

Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

Habilitation à Diriger des Recherches

Bertrand Ducourthial

Laboratoire Heudiasyc (UMR UTC-CNRS 6599)
Dpt Génie Informatique
Université de Technologie de Compiègne

lundi 5 décembre 2005



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

1. Avant-propos
2. *r*-opérateurs
3. Calcul parallèle
4. Calcul réparti
5. Communications
6. Perspectives

2 2

- ① Avant-propos
- ② *r*-opérateurs
- ③ Calcul parallèle
- ④ Calcul réparti
- ⑤ Communications
- ⑥ Perspectives



- **Licence de Mathématiques** 1992
Université Paris Sud
- **Magistère d'informatique** 1995
Universités Paris V et VI
 - **Licence d'Informatique** 1993
Université Paris-Sud
 - **Maîtrise d'Informatique** 1994
Université Pierre et Marie-Curie
 - **DEA Architectures Parallèles** 1995
Université Paris Sud

Avant-propos

Parcours

Enseignement

Animation

Recherche

Thématique

- Licence de Mathématiques 1992
 - Magistère d'informatique 1995
 - Scientifique du Contingent 1995-1996
DGA/ETCA Laboratoire Systèmes de Perception
 - Thèse de doctorat oct 1996 → jan 1999
Université Paris Sud
 - Laboratoire de Recherche en Informatique
LRI UMR CNRS 8623
 - Institut d'Electronique Fondamentale
IEF UMR CNRS 8622
- ↪ lien entre plusieurs thématiques



Avant-propos

Parcours

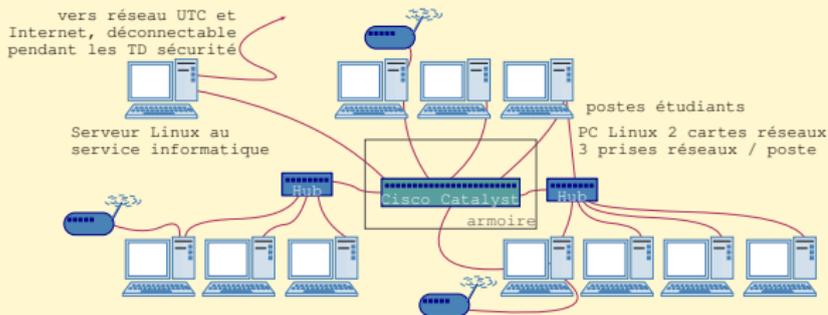
- Licence de Mathématiques 1992
 - Magistère d'informatique 1995
 - Scientifique du Contingent 1995-1996
 - Thèse de doctorat oct 1996 → jan 1999
 - Maître de Conférences oct 1999 →
 - UTC, département Génie Informatique
 - Laboratoire Heudiasyc
UMR CNRS 6599
 - Thème ARO
Algorithmique pour les Réseaux et l'Optimisation
- ↪ lien entre plusieurs thématiques



- UV Algorithmes et Systèmes et Répartis 1999 →
- Cours et TD en mastère recherche 1999 →



- UV Algorithmes et Systèmes et Répartis 1999 →
- Cours et TD en mastère recherche 1999 →
- Plate-forme grappe de PC 2000 →
 - améliorer les enseignements appliqués
 - travaux pratiques en systèmes et réseaux



- UV Algorithmes et Systèmes et Répartis 1999 →
- Cours et TD en mastère recherche 1999 →
- Plate-forme grappe de PC 2000 →
- Création UV Sécurité, Systèmes, Réseaux 2001 →
 - fin de cycle ingénieur
 - complète les autres UVs systèmes et réseaux
 - cours et TD spécialisés (sur la grappe de PC)
 - nombreux intervenants extérieurs
 - engouement des étudiants et des entreprises

- UV Algorithmes et Systèmes et Répartis 1999 →
- Cours et TD en mastère recherche 1999 →
- Plate-forme grappe de PC 2000 →
- Création UV Sécurité, Systèmes, Réseaux 2001 →
- Création de la filière
Systemes et Réseaux Informatiques 2002 →
 - ensemble cohérent d'UVs en systèmes et réseaux
 - plate-forme pour travaux pratiques et projets
 - nombreux spécialistes (UTC, entreprises)

