
Cours ASPD

Systèmes Répartis: Problèmes - Concepts - Techniques - Outils

Telecom Nancy 2A (Apprentissage et IL)

Dominique Méry
Telecom Nancy
Université de Lorraine

Année universitaire 2025-2026
1^{er} février 2026(9:46am)

① Problèmes des systèmes répartis

② Exemples de système réparti

Problème de l'élection d'un leader

Problème du snapshot

③ Systèmes répartis : modèles et langages

④ Algorithmes répartis

- ① Problèmes des systèmes répartis]
- ② Exemples de système réparti
 - Problème de l'élection d'un leader
 - Problème du snapshot
- ③ Systèmes répartis : modèles et langages
- ④ Algorithmes répartis

- Des états locaux versus états globaux : blocage, consistance, ...
- Calculs et communications : synchronisation, temporisation, calculs synchrones, calculs asynchrones, architectures réparties, ...
- Fiabilité des calculs et des communications : acheminement des messages, duplication des messages, pertes des messages, sécurisation des données, altération des messages, ...
- Partage de ressources : données sur la vie privée, données pour des éléments de preuve, données financières, ...
- Gestion des fautes et maintien de la qualité de service dans le cadre des réseaux
- Infrastructures hétérogènes

Scénarios des systèmes répartis

- Un ensemble de machines communiquant via un réseau de communication
- Les communications sont souvent peu fiables et perdent des messages
- Les messages peuvent arriver dans des ordres différents
- Les hypothèses sur les communication ne sont pas toujours faciles à formaliser
- Besoin de modéliser les systèmes et de gérer le temps et les temps.

- ① Problèmes des systèmes répartis]
- ② Exemples de système réparti
 - Problème de l'élection d'un leader
 - Problème du snapshot
- ③ Systèmes répartis : modèles et langages
- ④ Algorithmes répartis

