Introduction aux systèmes répartis

Département informatique et réseaux

Frank Singhoff
C-214

singhoff@enst.fr

Sommaire

Partie 1

Principes généraux sur les systèmes répartis

Sommaire

Sous partie 1.1

Présentation, définitions

Présentation, définitions (1)

- *"Un système réparti est un ensemble de machines autonomes connectées par un réseau, et équipées d'un logiciel dédié à la coordination des activités du système ainsi qu'au partage de ses ressources." Coulouris et al. [COU 94].*
- *"Un système distribué est un système qui s'exécute sur un ensemble de machines sans mémoire partagée, mais que pourtant l'utilisateur voit comme une seule et unique machine." Tanenbaum [TAN 94].*
- Systèmes fortement et faiblement couplés.
- Notion d'**image unique du système** $\Longrightarrow$ système généralement incomplet.

Pourquoi un système réparti?

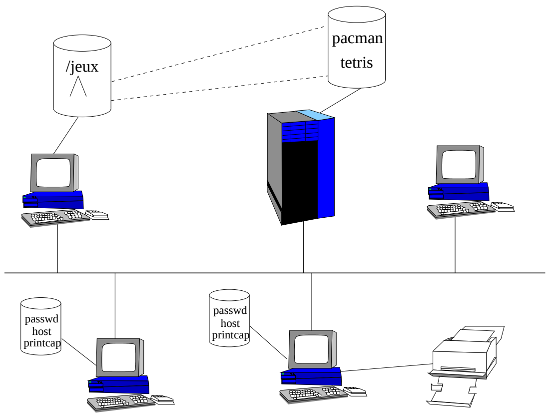
1. Partage des ressources (données, applications, périphériques chers). Optimisation de leur utilisation (ex : au LIP6, machines et processeurs libres 69% et 93% du temps).
2. Facilite la communication entre utilisateurs.
3. Concurrence, parallélisme $\Longrightarrow$ efficacité.
4. Prix des processeurs de petite puissance inférieur à ceux de grande puissance $\Longrightarrow$ raisons économiques.
5. Flexibilité, facilité d'extension du système (matériels, logiciels). Sauvegarde de l'existant.
6. Interconnexion de machines dédiées (ex : MVS-CICS + PC windows).
7. Tolérance aux pannes (fiabilité, disponibilité).
8. Contraintes physiques (ex : avionique, usines automatisées).

Ce qu'offre un système réparti

- Le concept de transparence :

1. **Transparence à la localisation** $\Longrightarrow$ désignation. L'utilisateur ignore la situation géographique des ressources. Transparence à la migration.
2. **Transparence d'accès**. L'utilisateur accède à une ressource locale ou distante d'une façon identique.
3. **Transparence aux pannes** (réseaux, machines, logiciels). Les pannes et réincarnations sont cachées à l'utilisateur. Transparence à la réplication.
4. **Transparence à l'extension des ressources**. Le système peut être étendu ou réduit sans occasionner de gène pour l'utilisateur (sauf performance).
5. **Transparence à l'hétérogénéité**. L'utilisateur n'a pas à se soucier des différences matérielles ou logicielles des ressources qu'il utilise.

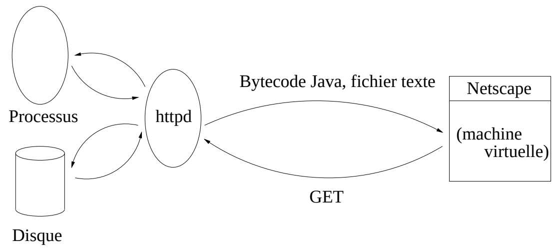
Exemple 1 : le système UNIX



- Transparence d'accès et à la localisation : NFS, le service d'impression. NIS : transparence à la localisation mais pas d'accès (*ypcat*).
- Désignation : nom de machine + port. Pas indépendante de l'adressage.
- Interopérabilité : RPC (XDR), IP.

Introduction aux systèmes répartis

Exemple 2 : le Web



- Transparence à la localisation : liens hypertexte.
- Transparence d'accès : URL (site $\neq$ adresse IP).
- Désignation : URL, DNS Internet.
- Interopérabilité : Java bytecode et machine virtuelle, pages HTML.

Sous partie 1.2

Principaux problèmes soulevés et services offerts par un système réparti

Désigner les ressources du système

- *"Désigner un objet consiste à lui affecter un nom permettant de lui faire référence" [MAR 88].*
  - Nom indépendant de la localisation géographique (pannes, migrations) et du temps.
  - Nom = ressource $\Longrightarrow$ réutilisation.
  - **Adresse $\neq$ nom**. Translation nom $\Longrightarrow$ adresse = service de localisation (chaîne de références, diffusion, fonctionnelle, serveur de localisation).
  - Serveur centralisé ou par type de ressource (système de fichiers) ; performance, résistance aux pannes, facilité de réalisation, répartition ou non du catalogue (cohérence).
  - Espace de nommage/adressage, contexte (ex : désignation hiérarchique).