Avant-propos Enseignement

- UV Algorithmes et Systèmes et Répartis 1999 →
- Cours et TD en mastère recherche 1999 →
- Plate-forme grappe de PC 2000 →
- Création UV Sécurité, Systèmes, Réseaux 2001 →
- Création de la filière
Systemes et Réseaux Informatiques 2002 →
 - ensemble cohérent d'UVs en systèmes et réseaux
 - plate-forme pour travaux pratiques et projets
 - nombreux spécialistes (UTC, entreprises)

↪ refonte des enseignements systèmes et réseaux
filière **SRI** en phase avec l'industrie, attractive
l'une des premières du département



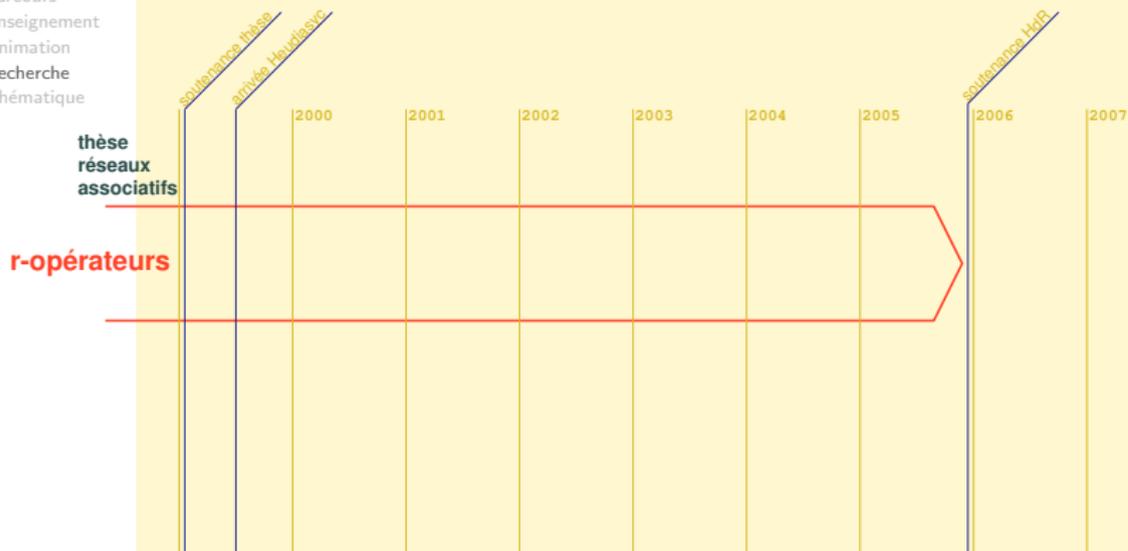
- Comité de lecture de la revue **TSI**, Hermès
- Comité de programme des conférences
ACM DIALM'2002, MedHocNet'05, Algotel'03 et '06
- relecteur **JPDC, Comp. Networks, EuroPar, SSS, STACS, DSN, ICN, Sirocco...**

- Comité de pilotage du groupe national **Tarot**
Techniques Algorithmiques pour les Réseaux et l'Optimisation Télécommunication
modérateur de la liste de diffusion nationale ~ 300 pers.
- chapitre Algorithmique répartie **AS CNRS Dynamo**

- CSE Université Picardie Jules-Verne
- CSE Université de Technologie de Compiègne
- fête de la science

- *etc.*





thèse
réseaux
associatifs

r-opérateurs

- **thèse** Les réseaux associatifs, IEF & LRI, Paris Sud
 - calculs asynchrones dans une grille de processeurs élémentaires pour le traitement d'images parallèle
 - *r*-opérateurs : assurent la stabilisation des calculs asynchrones
- étude des *r*-opérateurs \rightsquigarrow projet transversal



- principales publications

Proceeding IEEE

IEEE ICIP'05, IEEE CAMP'05, ParIm'01, IEEE CAMP'00...