① Problèmes des systèmes répartis

② Exemples de système réparti

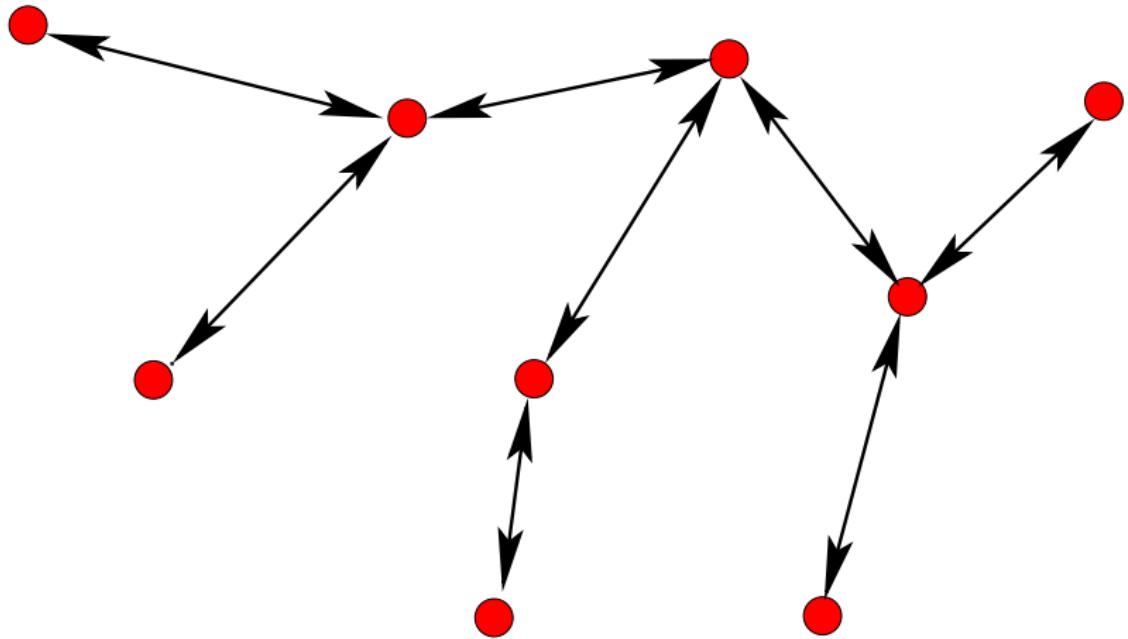
Problème de l'élection d'un leader

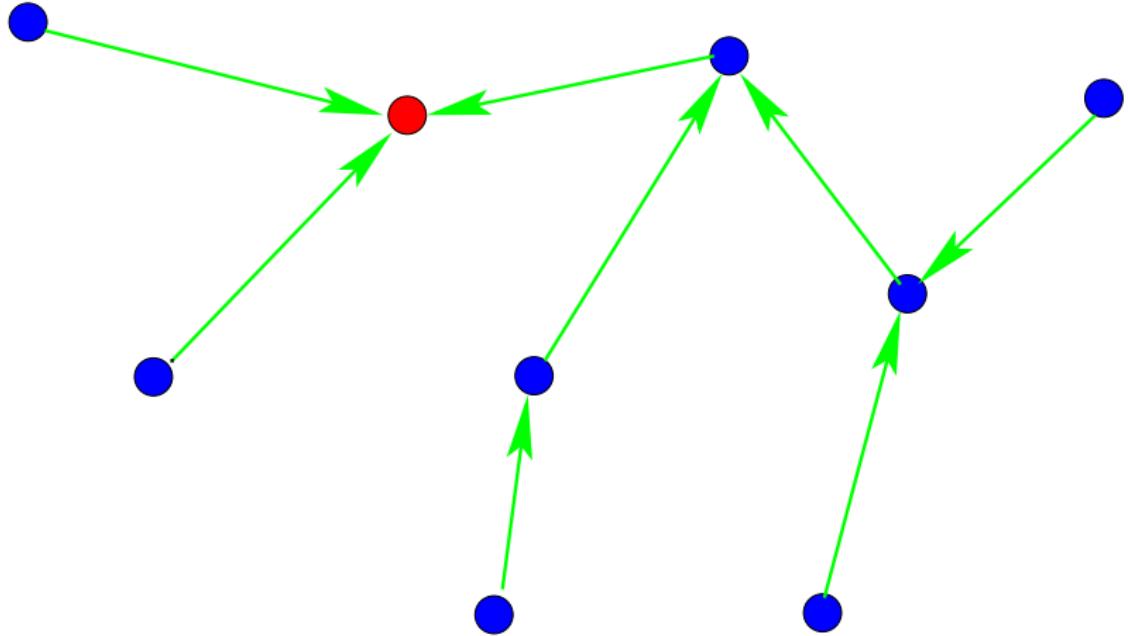
Problème du snapshot

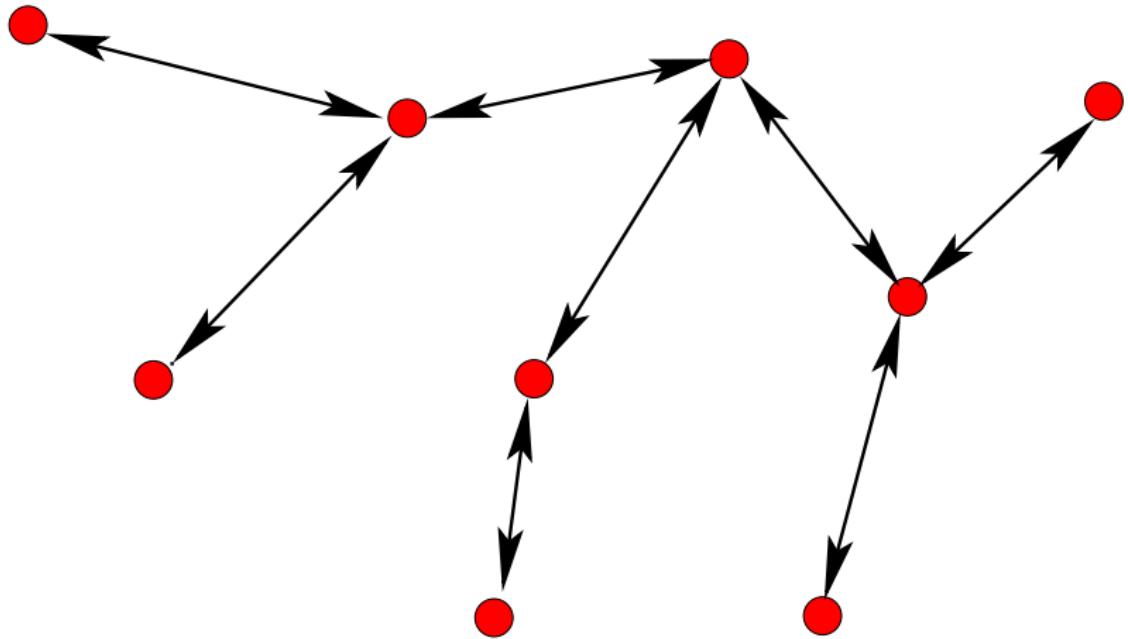
③ Systèmes répartis : modèles et langages

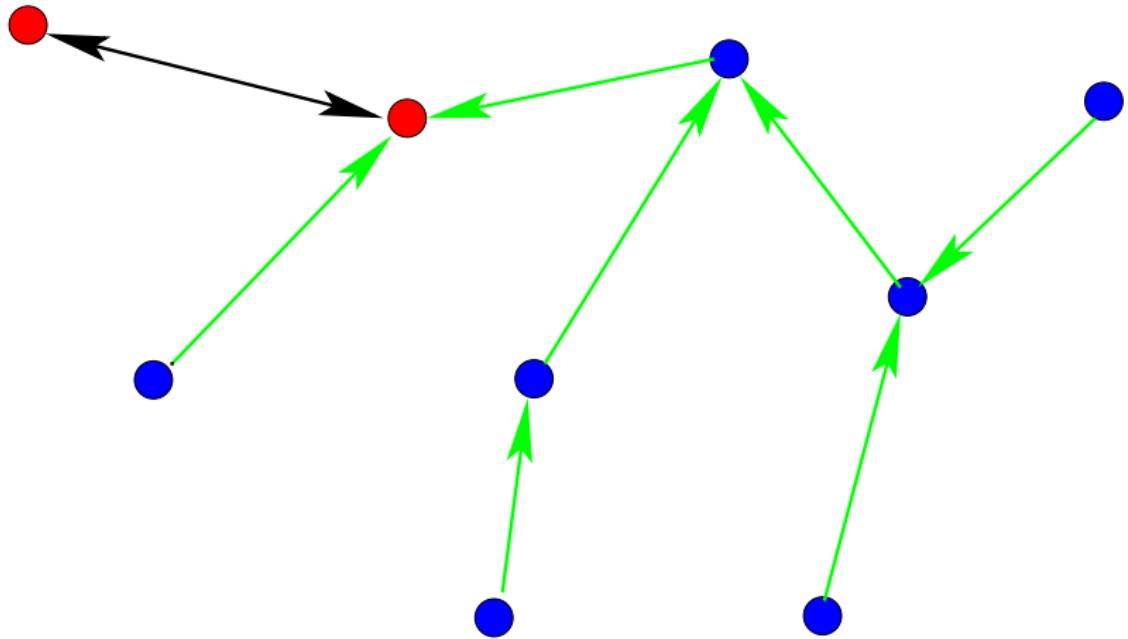
④ Algorithmes répartis

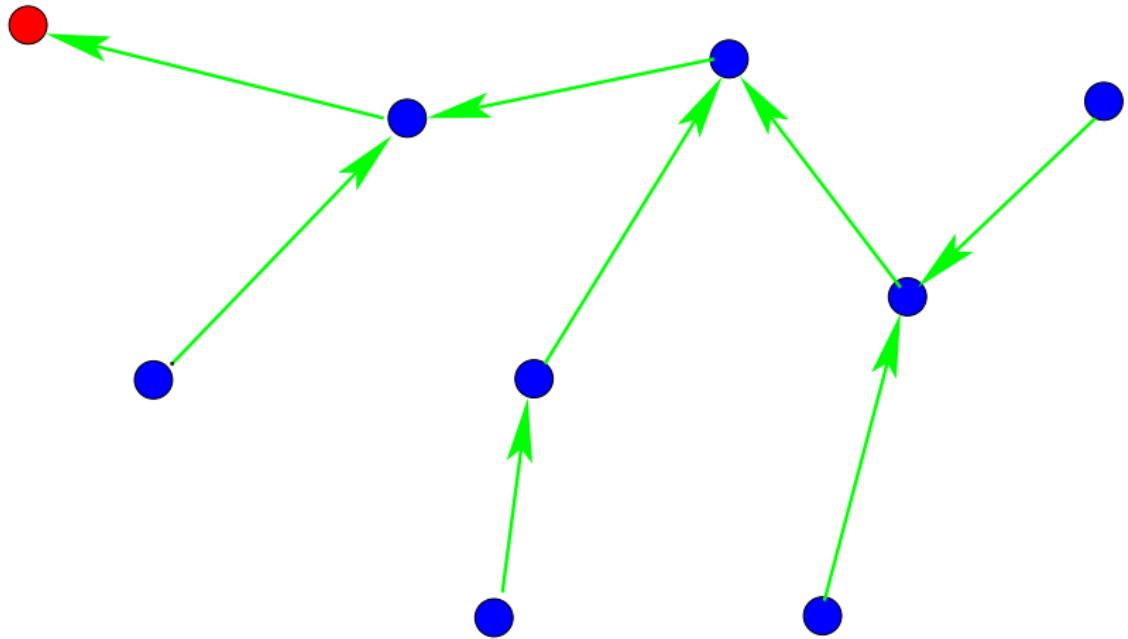
- Les nœuds connaissent uniquement leurs voisins
- La question est d'assurer que chaque nœud sait qu'il est ou non le leader et que ce leader est unique