Cohérence et synchronisation

• Centralisé = 1 horloge + verrouillage. Réparti = plusieurs horloges non synchronisées + communications **asynchrones** $\Longrightarrow$ plus d'**état global** facilement calculable et présence d'**indéterminisme logique**.

• Exemple 1 : **partage de données**. Cohérence si copie en lecture et modification. Cohérence si plusieurs opérations d'écriture $\Longrightarrow$ ordre ?

• Exemple 2 : **mise au point d'un programme** : comment arrêter plusieurs processus répartis simultanément ? $\Longrightarrow$ synchronisation. Comment réexécuter une application ? $\Longrightarrow$ indéterminisme logique.

• Problèmes : élection, exclusion mutuelle, consensus, mise au point, transaction, terminaison, etc.

TELECOM PARIS
Introduction aux systèmes répartis

Support de l'hétérogénéité

• Services interopérables. Comment s'affranchir des différences matérielles et logicielles des machines du système ?

• Exemples de ce qui est hétérogène :

1. La représentation des données en mémoire :
   - Le problème des petits indiens (système big indian et little indian).
   - Représentation des flottants (ex : PC sur 80 bits, norme IEEE en 64 et 128 bits).
   - Entiers complémentés à 1 ou 2.
   - Alignement des données en mémoire.
2. Les langages de programmation, les exécutables, les systèmes d'exploitation.
3. Les protocoles de communication.

Transparence aux pannes (1)

- Objectif : cacher à l'utilisateur l'occurrence de pannes. Reste un problème difficile dans un système asynchrone.
- *Un système distribué est un système avec lequel je ne peux rien faire car une machine que je ne connais pas est en panne". Lamport.*

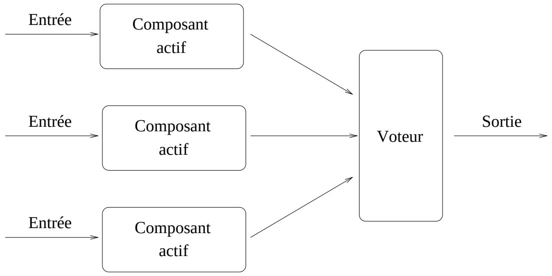
  – Type de pannes : pannes temporelles, pannes dites "silencieuses" (crash), pannes byzantines.

  – Solutions par points de reprise globaux $\Longrightarrow$ comment prendre un état cohérent du système (message du futur).

  – Solutions à base de redondance.

Transparence aux pannes (2)

- Redondance active :



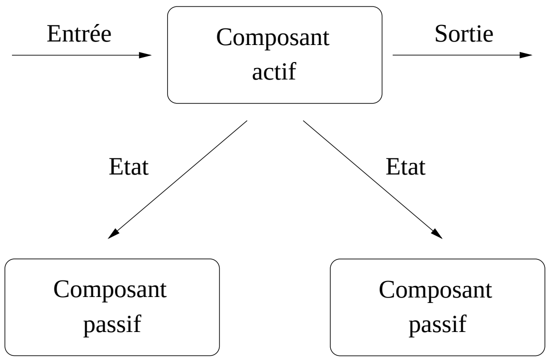
  – Groupe de serveurs + vote (consensus).

  – Application déterministe.

  – Consensus impossible dans un système asynchrone.

Transparence aux pannes (3)

- Redondance passive :



  - Maître/esclaves (journalisation).
  - Application non déterministe mais systèmes coûteux.
  - Quoi et comment journaliser ?

Autres problèmes importants

- Sécurité. Accès aux données confidentielles. Authentification. Utilisation des ressources (périphériques, logiciels licenciés). Malveillance.
- Performance (nécessite de faire au moins aussi bien qu'un système centralisé) $\Longrightarrow$ mécanismes ajoutés pour la tolérance aux pannes, la sécurité, la transparence, etc.
- Mise à l'échelle (algorithmes centralisés).
- Administration (ex : NFS).