- production informatique

bibliothèque de calcul parallèle multithread ANET

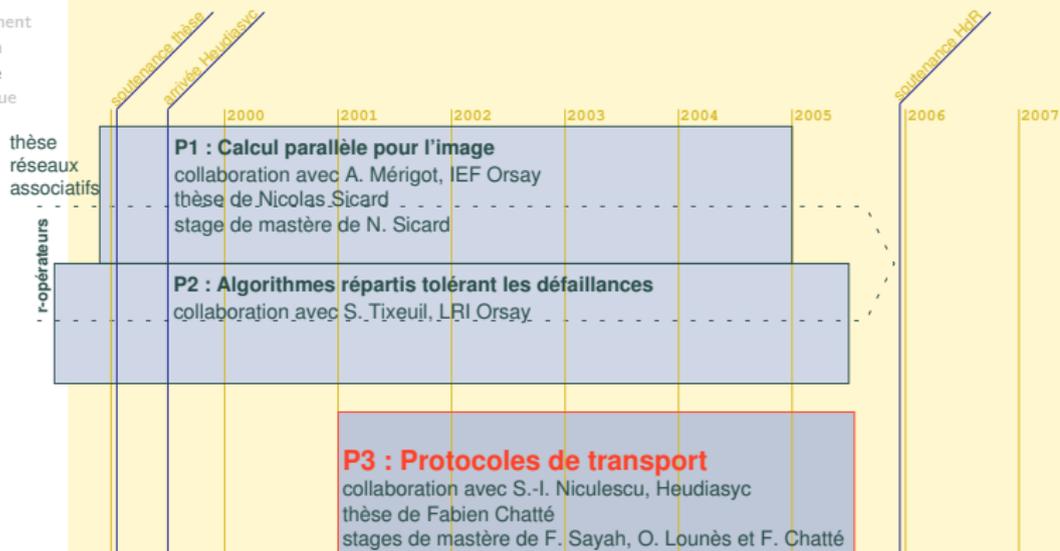


- principales publications

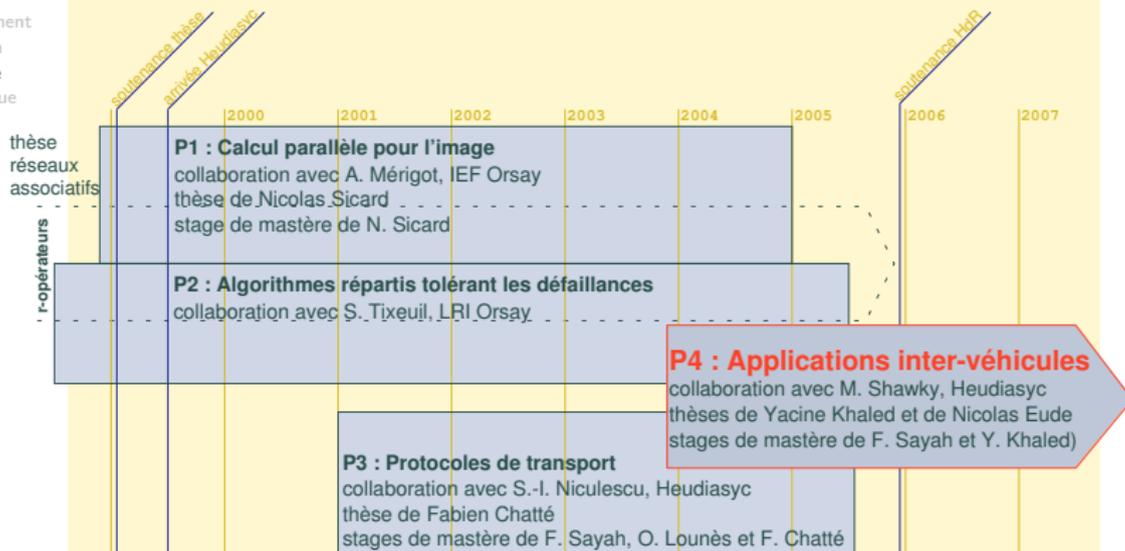
Theoretical Computer Science, Distributed Computing
SSS'05, SIROCCO'00...