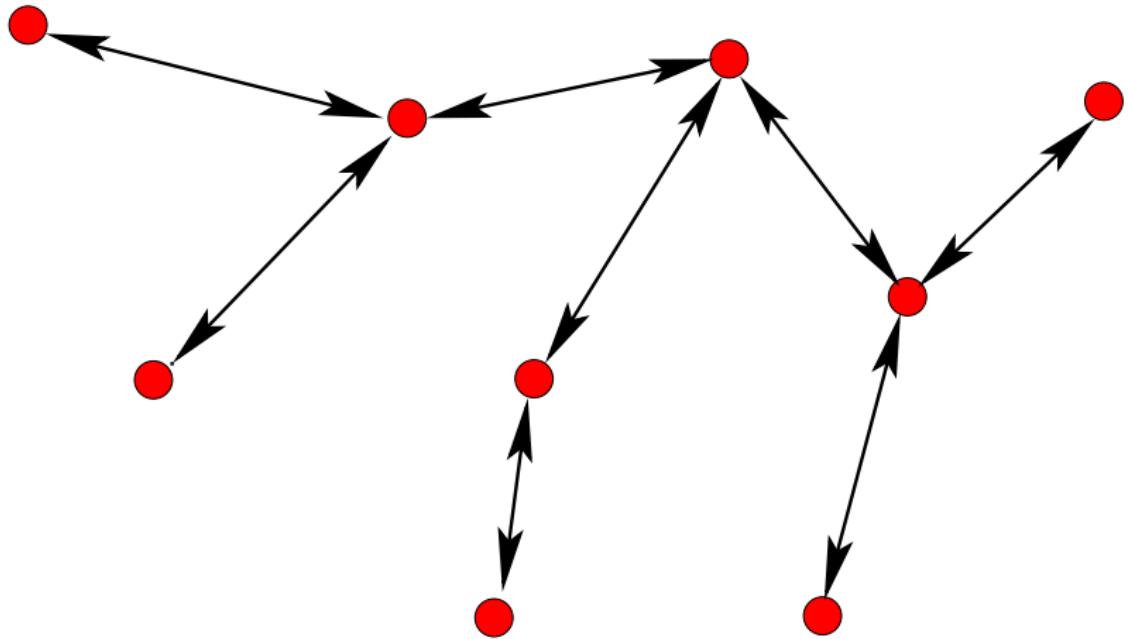


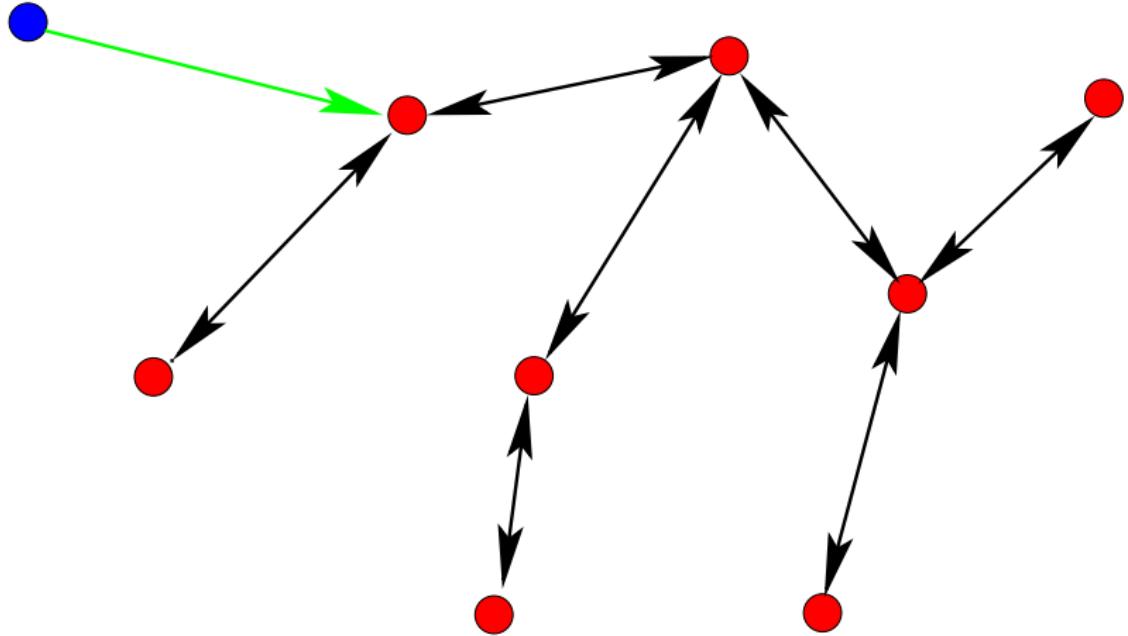


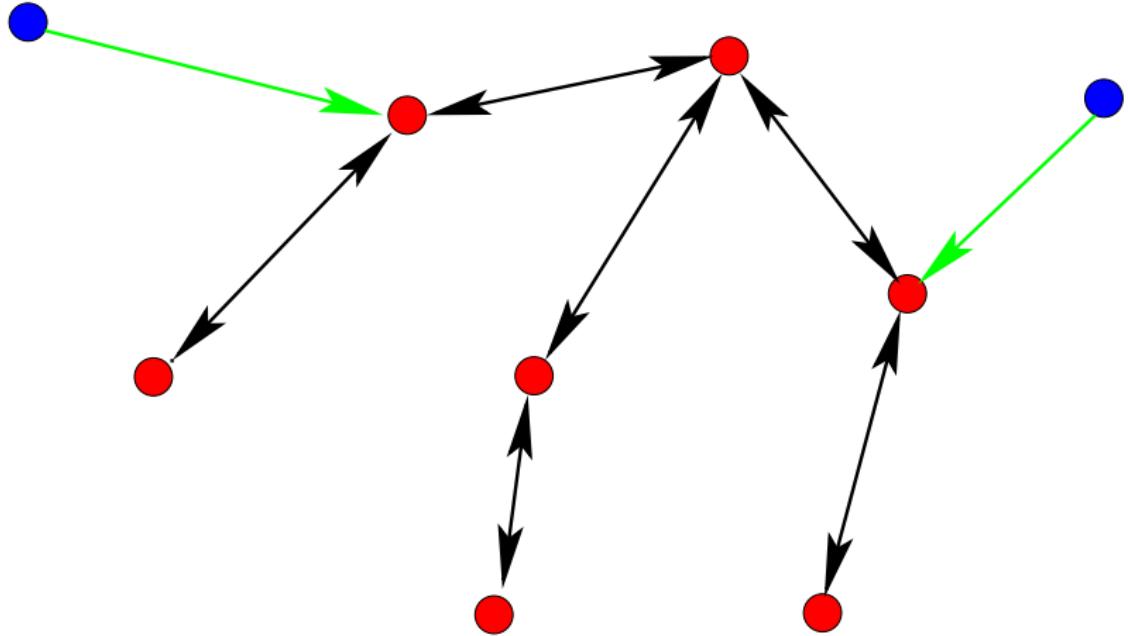


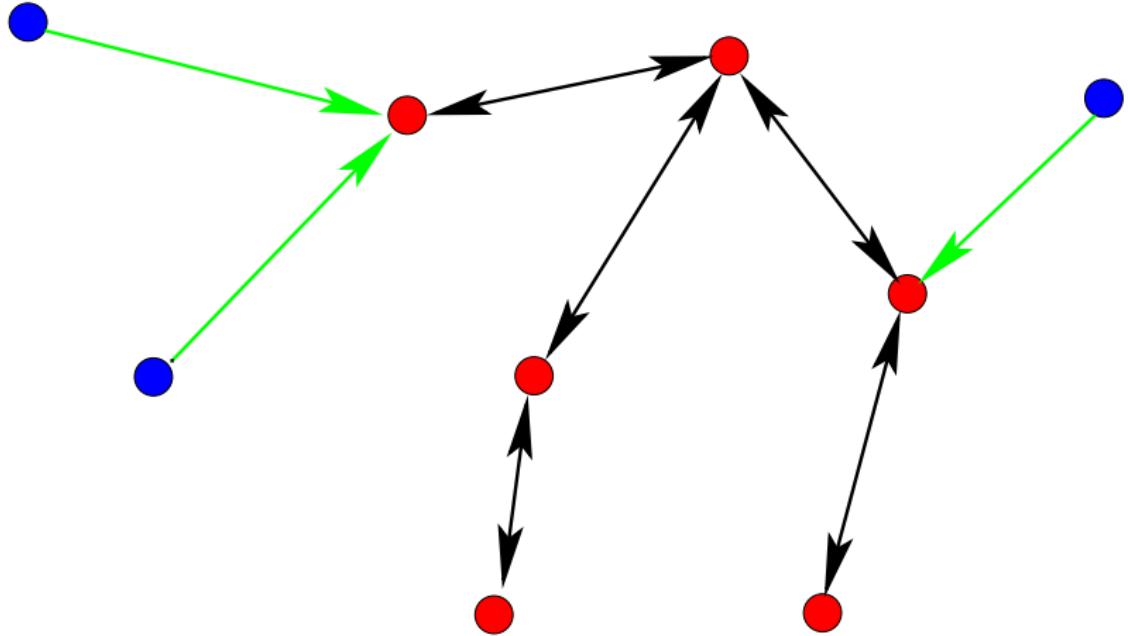


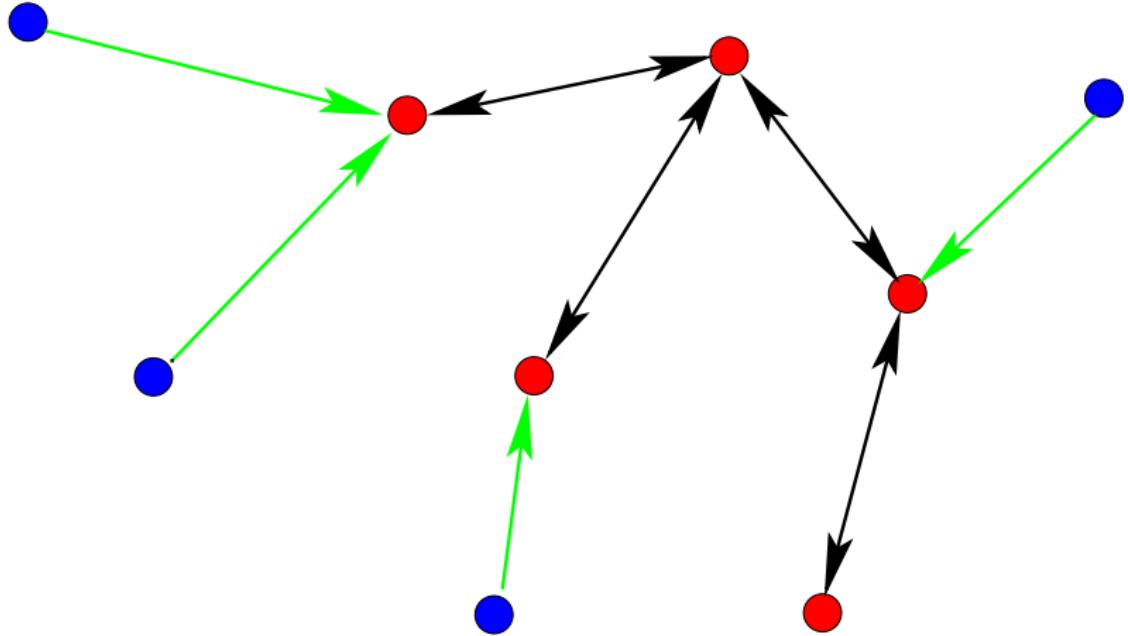


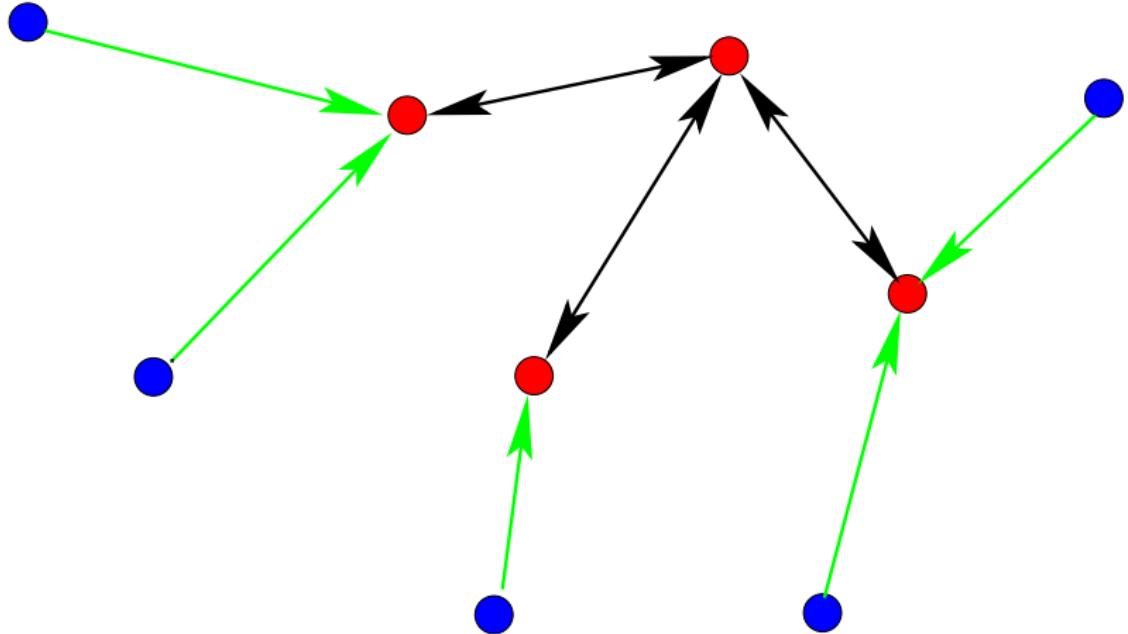


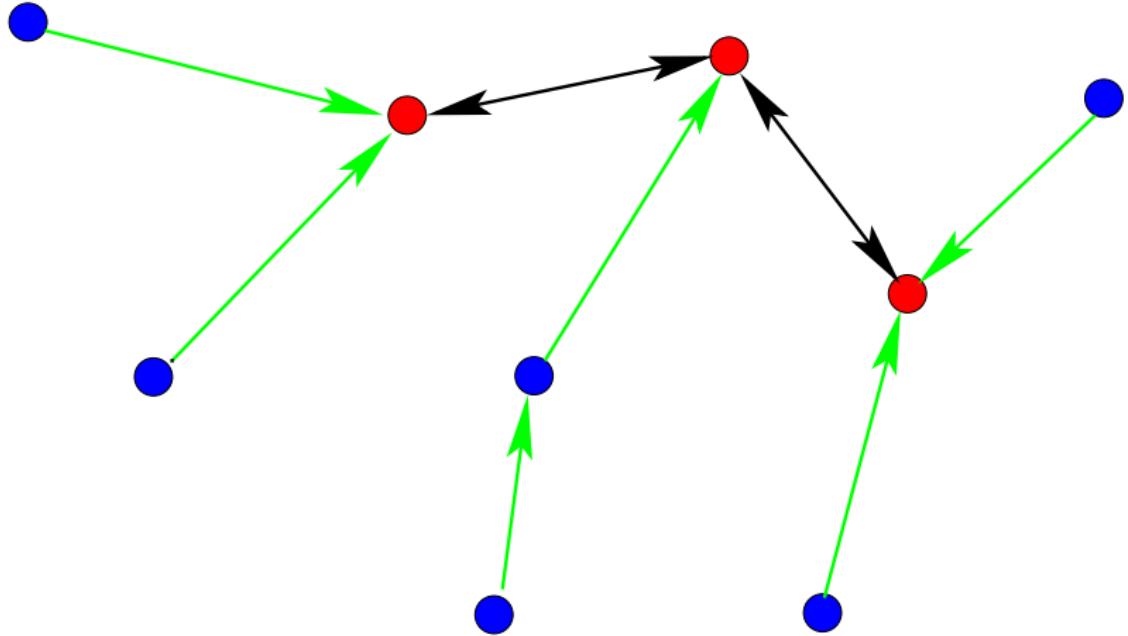


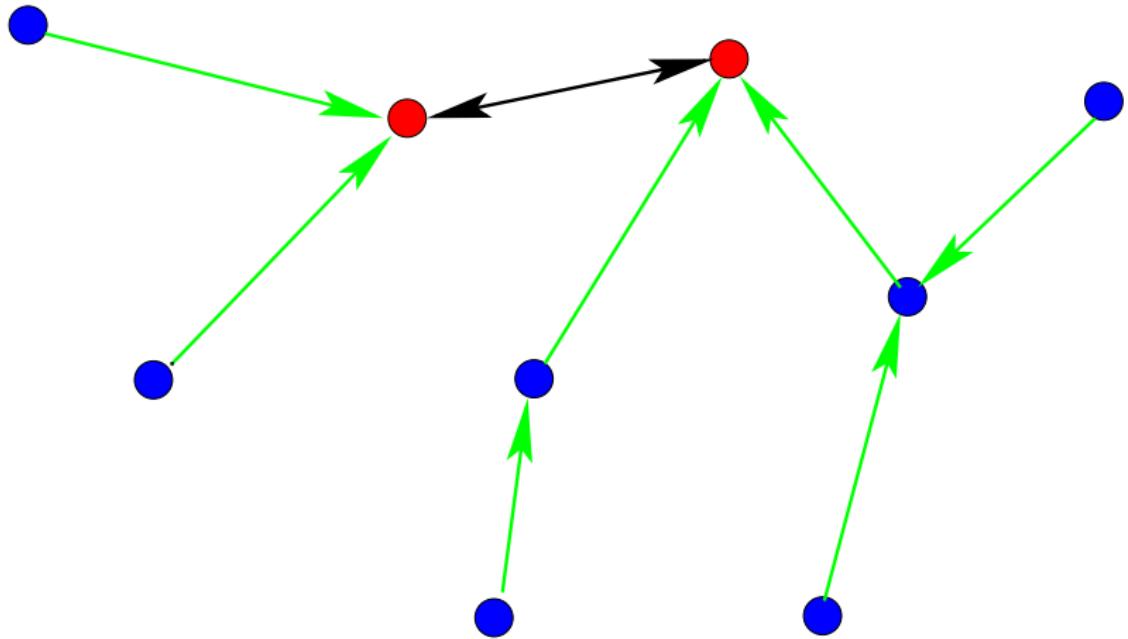


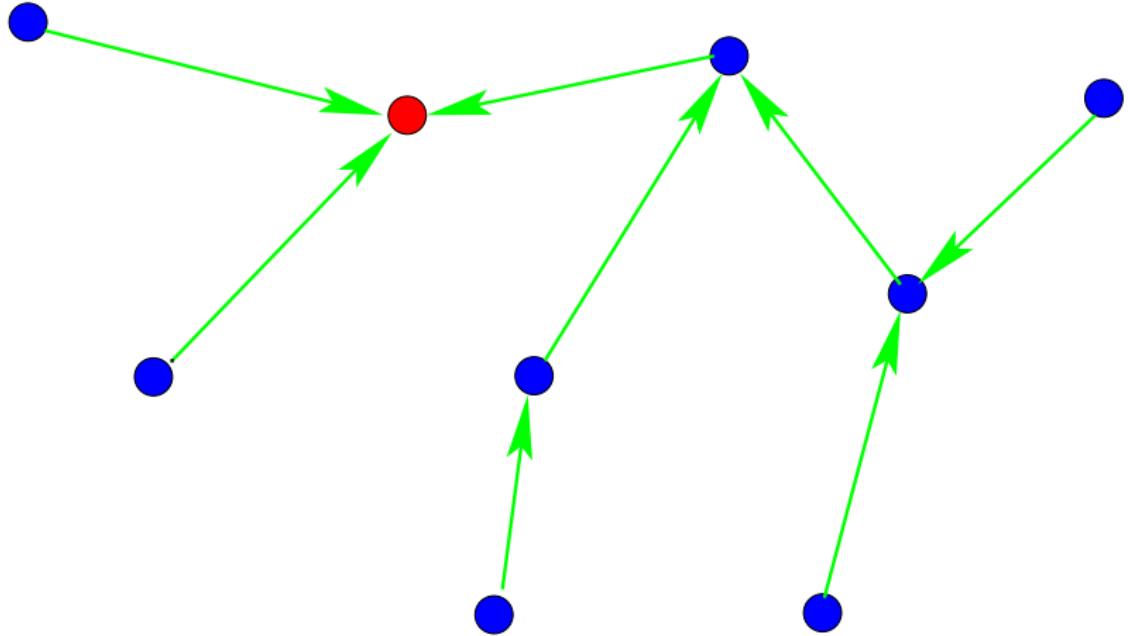


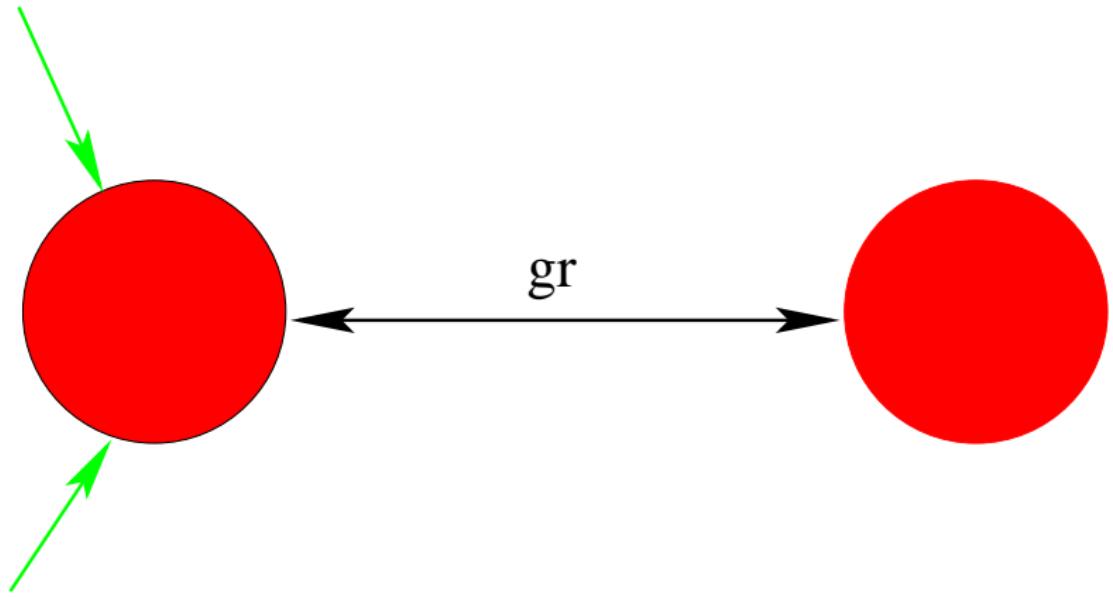


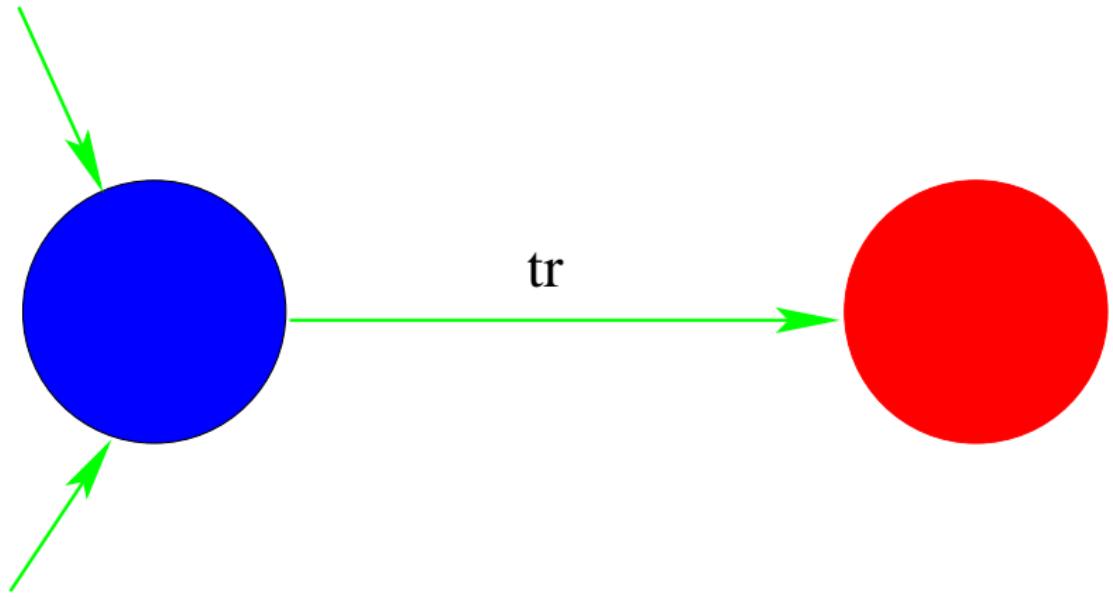


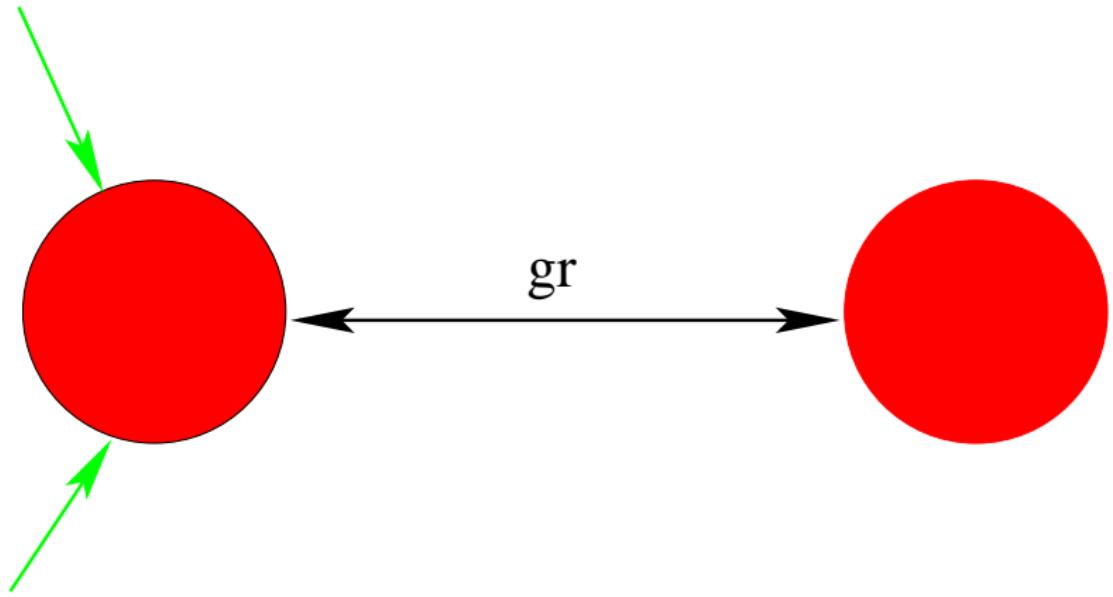




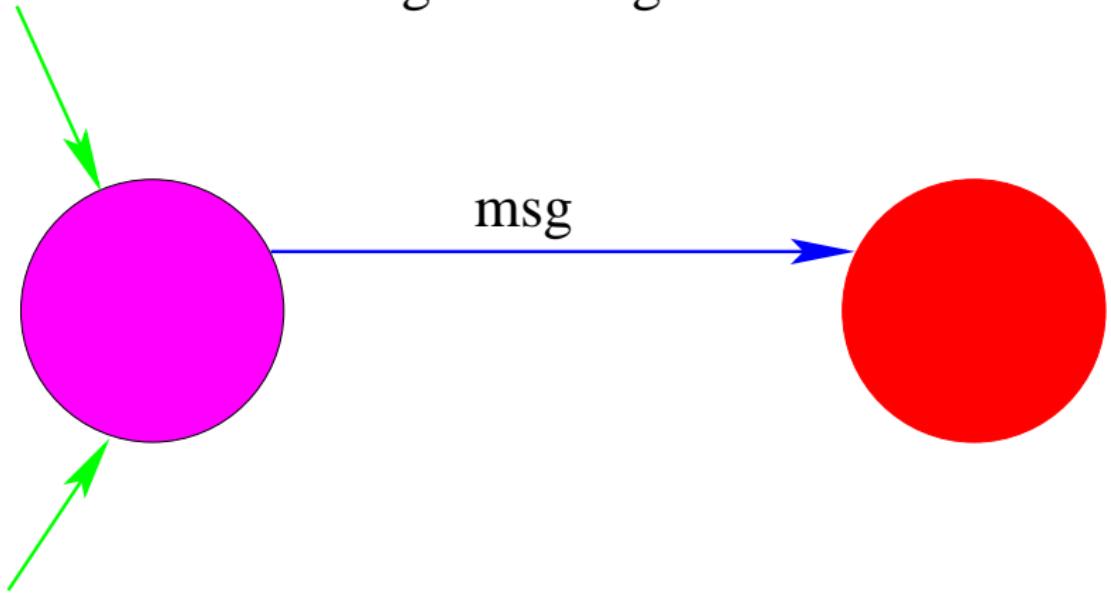






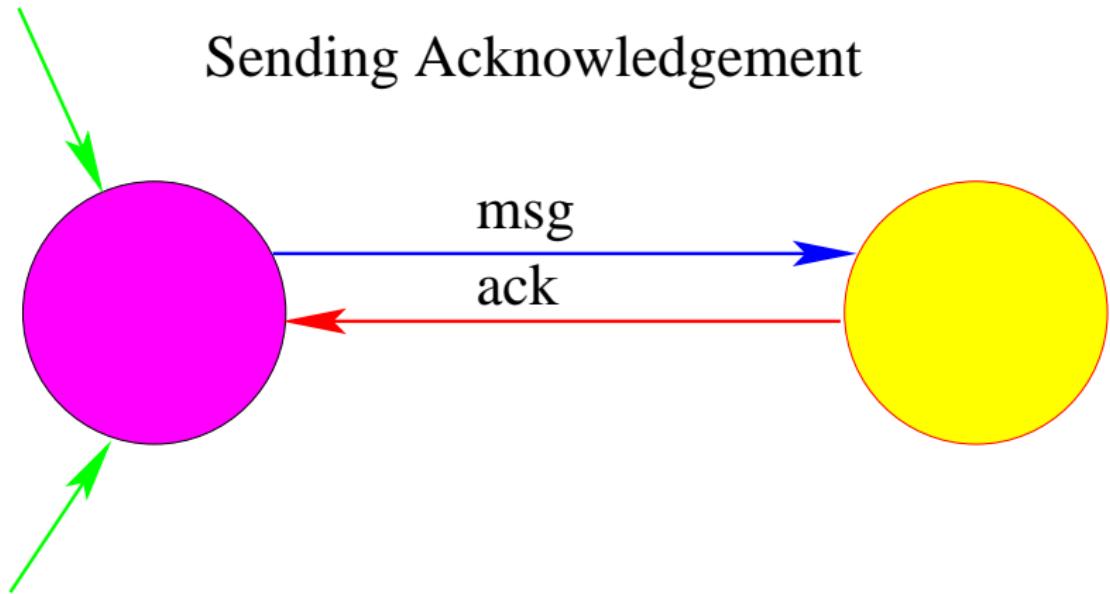


Sending a message



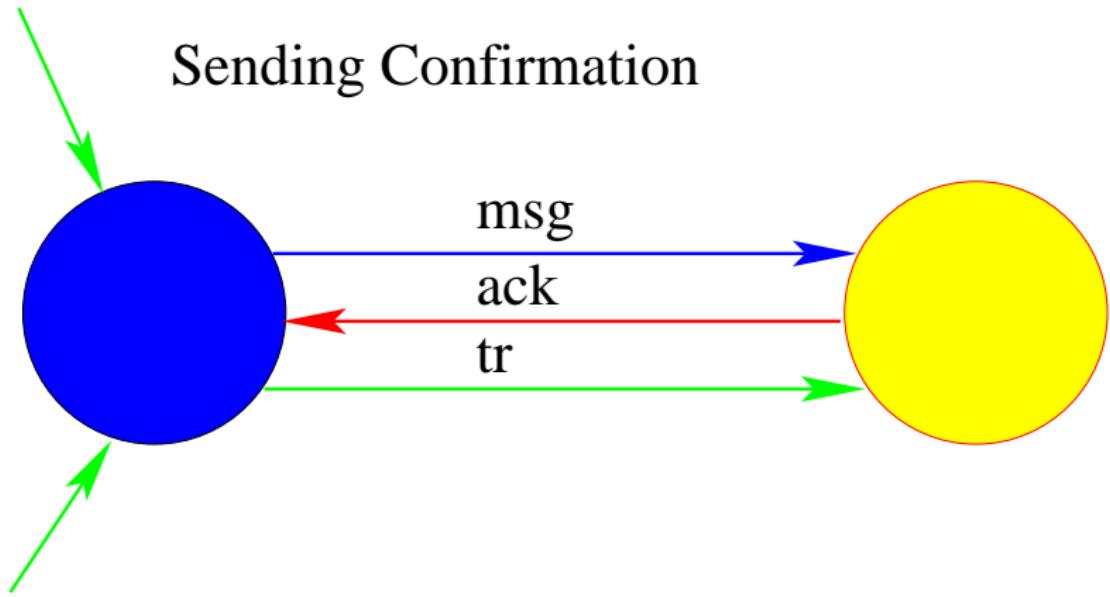
Receiving a message

Sending Acknowledgement

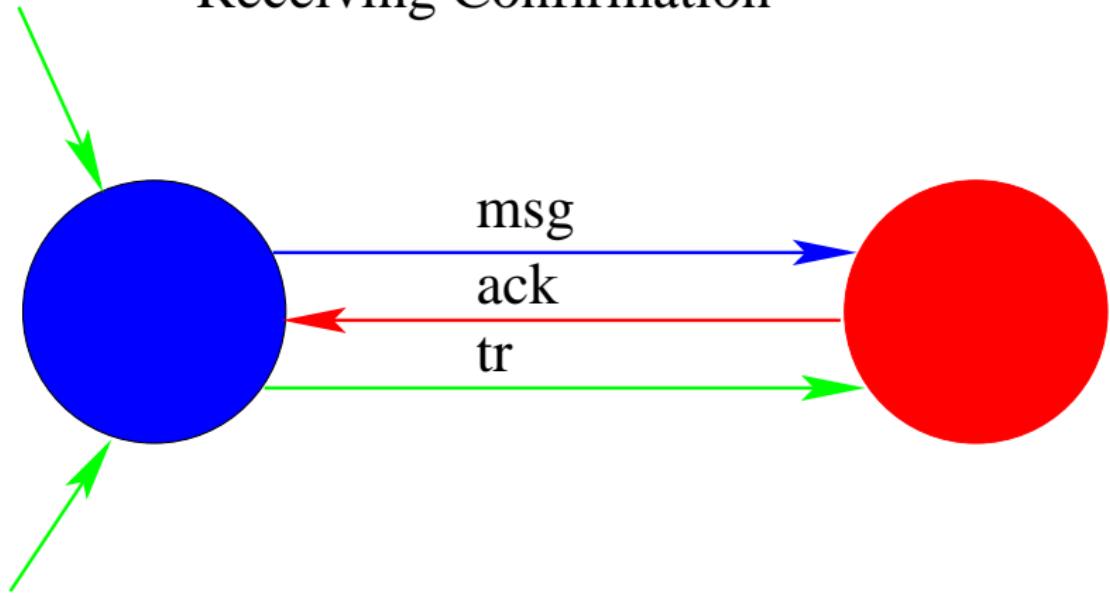


Receiving Acknowledgement

Sending Confirmation



Receiving Confirmation



① Problèmes des systèmes répartis

② Exemples de système réparti

Problème de l'élection d'un leader

Problème du snapshot

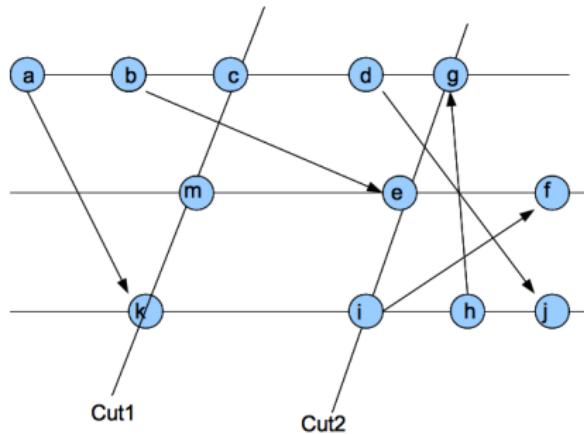
③ Systèmes répartis : modèles et langages

④ Algorithmes répartis