Résumé : services offerts

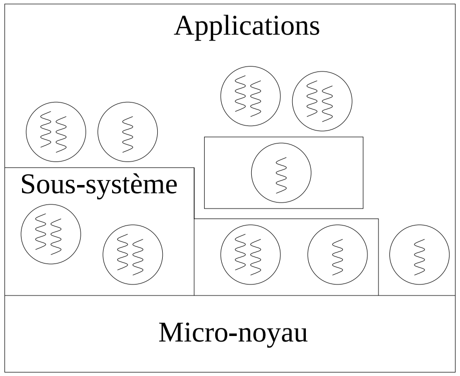
- En plus des services classiquement rencontrés dans un système, le système réparti doit donc offrir :
  - Services de désignation et de localisation.
  - Services de communication.
  - Services de synchronisation.
  - Services de tolérance aux pannes.
  - Services de sécurité.

Aspects architecturaux (1)

- Où se trouvent ces services?
  - Dans la couche transport (UNIX + TCP/IP).
  - Dans le langage de programmation (ADA 95, JAVA RMI).
  - Dans le "Middleware" (CORBA, RPC). Logiciel se situant entre le système d'exploitation et les applications.
  - Dans le système d'exploitation (Chorus, Mach, Amoeba) $\Longrightarrow$ micro-noyau.

Aspects architecturaux (2)

- Micro-noyau :

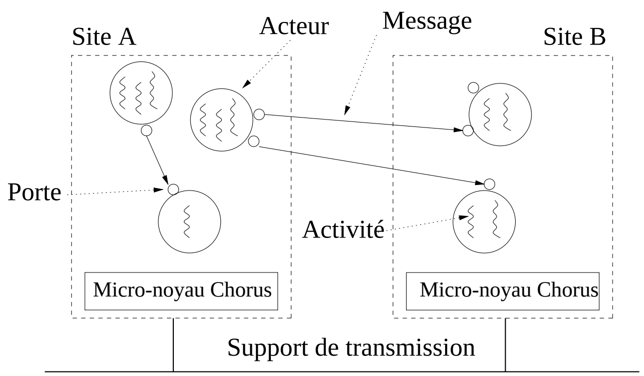


– Système monolithique : abstractions figées. Politiques de gestion de ressources figées et opaques.

– Micro-noyau : personnalités et compatibilité binaire. Modèle Client/serveur. Moindre performance mais plus grande flexibilité $\Longrightarrow$ prise en compte des besoins applicatifs.

Aspects architecturaux (3)

- Le système Chorus :



- Abstractions : site, acteurs, threads, portes, messages, segments [ROZ 91].

$\Longrightarrow$ transparence d'accès et transparence à la localisation. Migration de portes.

Partie 2

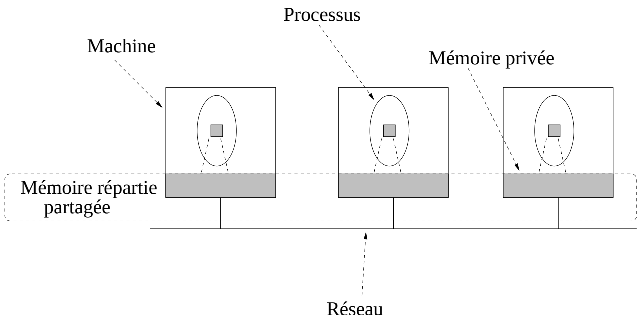
Paradigmes et services de communication

Sommaire

Sous partie 2.1

L'approche mémoire partagée

L'approche mémoire partagée

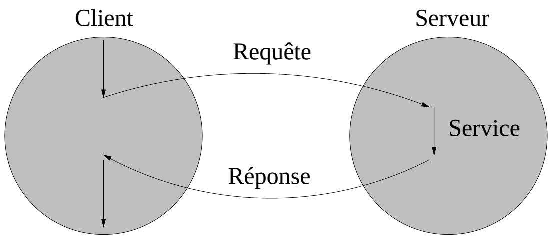


- Transparence de fait (bien que toutes les données ne soient pas partageables).
- Persistance possible. Ramasse miettes.
- Données partageables : variables, pages, objets. Copie en lecture, migration en écriture. Problème de cohérence.
- Utilisation pour les applications de calculs parallèles (nécessite beaucoup de mémoire). Efficacité ?

Sous partie 2.2

Le mode passage de messages

Le paradigme client/serveur (1)

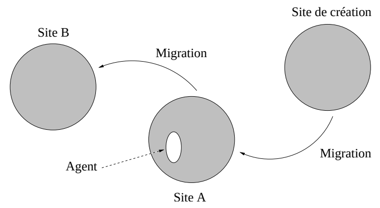


- Notion de client, service et serveur (ex : service d'impression, de base de données) [ORF 95].
- Interaction synchrone entre le client et le serveur : le client est bloqué tant que le serveur n'a pas répondu.
- Serveur concurrent (processus, thread) ; ex : ftp.
- Serveur avec ou sans état.
- Extensibilité, intégration de produits divers.
- Diffusion, flots de données.