- financements

projet régional *Tolérance aux défaillances*, AS CNRS *Dynamo*



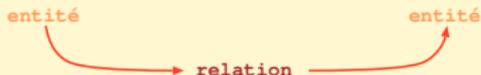
- principales publications
IJSS, TSI, Annals of Telecommunications
IEEE ISCC'02, IFAC TDS'01
- principaux financements ACI Jeunes Chercheurs, ANVAR...
- production informatique protocole PRIMO



- principales publications
IFIP MWCN'05, IEEE VTC'05
- principaux financements
FTR&D, projet régional, IP Safespot (IST/PCRD 6)...
- production informatique suite logicielle AIRPLUG

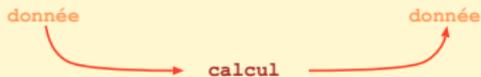
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
relation



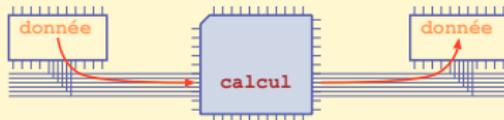
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
calcul



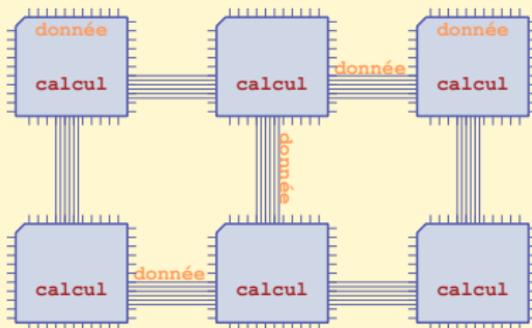
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
calculateur



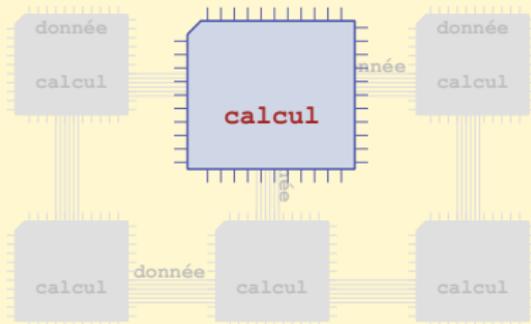
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
multi-processeurs



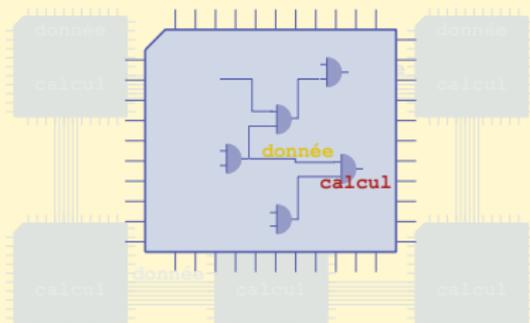
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
processeur



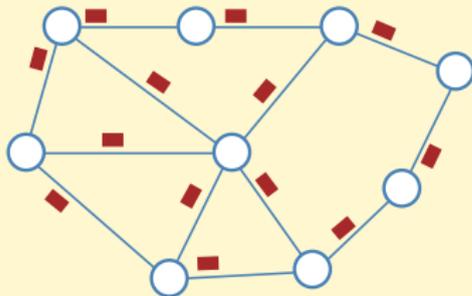
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
processeur



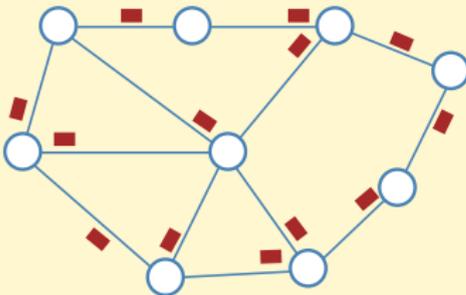
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
système réparti



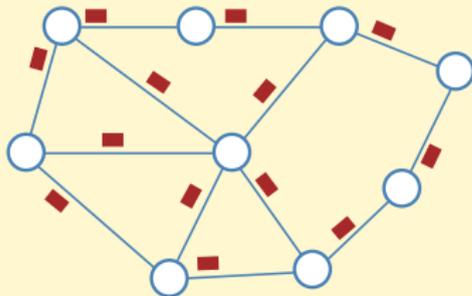
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
système réparti



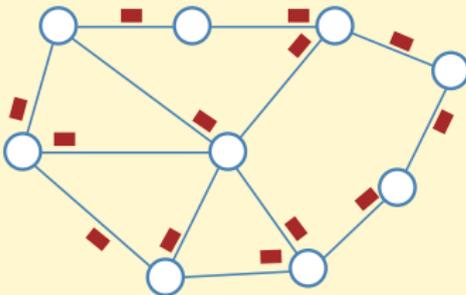
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
système réparti



