualité de service escomptée.

### Modélisation

- Fonction des lois d'inter-arrivées des "beats"
- Tient compte du type d'entité réceptrice
- Adaptable à diverses configurations environnementales

### Estimation des lois d'inter-arrivées des "beats"

Nécessite la prise en compte des particularités du réseau d'interconnexion.

→ Changements de mode imprévus du système.

## Bilan

### Calibrage du paramétrage

- Réglage des temporisations en fonction de la qualité de service escomptée.

### Modélisation

- Fonction des lois d'inter-arrivées des "beats"
- Tient compte du type d'entité réceptrice
- Adaptable à diverses configurations environnementales

### Estimation des lois d'inter-arrivées des "beats"

Nécessite la prise en compte des particularités du réseau d'interconnexion.

→ Changements de mode imprévus du système.

## Bilan

### Calibrage du paramétrage

- Réglage des temporisations en fonction de la qualité de service escomptée.

### Modélisation

- Fonction des lois d'inter-arrivées des "beats"
- Tient compte du type d'entité réceptrice
- Adaptable à diverses configurations environnementales

### Estimation des lois d'inter-arrivées des "beats"

Nécessite la prise en compte des particularités du réseau d'interconnexion.

→ Changements de mode imprévus du système.



# Analyse et évaluation du module de consensus

## Plateforme expérimentale

### Contexte

- réseau sous-jacent : 802.11b
- 6 entités présentes (4 PDAs, 2 portables)
- 1 entité = capteur réseau (1 PC)

### Paramétrage

- Période des heartbeats : 500 ms (fréquences : 2 pulsations / s)
- Temporisation : 1500 ms
- "Consensus Polling" : 2000 ms (interrogation DD + retransmission)

### Expériences

- 1000 consensus successifs

→ Observation de l'exécution de l'algorithme de consensus

## Plateforme expérimentale

### Contexte

- réseau sous-jacent : 802.11b
- 6 entités présentes (4 PDAs, 2 portables)
- 1 entité = capteur réseau (1 PC)

### Paramétrage

- Période des heartbeats : 500 ms (fréquences : 2 pulsations / s)
- Temporisation : 1500 ms
- "Consensus Polling" : 2000 ms (interrogation DD + retransmission)

### Expériences

- 1000 consensus réussis

→ Observation de l'exécution de l'algorithme de consensus

## Plateforme expérimentale

### Contexte

- réseau sous-jacent : 802.11b
- 6 entités présentes (4 PDAs, 2 portables)
- 1 entité = capteur réseau (1 PC)

### Paramétrage

- Période des heartbeats : 500 ms (fréquences : 2 pulsations / s)
- Temporisation : 1500 ms
- "Consensus Polling" : 2000 ms (interrogation DD + retransmission)

### Expériences

- 1000 consensus réussis

→ Observation de l'exécution de l'algorithme de consensus

## Plateforme expérimentale

### Contexte

- réseau sous-jacent : 802.11b
- 6 entités présentes (4 PDAs, 2 portables)
- 1 entité = capteur réseau (1 PC)

### Paramétrage

- Période des heartbeats : 500 ms (fréquences : 2 pulsations / s)
- Temporisation : 1500 ms
- "Consensus Polling" : 2000 ms (interrogation DD + retransmission)

### Expériences

- 1000 consensus réussis

→ Observation de l'exécution de l'algorithme de consensus

## Prise de mesure et Datation

### Phase d'instrumentation

- Enregistrements des événements estampillés à la date locale
- Datation globale ?

### Extrapolation d'une horloge globale (post-traitement des traces)

- Relation d'ordre causal :  $e_i \prec e_j$ 
  - $e_i$  avant  $e_j$  la même entité
  - $e_i$  = émission et  $e_j$  = réception d'un même message
  - $\exists k$  tel que  $e_i \prec e_k$  et  $e_k \prec e_j$
- Approximation dans un référentiel commun :  $d_{ref}^{e_i} = \alpha d_{loc}^{e_i} + \beta$

### Interprétation

- Représentation graphique (Pajé)
- Analyse statistique

## Prise de mesure et Datation

### Phase d'instrumentation

- Enregistrements des événements estampillés à la date locale
- Datation globale ?