Le paradigme client/serveur (2)

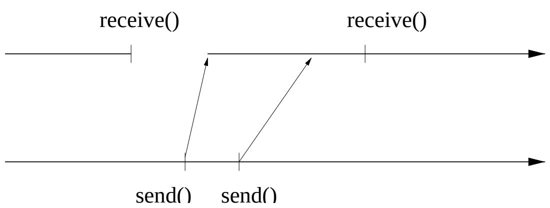
- Client/serveur : extension naturelle de la notion de service dans un environnement centralisé ... mais.
- Pannes possibles : perte de la requête ou de la réponse, panne du serveur ou du client.
- Notion de sémantique des opérations :
  - Exactement une fois.
  - Au moins une fois (opération idempotente).
  - Au plus une fois.
- Réincarnation du serveur si serveur avec état (synchronisation, journalisation).

Le paradigme des agents mobiles



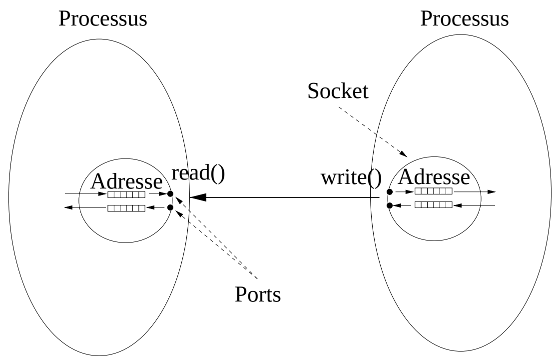
- Agent autonome se déplaçant au grès des machines pour réaliser ses tâches [BER 99]. Possède un état.
- Asynchrone $\Longrightarrow$ mieux adapté que le client/serveur à des traitements longs.
- Exemple : recherche sur le Web, administration réseaux $\Longrightarrow$ moins de transfert de données.
- Nouveaux problèmes : sécurité (de l'agent, de l'hôte), mobilité du code, désignation.

Messages asynchrones



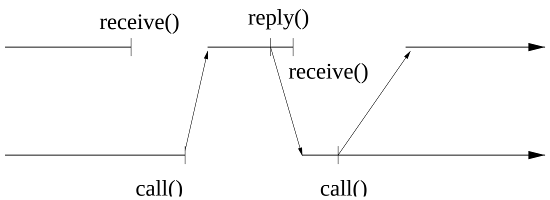
- C'est la brique de base. Mode le plus rencontré.
- Producteur/consommateur. Asynchrone $\Longrightarrow$ tampon.
- Temps de communication inconnu. Perte, duplication, déséquencement.
- Bloquant ou non bloquant.
- Ordre total local + ordre causal.
- Lourd et compliqué pour le développeur (il doit assurer toute la synchronisation) mais puissant et souple.

Messages asynchrones : UDP



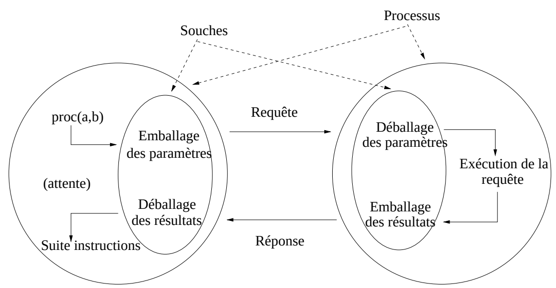
- Sockets UDP (connectées ou non) = tampons.
- Lecture et écriture bloquante ou non.
- UDP = datagramme non fiable.
- Pas de désignation mais adressage.
- Pas de gestion de l'hétérogénéité.
- Exemple de service : NFS $\Longrightarrow$ d'où serveur sans état.

Communications synchrones



- Contrairement au message asynchrone, le protocole est maintenant asymétrique : notion de client et de serveur.
- Le client est bloqué jusqu'à la réponse du serveur.
- Propriété d'ordre plus forte (ordre total sur les requêtes d'un même client).
- Généralement réalisé par messages asynchrones
- Sémantique d'invocation si basé sur une couche transport non fiable.

L'appel de procédures à distance (1)



- Structure le programme de façon familière pour le programmeur.
- Communication transparente à l'utilisateur
- Prise en compte de l'hétérogénéité : sérialisation et encodage des données.
- Notion de souches : encodage/décodage + communication. Souches souvent générées.