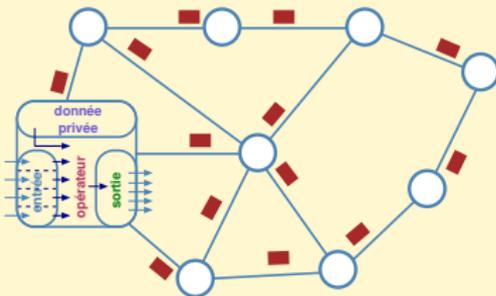
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
système réparti



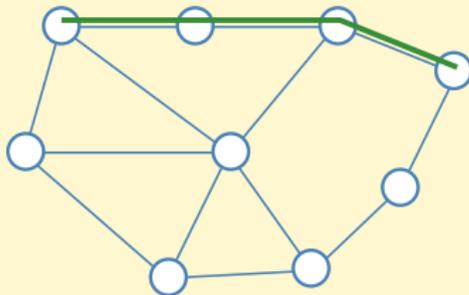
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
système réparti



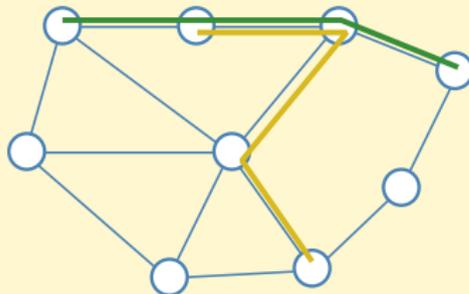
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau de communication



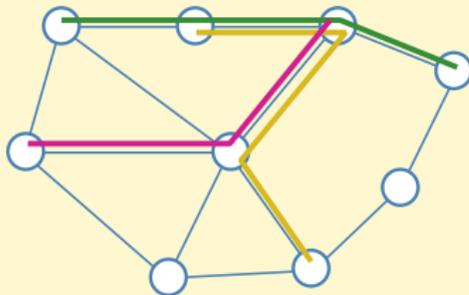
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau de communication



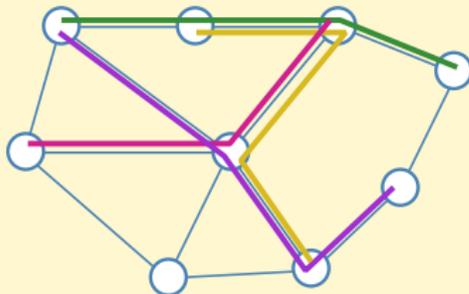
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau de communication



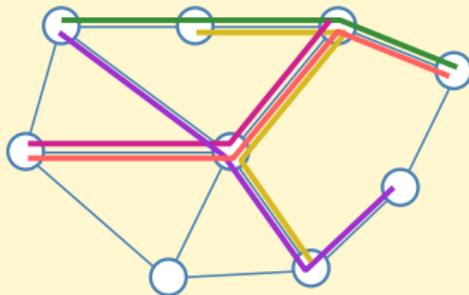
Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau de communication



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau de communication



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
réseau ad hoc



Avant-propos

Thématique de recherche

Habilitation à
Diriger des
Recherches

Avant-propos

Parcours

Enseignement

Animation

Recherche

Thématique

Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
- Dynamique \rightsquigarrow perturbe calculs et communication



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
- Dynamique \rightsquigarrow perturbe calculs et communication
- Dynamique imprévisible
 - provoquée par les **données** ou les **utilisateurs**
 - limites des analyses *off-line*
 - adaptabilité *on-line*



Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux
- Dynamique \rightsquigarrow perturbe calculs et communication
- Dynamique imprévisible
- Réseaux fortement dynamiques
 - de plus en plus courants
informatique mobile, réseaux personnels
 - vers moins de planification et plus d'adaptabilité
 - efficacité \rightsquigarrow réduction du contrôle
sur les calculs ou les communications