### Extrapolation d'une horloge globale (post-traitement des traces)

- Relation d'ordre causal :  $e_i \prec e_j$ 
  - $e_i$  avant  $e_j$  la même entité
  - $e_i$  = émission et  $e_j$  = réception d'un même message
  - $\exists k$  tel que  $e_i \prec e_k$  et  $e_k \prec e_j$
- Approximation dans un référentiel commun :  $d_{ref}^{e_i} = \alpha d_{loc}^{e_i} + \beta$

### Interprétation

- Représentation graphique (Pajé)
- Analyse statistique

## Prise de mesure et Datation

### Phase d'instrumentation

- Enregistrements des événements estampillés à la date locale
- Datation globale ?

### Extrapolation d'une horloge globale (post-traitement des traces)

- Relation d'ordre causal :  $e_i \prec e_j$   
 $e_i$  avant  $e_j$  la même entité  
 $e_i =$  émission et  $e_j =$  réception d'un même message  
 $\exists k$  tel que  $e_i \prec e_k$  et  $e_k \prec e_j$
- Approximation dans un référentiel commun :  $d_{ref}^{e_i} = \alpha d_{loc}^{e_i} + \beta$

### Interprétation

- Représentation graphique (Pajé)
- Analyse statistique



## Prise de mesure et Datation

### Phase d'instrumentation

- Enregistrements des événements estampillés à la date locale
- Datation globale ?

### Extrapolation d'une horloge globale (post-traitement des traces)

- Relation d'ordre causal :  $e_i \prec e_j$   
 $e_i$  avant  $e_j$  la même entité  
 $e_i$  = émission et  $e_j$  = réception d'un même message  
 $\exists k$  tel que  $e_i \prec e_k$  et  $e_k \prec e_j$
- Approximation dans un référentiel commun :  $d_{ref}^{e_i} = \alpha d_{loc}^{e_i} + \beta$

### Interprétation

- Représentation graphique (Pajé)
- Analyse statistique

## Prise de mesure et Datation

### Phase d'instrumentation

- Enregistrements des événements estampillés à la date locale
- Datation globale ?

### Extrapolation d'une horloge globale (post-traitement des traces)

- Relation d'ordre causal :  $e_i \prec e_j$   
 $e_i$  avant  $e_j$  la même entité  
 $e_i =$  émission et  $e_j =$  réception d'un même message  
 $\exists k$  tel que  $e_i \prec e_k$  et  $e_k \prec e_j$
- Approximation dans un référentiel commun :  $d_{ref}^{e_i} = \alpha d_{loc}^{e_i} + \beta$

### Interprétation

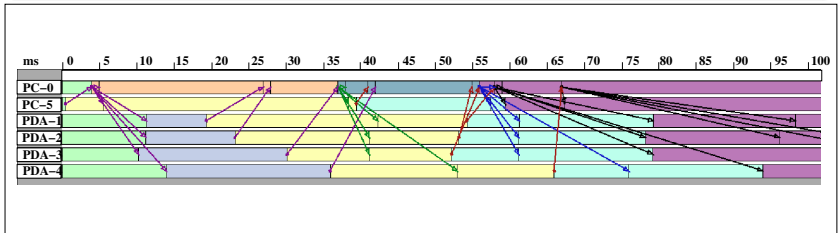
- Représentation graphique (Pajé)
- Analyse statistique

## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

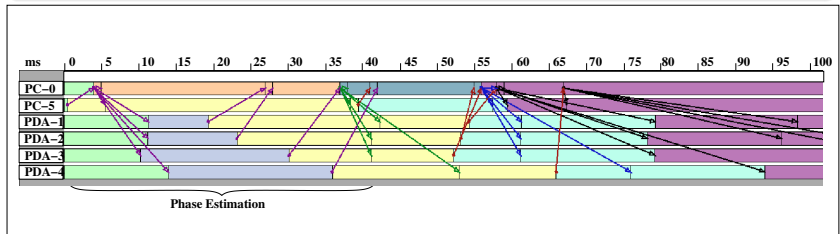
Retard de l'Ack de PDA-4  $\Rightarrow$  message Forward

## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

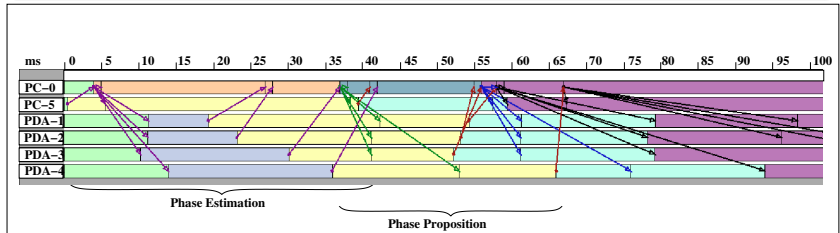
Retard de l'Ack de PDA-4  $\Rightarrow$  message Forward

## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

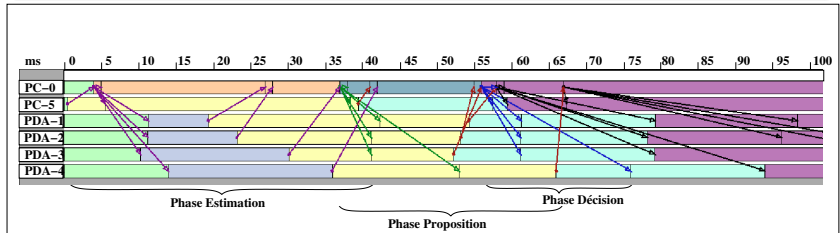
Retard de l'Ack de PDA-4  $\Rightarrow$  message Forward

## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

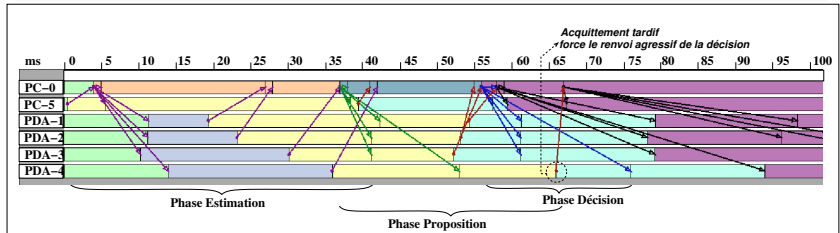
Retard de l'Ack de PDA-4  $\Rightarrow$  message Forward

## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

Retard de l'Ack de PDA-4  $\Rightarrow$  message Forward

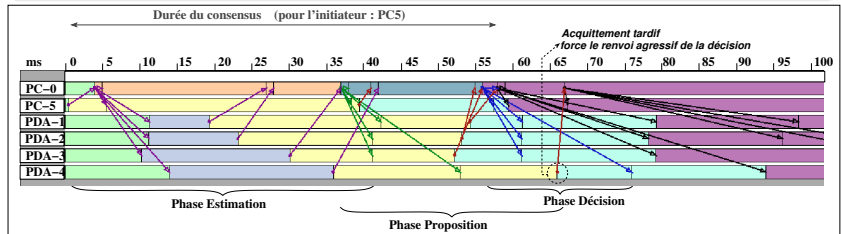
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

Retard de l'Ack de PDA-4 ⇒ message Forward





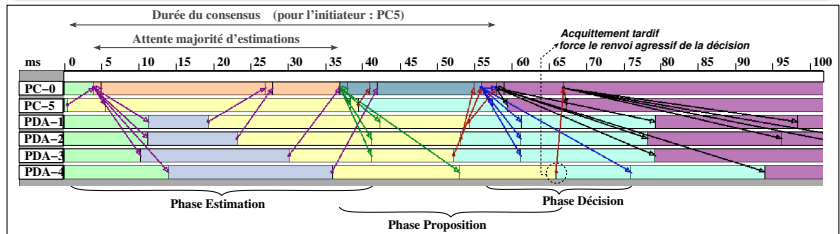
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