L'appel de procédures à distance (2)

- Exemple : les RPC SUN [RIF 95]
  - Hétérogénéité grâce aux filtres XDR ; sérialisation de structures complexes.
  - Description des données en XDR, puis, utilisation du compilateur *rpcgen*. Celui-ci génère :
    1. Les filtres XDR.
    2. Les souches des cotés serveur et client.
    3. Le source "principal" du serveur.
    4. L'interface utilisateur (fichiers .h).
  - Pas de transparence d'accès (signature des procédures), et pas de transparence à la localisation (numéro de programme, version, procédure + adresse IP). Service *portmap* pour le port.
  - Exemple d'utilisation : NFS, NIS.
  - Possibilité d'invocation asynchrone (sans résultat).

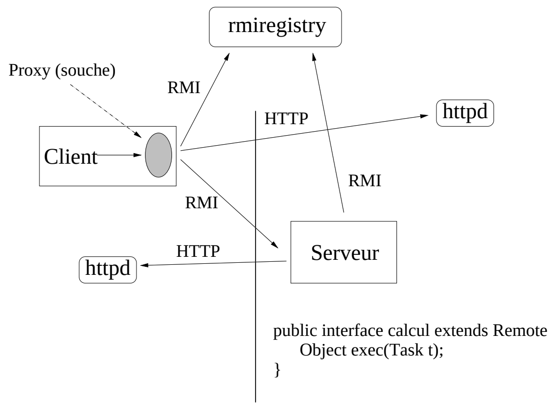
Le modèle objets répartis (1)

- Extension de l'appel de procédure à distance dans le monde objet.
- Objet = code + données (unité d'encapsulation).
- Notion de proxy : représentation locale d'un objet distant.

$\Longrightarrow$ Ce sont très souvent des serveurs à état.

Le modèle objets répartis (2)

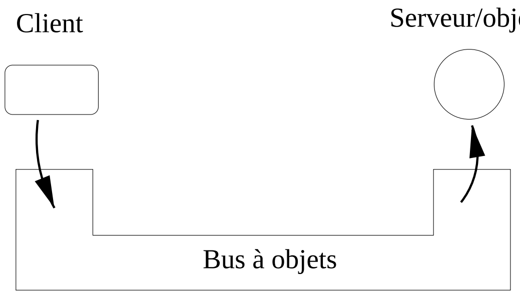
- Exemple 1 : RMI



- Totale transparence d'accès $\Longrightarrow$ service décrit en Java. Transparence à la localisation incomplète.
- Proxy et *rmic*. Chargement de bytecode (application dynamique) et sérialisation.
- Support de l'hétérogénéité ... limité a Java.

Le modèle objets répartis (3)

- Exemple 2 : CORBA



- Transparence à la localisation mais pas de transparence d'accès $\Longrightarrow$ service décrit en IDL et API spécifique.
- Compilateur IDL $\Longrightarrow$ utilisation de proxy mais approche plus statique.
- Support de l'hétérogénéité plus étendu.
- Portabilité, intégration de service.

Partie 3

Principaux problèmes de synchronisation et de cohérence

Sommaire

1. Algorithmes centralisés.
2. Algorithmes répartis.
3. Construction d'horloges globales.

Généralités (1)

- Centralisé = 1 horloge + verrouillage. Réparti = plusieurs horloges non synchronisées + communications **asynchrones** $\Longrightarrow$ plus d'**état global** facilement calculable et présence d'**indéterminisme logique**.
- Les services de :
  - Tolérance aux pannes (points de reprise, réplication).
  - Mise au point. Service transactionnel.
  - Partage de données, etc.

posent des problèmes de :

- Exclusion mutuelle (allocation de ressources). Détection/évitement interbloquage.
- Consensus/ diffusion atomique ordonnée.
- Election. Terminaison. etc.

Généralités (2)

- Algorithmes centralisés **vs** répartis.
  - Facilité de réalisation, comportement centralisé.
  - Solutions asymétriques $\Longrightarrow$ déploiement, administration (placement).
  - Performance : goulot d'étranglement.
  - Tolérance aux pannes (état, disponibilité).

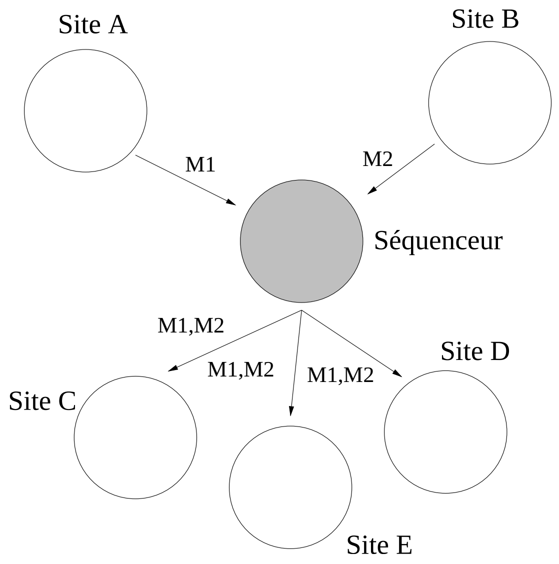
vs

- Généralement symétrique.
- Flexibilité (administration). Tolérance aux pannes.
- Mise à l'échelle. Performance? (complexité).
- Très difficiles à mettre au point $\Longrightarrow$ effet de sonde, indéterminisme logique.