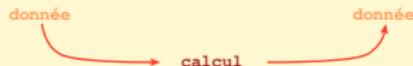
② r-opérateurs

Modélisation des calculs dans un réseau

Propriétés

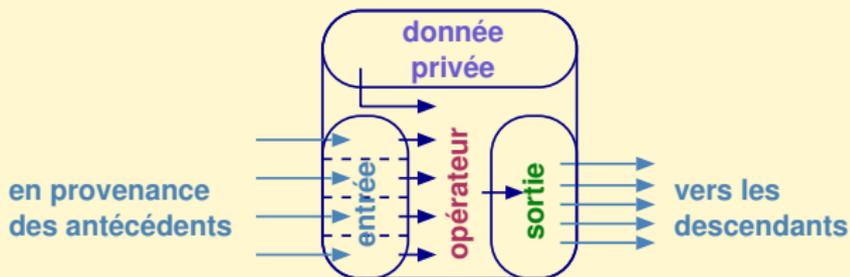
r-opérateurs

Conclusion et positionnement



Modélisation des calculs dans un réseau

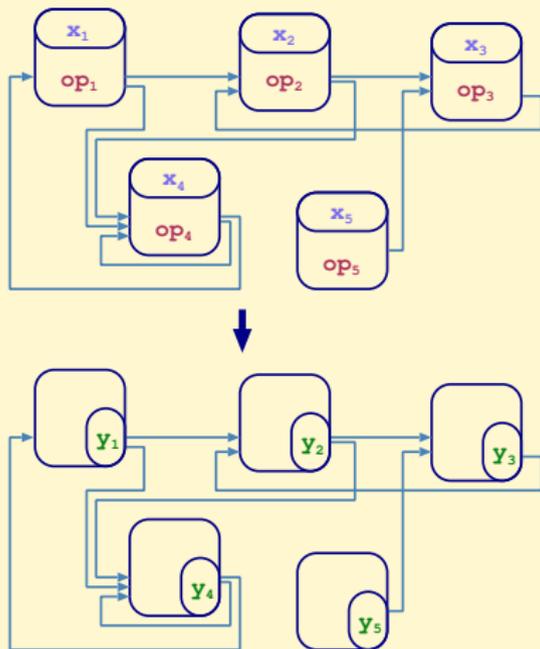
- Calcul local
 - algorithme \equiv opérateur \diamond défini sur \mathcal{S}



sortie \leftarrow donnée privée \diamond première entrée $\diamond \dots \diamond$ dernière entrée

Modélisation des calculs dans un réseau

- Calcul local
- Calcul global



Modélisation des calculs dans un réseau

- Calcul local
- Calcul global
- Obtention d'un résultat
 - absence de circuit
 - stabilisation du résultat
 - il dépend de la topologie
 - et de la numérotation locale des voisins !
 - circuit
 - ↪ conditions supplémentaires sur l'opérateur
 - topologie dynamique ↪ inconnue

Modélisation des calculs dans un réseau

- Calcul local
- Calcul global
- Obtention d'un résultat
- Problématique : **recherche d'opérateurs**
 - assurant la terminaison déterministe
 - insensibles à la topologie
 - numérotation locale des voisins
 - présence de circuits

Modélisation des calculs dans un réseau

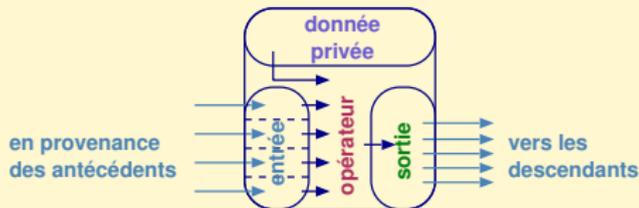
- Calcul local
- Calcul global
- Obtention d'un résultat
- Problématique : **recherche d'opérateurs**
 - assurant la terminaison déterministe
 - insensibles à la topologie
 - numérotation locale des voisins
 - présence de circuits