Retard de l'Ack de PDA-4 ⇒ message Forward



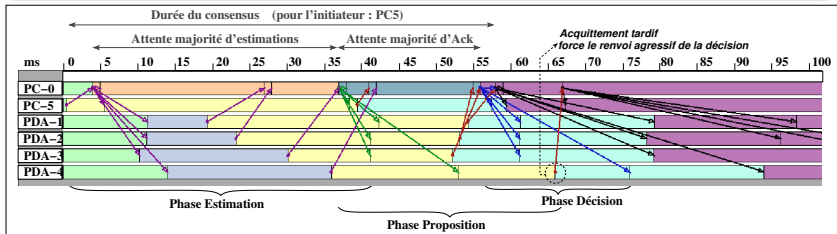
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus ne donnant lieu à aucune suspicion

Initialisation : PC-5

1 seul round : coordinateur PC-0

Retard de l'Ack de PDA-4 ⇒ message Forward



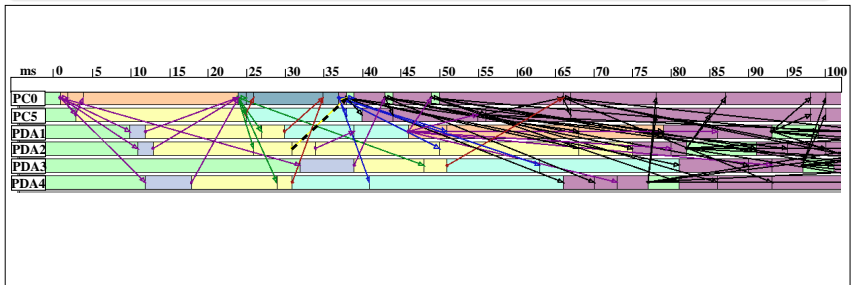
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus illustrant une fausse suspicion

Décision au round 1

Message Nack émis par PDA-2 parvient au coordinateur après décision

PDA-1 coordinateur du round 2



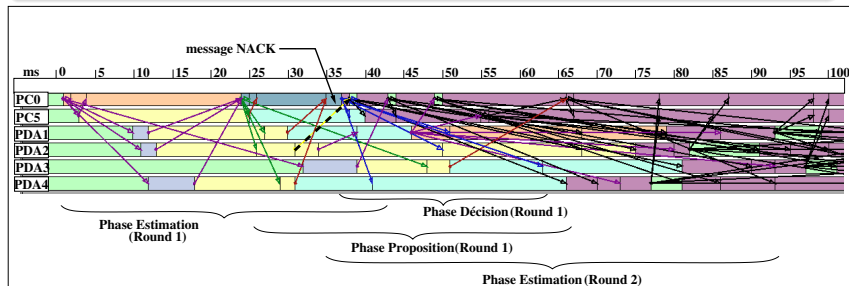
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus illustrant une fausse suspicion

Décision au round 1

Message Nack émis par PDA-2 parvient au coordinateur après décision

PDA-1 coordinateur du round 2



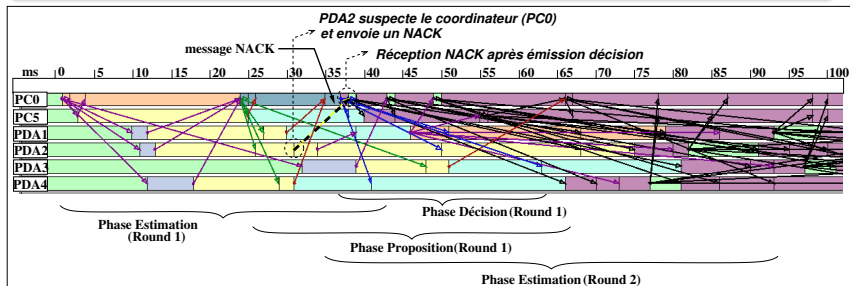
## Traces d'exécution

## Diagramme post-mortem d'un consensus illustrant une fausse suspicion

Décision au round 1

Message Nack émis pas PDA-2 parvient au coordinateur après décision

PDA-1 coordinateur du round 2



## Évaluations de performances

QoS au niveau système (utilisation des ressources)