- Critères de choix.

Algorithme centralisé (1)

- Exemple : le séquenceur (diffusion atomique avec ordre total).

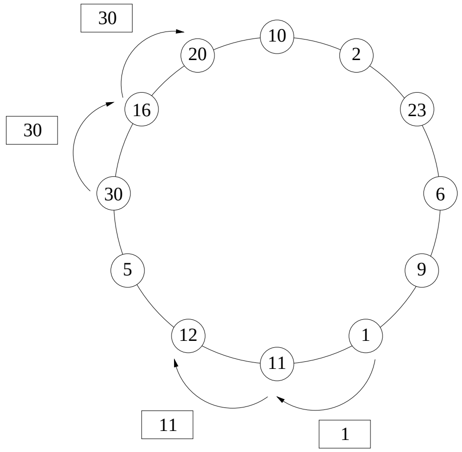


- Paradigme valable pour toutes les ressources (exclusion mutuelle, partage de données ou de périphériques).

Introduction aux systèmes répartis

Algorithme centralisé (2)

- Algorithme d'élection de Chang et Roberts [CHA 79] :



  - Boucle physique ou logique. Initiateur multiple.
  - Réception d'un message : (1) site$<$message $\Longrightarrow$ transmission tel quel ; (2) site$>$message $\Longrightarrow$ modification du message.
  - Rotation de confirmation.

Algorithme réparti (1)

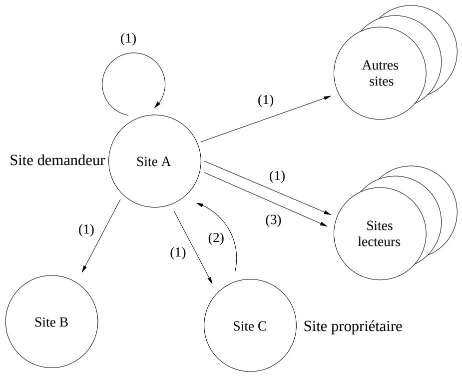
- Algorithme de Li et Hudak [LI 89]. Partage de pages mémoire entre plusieurs sites $\Longrightarrow$ cohérence forte des données $\Longrightarrow$ lecture = dernière écriture.

$\Longrightarrow$ **Applicable sur toute forme de donnée, exclusion mutuelle.**

- Une table de pages par site comprenant pour chaque page :
  - Le propriétaire (Owner) de la page = dernier rédacteur.
  - Le type d'accès (Access) du site sur la page (lecture, écriture ou nil).
  - Liste des lecteurs (Copyset) : liste des sites possédant une copie en lecture $\Longrightarrow$ invalidations lors des écritures
  - Un sémaphore pour protéger les accès à la table de pages.

Algorithme réparti (2)

- Algorithme par diffusion :



(1) Le site A diffuse sa requête à tous les sites.

(2) Le site C, propriétaire, envoie la page et le copyset au demandeur, A.

(3) Le site A envoie des invalidations aux sites lecteurs (détenteurs d'une copie de la page concernée en lecture).

Algorithme réparti (3)

Gestionnaire de défauts en lecture

```
    Verrouiller ( PTable[p].sémaphore )
    diffuser une demande en lecture pour p
    attendre la réception de p
    PTable[p].accès := lecture
    Déverrouiller ( PTable[p].sémaphore )
```

Serveur en lecture

```
    Verrouiller ( PTable[p].sémaphore )
    Si je suis le propriétaire de p
    Alors
        PTable[p].copyset := PTable[p].copyset ⋃ {s}
        PTable[p].accès := lecture
        Envoyer p au site s
    FSi
    Déverrouiller ( PTable[p].sémaphore )
```


Algorithme réparti (4)

Gestionnaire de défauts en écriture

```
    Verrouiller ( PTable[p].sémaphore )
    Diffuser une demande en écriture pour p
    Attendre la réception de p et de son copyset
    Pour tout i dans copyset Faire
        Envoyer à i Invalidation ( p )
    PTable[p].accès := écriture
    PTable[p].copyset := ∅
    PTable[p].propriétaire := ego
    Déverrouiller ( PTable[p].sémaphore )
```

Serveur en écriture

```
    Verrouiller ( PTable[p].sémaphore )
    Si je suis le propriétaire de p
    Alors
        Envoyer p et PTable[p].copyset au site s
        PTable[p].accès := nil
        PTable[p].propriétaire := s
    FSi
    Déverrouiller ( PTable[p].sémaphore )
```

Serveur d'invalidation

```
    Verrouiller ( PTable[p].sémaphore )
    PTable[p].accès := nil
    Déverrouiller ( PTable[p].sémaphore )
```

Ordonner les événements (1)

• Synchronisation d'horloges dans le système (ex : protocole NTP). Echanges de messages contenant l'heure de référence. Approximation (temps de communication) $\Longrightarrow$ précision, Web.