Photographie instantanée d'un système réparti

- Algorithmes de snapshot
- Réponses aux problèmes de reprise de calcul réparti après un crash, calcul de l'état global d'un système réparti, ...

Coupures



- $Cut1 = \{a, b, c, m, k\}$
- $Cut2 = \{a, b, c, d, g, m, e, k, i\}$

- Une coupure C est un ensemble d'événements
- Une coupure consistante C est une coupure satisfaisant la propriété suivante : $\forall a, b. a \in C \wedge b < a \Rightarrow b \in C$
- $Cut1$ est consistante mais $Cut2$ n'est pas consistante ($h < g$ mais $h \notin Cut2$).

Des coupures aux snapshots

- Deux coupures peuvent être équivalentes dans la mesure où l'échange de deux actions indépendantes c'est-à-dire causalement indépendantes.
- Pour une coupure donnée, on peut définir l'ensemble des événements les plus récents : ces événements constituent une frontière du calcul en cours.
- Une coupure induit donc un snapshot : une photographie du système et de son état global.
- Toute coupure consistante induit un snapshot consistant et le snapshot courant est l'ensemble des états locaux suivants les événements récemment enregistrés.
- Si $C1$ et $C2$ sont deux coupures telles que $C1 \subseteq C2$, alors $S2$ est plus récent que $S1$

- ① Problèmes des systèmes répartis]
- ② Exemples de système réparti
 - Problème de l'élection d'un leader
 - Problème du snapshot
- ③ Systèmes répartis : modèles et langages
- ④ Algorithmes répartis

Qu'est-ce qu'un système réparti ?

- Un **système réparti** est un système comprenant un ensemble de **processus** et un **système de communication**.
- Les processus sont décrits dans un langage de programmation.
- Le système de communication met en oeuvre une méthode de communication (par variable partagée, par envoi de messages)

- Sémaphores
- Moniteurs
- Pipes
- Passage de messages

Systèmes répartis ?

- Programmation répartie par envoi de messages synchrone : ADA, CSP, OCCAM
- Programmation répartie avec bibliothèques de communication : PVM, MPI
- Programmation répartie avec coordination : X LINDA
- Programmation répartie mobile : réseaux actifs, codes mobiles
- Programmation répartie objet : Java