QoS au niveau applicatif (latences)

## Évaluations de performances

### QoS au niveau système (utilisation des ressources)

- Nombre moyen de messages par entité
- Nombre moyen de messages émis suivant leur type

<i>ExpI</i>	Broadcast	Unicast	Total
<b>PC-0</b>	6.4	0	6.4
<b>PDA-1</b>	0	2	2
<b>PDA-2</b>	0	2	2
<b>PDA-3</b>	0	2	2
<b>PDA-4</b>	0	2	2
<b>PC-5</b>	0	2	2
Total	6.4	10	16.4

### QoS au niveau applicatif (latences)

## Évaluations de performances

### QoS au niveau système (utilisation des ressources)

- Nombre moyen de messages par entité
- Nombre moyen de messages émis suivant leur type

### QoS au niveau applicatif (latences)

- Distribution des différentes durées d'un consensus (ms)

<i>Exp 1</i>	<b>initiateur</b>	<b>tous</b>
$\bar{x}$	71	224
min	25	37
max	2063	2070
$\sigma$	190	231
$Q_1$	39	136
$Q_2$	45	199
$Q_3$	52	254



## Évaluations de performances

### QoS au niveau système (utilisation des ressources)

- Nombre moyen de messages par entité
- Nombre moyen de messages émis suivant leur type

### QoS au niveau applicatif (latences)

- Distribution des différentes durées d'un consensus (ms)
- Distribution du temps d'attente d'une majorité de réponses pour le coordinateur (ms)

<i>Exp 1</i>	Estimations	Acquittements
$\bar{x}$	37	26
min	1	7
max	2021	161
$\sigma$	143	20
$Q_1$	18	17
$Q_2$	21	21
$Q_3$	27	26

## Bilan

### Validation expérimentale du module de consensus

- Génération de traces d'exécution
- Analyse comportementale
- Évaluations temporelles

### Optimisations

- Module de consensus
  - Limiter les phases d'attente
  - Restreindre la diffusion de la décision
- Lien avec la qualité des détecteurs de défaillances

# Conclusions et Perspectives

## Conclusions

### Méthodologie d'analyse comportementale

- Caractérisation des éléments perturbateurs
- Analyse qualitative et quantitative

### Méthodes d'adaptation d'algorithmes

- Analyse des algorithmes existants
- Définition des propriétés attendues
- Modélisation (Détermination d'un paramétrage adéquat)

### Environnement d'expérimentation

- Validation expérimentale des algorithmes
- Evaluations de performances

## Conclusions

### Méthodologie d'analyse comportementale

- Caractérisation des éléments perturbateurs
- Analyse qualitative et quantitative

### Méthodes d'adaptation d'algorithmes

- Analyse des algorithmes existants
- Définition des propriétés attendues
- Modélisation (Détermination d'un paramétrage adéquat)

### Environnement d'expérimentation

- Validation expérimentale des algorithmes
- Evaluations de performances

## Conclusions

### Méthodologie d'analyse comportementale

- Caractérisation des éléments perturbateurs
- Analyse qualitative et quantitative

### Méthodes d'adaptation d'algorithmes

- Analyse des algorithmes existants
- Définition des propriétés attendues
- Modélisation (Détermination d'un paramétrage adéquat)

### Environnement d'expérimentation

- Validation expérimentale des algorithmes
- Evaluations de performances

## Perspectives

### Analyse environnementale

- Étude complémentaire
  - Approfondissement de l'analyse factorielle
  - Enrichissement de l'étude comportementale
- Adaptation de la méthodologie
  - Autres environnements (réseaux Bluetooth, réseaux de capteurs, ...)

### Algorithmique répartie

- Optimisation des détecteurs de défaillances
- Estimation multi-niveaux de l'état global
- Étude d'autres approches algorithmiques

### Mise en œuvre

- Mobilité (nomadisme)
- Mécanismes de routage
- Étude du passage à l'échelle

## Perspectives

### Analyse environnementale

- Étude complémentaire
  - Approfondissement de l'analyse factorielle
  - Enrichissement de l'étude comportementale
- Adaptation de la méthodologie
  - Autres environnements (réseaux Bluetooth, réseaux de capteurs, ...)