... et intéressants du point de vue applicatif

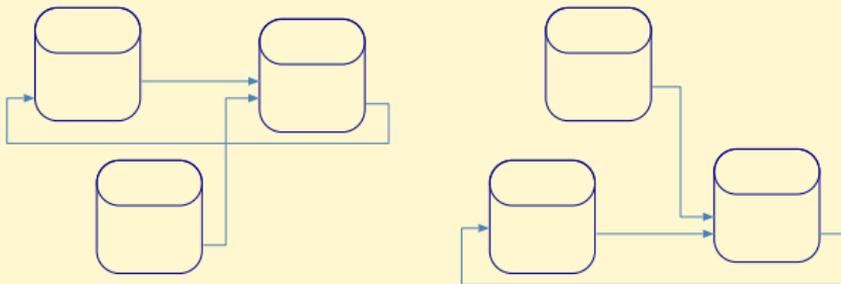
▶ *r*-opérateurs



- Élément neutre
 - initialisation
 - apparition d'un nouveau voisin



- Élément neutre
- Rang 2 commutativité



permutation des entrées :

donnée privée \diamond entrée₁ \diamond entrée₂ =
donnée privée \diamond entrée₂ \diamond entrée₁

min est rang 1 commutatif (commutatif)



Propriétés de base

- Élément neutre
- Rang 2 commutativité
- Rang 2 idempotence

suppression des doubles dans les expressions :

donnée privée \diamond entrée \diamond entrée =
donnée privée \diamond entrée

min est rang 1 idempotent (idempotent)

- s-opérateur \oplus
loi d'un demi-groupe idempotent, infimum

associativité	$(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$
commutativité	$x \oplus y = y \oplus x$
idempotence	$x \oplus x = x$
élément neutre	$x \oplus e_{\oplus} = x$

- exemples : min, max, \cup , \cap , \vee , \wedge , pgcd...
- assurent la terminaison du calcul global [Tel91]
rang 2 idempotent, rang 2 commutatif, élément neutre
- application :
un résultat par composante fortement connexe



- s-opérateur \oplus
loi d'un demi-groupe idempotent, infimum

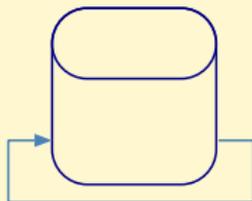
associativité	$(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$
commutativité	$x \oplus y = y \oplus x$
idempotence	$x \oplus x = x$
élément neutre	$x \oplus e_{\oplus} = x$

- exemples : min, max, \cup , \cap , \vee , \wedge , pgcd...
- assurent la terminaison du calcul global [Tel91]
rang 2 idempotent, rang 2 commutatif, élément neutre
- application :
un résultat par composante fortement connexe
- autres opérateurs ?



- Idempotence

nécessité d'une forme d'idempotence :



Idempotence et simplifications

- Idempotence

- Régularité

- simplifications dans les expressions

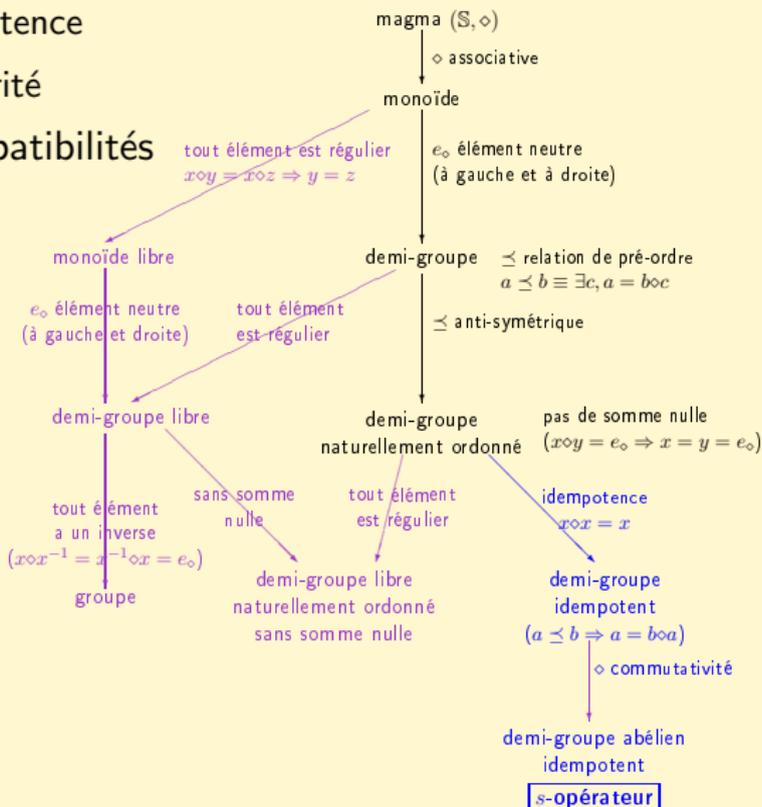
- $\forall x, y, z \in \mathbb{S}, \quad (y = z) \Rightarrow (x \diamond y = x \diamond z)$
toujours vérifiée