classiques de programmation

- Modèles de calcul classiques : λ -calcul
 - ▶ suites d'opérations
 - ▶ composition de fonctions
 - ▶ entrée-sortie
- Modèles de calcul réparti : π -calcul
 - ▶ suites d'opérations locales et globales
 - ▶ non déterminisme
 - ▶ interaction

Langages de modélisation

- Systèmes événementiels en TLA⁺ et PlusCal
- Utilisation d'outils : TLAPS Toolbox

Problèmes associés aux systèmes répartis

- Protocoles de communication
- Algorithmes d'élection du leader comme IEEE 1394
- Stabilisation des systèmes : auto-stabilisation
- Partage de ressources : exclusion mutuelle
- Détection de la terminaison dans un réseau connexe de machines

- ① Problèmes des systèmes répartis]
- ② Exemples de système réparti
 - Problème de l'élection d'un leader
 - Problème du snapshot
- ③ Systèmes répartis : modèles et langages
- ④ Algorithmes répartis

Sommaire du cours

- Modélisation des algorithmes répartis
 - ① Systèmes Répartis : Problèmes - Concepts - Techniques - Outils
 - ② Modélisation des systèmes répartis
 - ③ Calculs Locaux en TLA⁺
 - ④ Utilisation de PlusCal comme notation algorithmique
- Algorithmes répartis selon les services attendus :
 - ① Communiquer avec les protocoles de communications
 - ② Ordonner avec les temps et les datations dans les systèmes répartis.
 - ③ Partager avec les algorithmes d'exclusion mutuelle.
 - ④ Organiser avec les algorithmes d'élection du leader
 - ⑤ Contrôler avec les algorithmes de snapshots et de détection de la terminaison.
 - ⑥ Stabiliser avec les algorithmes d'autostabilisation

Présentation du cours

- Fondements : modélisation, vérification, analyse, validation, outils.
- Algorithmique : routage, exclusion mutuelle, élection, ondelette.
- Applications réparties
- Utilisation de l'outil TLA Toolbox.
- Organisation : Cours et TD D. Méry

Contenu du cours

- Développer des modèles réalistes de systèmes.
- Introduire les concepts nécessaires ou les rappeler.
- Expérimenter la démarche dans un outil.
- Gérer au mieux les abstractions et les raffinements.

- Utiliser une technique de modélisation aussi générale que possible
- Un système réparti comprend des nœuds ou des sites répartis physiquement
- Chaque site comprend des actions ou des événements qui ont une action locale ou de communication.
- Un système réparti est modélisé par une relation de transition non-déterministe et avec éventuellement de l'équité
- Les systèmes de transitions sont de bons outils pour modéliser de tels systèmes.

Sommaire du cours

- Modélisation des algorithmes répartis
 - ① Systèmes Répartis : Problèmes - Concepts - Techniques - Outils
 - ② Modélisation des systèmes répartis
- Algorithmes répartis
 - ① Communiquer avec les protocoles de communications (ABP, STENNING, SLW)
 - ② Ordonner avec les temps et les datations dans les systèmes répartis. (ABCAST,CBCAST)
 - ③ Partager avec les algorithmes d'exclusion mutuelle (BAKERY, RICARTAGRAWALA, CARVALOROUCAIROL MAEKAWA)
 - ④ Organiser avec les algorithmes d' élection du leader (LELANN, IEEE1394)
 - ⑤ Contrôler avec les algorithmes de snapshots, de détection de la terminaison et les arbres de recouvrement.
 - ⑥ Stabiliser avec les algorithmes d'autostabilisation.