### Algorithmique répartie

- Optimisation des détecteurs de défaillances
- Estimation multi-niveaux de l'état global
- Étude d'autres approches algorithmiques

### Mise en œuvre

- Mobilité (nomadisme)
- Mécanismes de routage
- Étude du passage à l'échelle



## Perspectives

### Analyse environnementale

- Étude complémentaire
  - Approfondissement de l'analyse factorielle
  - Enrichissement de l'étude comportementale
- Adaptation de la méthodologie
  - Autres environnements (réseaux Bluetooth, réseaux de capteurs, ...)

### Algorithmique répartie

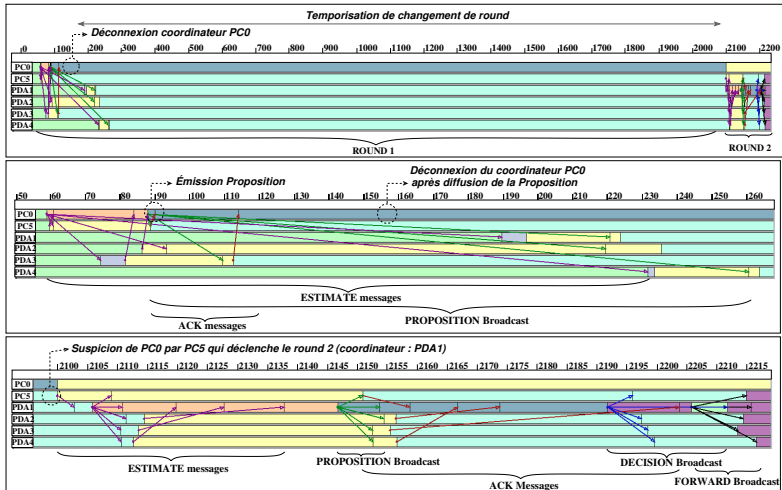
- Optimisation des détecteurs de défaillances
- Estimation multi-niveaux de l'état global
- Étude d'autres approches algorithmiques

### Mise en œuvre

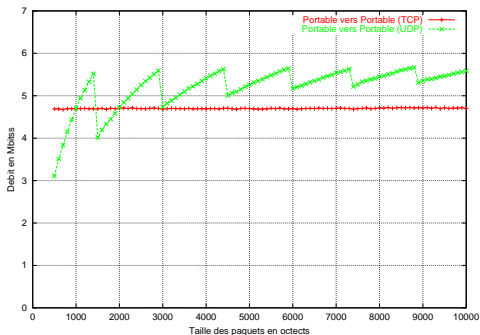
- Mobilité (nomadisme)
- Mécanismes de routage
- Étude du passage à l'échelle



## Impact d'une déconnexion

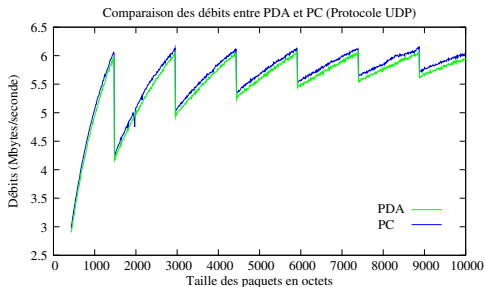


## Débits moyen pour les ordinateurs portables.



- Pour la courbe en mode UDP : des décrochages sont visibles tous les 1470 octets dûs au MTU (Maximum Transmission Unit).
- Le coût de l'utilisation de TCP est bien mis en évidence. En effet, le débit chute de 0.5 Mbits/s par rapport à UDP.

## Débits observés avec le protocole UDP pour un PDA (iPAQ) et un PC portable



- La courbe de débit pour le PDA moins régulière et parsemée de décrochages.
- plus faible robustesse de l'architecture des PDAs.
- Les différences observées entre PDA et PC portable représentent, un écart variant autour de 0.10Mb/s pour le protocole UDP et autour de 0.8Mb/sec pour le protocole TCP.