Or

souvent, ce qui compte dans un système, c'est l'ordre des événements, et non leur date (cf. algo précédent, *make*).

$\Longrightarrow$ Utilisation d'horloges logiques [RAY 96].

• La recherche de propriété d'ordre permet de régler de nombreux problèmes par l'observation et le réordonnancement des événements (ex : équité).

Ordonner les événements (2)

• Notion d'événements pertinents pour une application donnée.

• Observation de la progression des autres processus du système grâce à la notion de **causalité** [LAM 78].

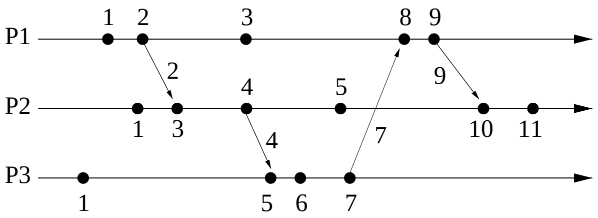
• x est causalement dépendant de y (noté $x \Rightarrow y$) si :

1. x et y sont des événements locaux (dits internes) et x s'exécute avant y.
2. x et l'émission d'un message et y sa réception sur un site différent.
3. Si $x \Rightarrow z$ et $z \Rightarrow y$ alors $x \Rightarrow y$.

$\Longrightarrow x$ est causalement dépendant de $y \Leftrightarrow x$ précède temporellement y.

• Ordre partiel.

Ordonner les événements (3)



– Un compteur par site (C_i).

– Mise à jour de l'horloge locale :

1. Réception message : $H_i = max(H_i, H_{msg})$.
2. Après événement : $H_i = H_i + d$ (souvent $d = 1$ pour connaître le nombre d'événements).

– Horloge globale : ordre total de Lamport (noté $\prec$) ; soient deux événements, x sur le site i, y sur j :

$$x \prec y \Leftrightarrow [H(x) < H(y) \quad ou \quad (H(x) = H(y)\ et\ i < j)]$$

– **Ordre total cachant la causalité (ex : evt 3).**

Ordonner les événements (4)

• Comment connaître la progression des autres sites ?
$\Longrightarrow$ horloges vectorielles [FID 91, MAT 89, SCH 88].

– Un vecteur de compteurs par site ($V[1...n]$). $V[i]$ = connaissance de l'état de progression du site i. V = vue de la progression du système.

– Mise à jour de l'horloge locale :

1. Réception message :

$$1 \leq k \leq n\ et\ k \neq i : V[k] = max(V[k], msg[k])$$

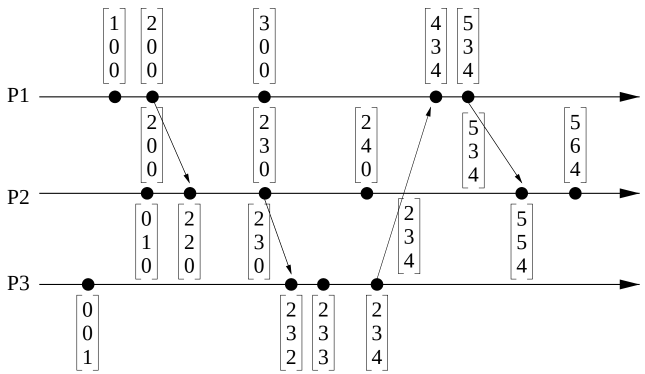
2. Après événement : $V[i] = V[i] + d$.

• Applications : partout où se trouve un problème de cohérence.

• Horloges coûteuses mais capture l'ordre causal.

Ordonner les événements (5)

- Exemple :



Introduction aux systèmes répartis

Ordonner les événements (6)

- Ordre causal événements x et y tel que VX et VY soient leur vecteur d'estampilles :

$$\begin{aligned} x \Rightarrow y &\Leftrightarrow VX < VY \\ x \parallel y &\Leftrightarrow VX \parallel VY \end{aligned}$$

Avec :

$$\begin{aligned} VX \leq VY &\Leftrightarrow \forall\, i \ :\ VX[i] \leq VY[i] \\ VX < VY &\Leftrightarrow (VX \leq VY) \ \wedge\ (\exists\, i \ :\ VX[i] < VY[i]) \\ VX \parallel VY &\Leftrightarrow \neg(VX < VY) \ \wedge\ \neg(VY < VX) \end{aligned}$$

Partie 4

Conclusion, synthèse et perspectives

Conclusion, synthèse et perspectives

- "*Un système distribué est un système qui s'exécute sur un ensemble de machines sans mémoire partagée, mais que pourtant l'utilisateur voit comme une seule et unique machine.*" Tanenbaum [TAN 94].
  - Objectifs : partage de ressources , tolérance aux pannes, coûts, contraintes physiques.
  - Services : communication, désignation, hétérogénéité, synchronisation et coordination.
- Un mot clef important à retenir : ***Transparence***

$\Longrightarrow$ partielle actuellement.

Conclusion, synthèse et perspectives

- Services de communication normalisés et diffusés. Hétérogénéité réglée $\Longrightarrow$ migration possible aujourd'hui.
- Emergence des technologies objets $\Longrightarrow$ réutilisabilité, comment intégrer l'existant.
- Les systèmes répartis ne sont plus de simples jouets pour les chercheurs. Enjeux importants :
  - Déploiement du plus grand système réparti : le Web. Convergence voix/données (GSM).
  - Nouveaux modèles : agents, code mobile.
  - Nouvelles applications : applications temps réel, jeux répartis à large échelle (réalité virtuelle).
  - **Difficultés : cohérence et coordination.**

Partie 5

Références

[BER 99] G. Bernard. « Applicabilité et performances des systèmes d'agents mobiles dans les systèmes répartis ». pages 57–68. 1ère Conférence française sur les systèmes d'exploitation, juin 1999.

[CHA 79] E. G. Chang et R. Roberts. « An improved algorithm for decentralized extrema-finding in circular configurations of processors ». *Communications of the ACM*, 22(5):281–312, 1979.

[COU 94] G. Coulouris, J. Dollimore, et T. Kindberg. *Distributed Systems—Concepts and Design, 2nd Ed.* Addison-Wesley Publishers Ltd., 1994.

[FID 91] C. J. Fidge. « Logical Time in Distributed Computing Systems». *IEEE Computer*, 24(8):28–33, August 1991.

[LAM 78] L. Lamport. «Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System». *Communications of the ACM*, 21(7):558–565, July 1978.

[LI 89] K. Li et P. Hudak. « Memory Coherence in Shared Virtual Memory Systems ». *ACM Trans. on Computer Systems*, 7(4):321–359, November 1989.

[MAR 88] J. Legatheaux Martins et Y. Berbers. « La désignation dans les systèmes d'exploitation répartis ». *Technique et Science Informatiques*, 7(4):359–372, avril 1988.

[MAT 89] F. Mattern. « Virtual time and global states of distributed systems». Dans *Proc. of Int. Workshop on Parallel and Distributed Algorithms, Bonas*, pages 215–226, 1989.

[ORF 95] R. Orfali, D. Harkey, et J. Erwards. *Client/Serveur : guide de survie.* International Thomson Publishing, Paris, 1995.

[RAY 96] R. Raynal et M. Singhal. « Capturing Causality in Distributed Systems ». *IEEE Computer*, 29(2):49–56, February 1996.

[RIF 95] J. M. Rifflet. *La communication sous UNIX : applications réparties.* Ediscience International, 2rd édition, 1995.

[ROZ 91] M. Rozier, V. Abrassimov, et F. Armand. « Overview of the CHORUS Distributed Operating Systems ». Rapport Technique, Chorus Systèmes, CS/TR-90-25.1, February 1991.

[SCH 88] F. Schmuck. « *The use of efficient broadcast in asynchronous distributed systems*». Tr88-928, Cornell University, 1988.

[TAN 94] A. Tanenbaum. « Systèmes d'exploitation : systèmes centralisés et systèmes distribués ». Interéditions, Paris, 1994.

Partie 6

Acronymes

- **NFS**. Network File System.
- **NIS**. Network Information Service.
- **RPC**. Remote Procedure Call.
- **XDR**. External Data Representation.
- **URL**. Universal Resource Locators.
- **DNS**. Domain Name System.
- **HTML**. Hypertext Markup Language.
- **HTTP**. Hypertext Transfer Protocol.
- **RMI**. Remote Method Invocation.
- **CORBA**. Common Object Request Broker.
- **IDL**. Interface Definition Language.
- **NTP**. Network Time Protocol.