- $\forall x, y, z \in \mathbb{S}, \quad (x \diamond y = x \diamond z) \Rightarrow (y = z)$
régularité
non vérifiée par min sur \mathbb{N}

Idempotence et simplifications

1. Avant-propos
2. r -opérateurs
3. Calcul parallèle
4. Calcul réparti
5. Communications
6. Perspectives

- Idempotence
- Régularité
- Incompatibilités



Idempotence et simplifications

- Idempotence
- Régularité
- Incompatibilités
- Régularité faible à gauche
 - $\forall x, y, z \in \mathbb{S}, \quad (y = z) \Rightarrow (x \diamond y = x \diamond z)$
toujours vérifié
 - $\forall x, y, z \in \mathbb{S}, \quad (x \diamond y = x \diamond z) \Rightarrow (y = z)$
régularité;
non vérifiée par min sur \mathbb{N}
 - $\forall y, z \in \mathbb{S}, \quad (\forall x \in \mathbb{S}, x \diamond y = x \diamond z) \Rightarrow y = z$
régularité faible à gauche
vérifiée par min sur \mathbb{N}

- *s*-opérateur \oplus e.g., min
 lois des demi-groupes idempotents abéliens

associativité	$(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$
commutativité	$x \oplus y = y \oplus x$
idempotence	$x \oplus x = x$
élément neutre	$x \oplus e_{\oplus} = x$



- **s-opérateur** \oplus e.g., min
lois des demi-groupes idempotents abéliens

$$\text{associativité} \quad (x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$$

$$\text{commutativité} \quad x \oplus y = y \oplus x$$

$$\text{idempotence} \quad x \oplus x = x$$

$$\text{élément neutre} \quad x \oplus e_{\oplus} = x$$

- Généralisation de l'associativité

$$\text{r-associativité} : (x \triangleleft y) \triangleleft r(z) = x \triangleleft (y \triangleleft z)$$

min est *r*-associatif avec $r : x \mapsto x$



- s -opérateur \oplus e.g., min
lois des demi-groupes idempotents abéliens

$$\text{associativité} \quad (x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$$

$$\text{commutativité} \quad x \oplus y = y \oplus x$$

$$\text{idempotence} \quad x \oplus x = x$$

$$\text{élément neutre} \quad x \oplus e_{\oplus} = x$$

- Généralisation de la commutativité

$$\text{\color{red} r -commutativité} : r(x) \triangleleft y = r(y) \triangleleft x$$

min est r -commutatif avec $r : x \mapsto x$



- s-opérateur \oplus e.g., min
lois des demi-groupes idempotents abéliens

associativité $(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$

commutativité $x \oplus y = y \oplus x$

idempotence $x \oplus x = x$

élément neutre $x \oplus e_{\oplus} = x$

- Généralisation de l'idempotence

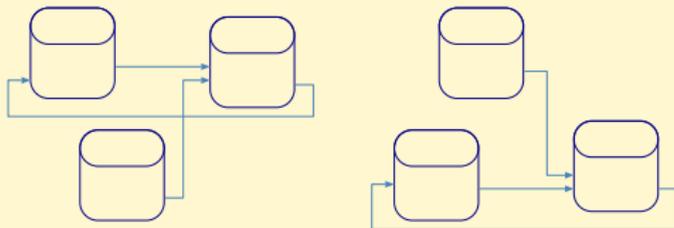
r-idempotence : $r(x) \triangleleft x = r(x)$

min est r-idempotent avec $r : x \mapsto x$



- s-opérateur \oplus e.g., min
lois des demi-groupes idempotents abéliens

associativité	$(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$
commutativité	$x \oplus y = y \oplus x$
idempotence	$x \oplus x = x$
élément neutre	$x \oplus e_{\oplus} = x$



permutation des entrées :

$$\begin{aligned} \text{donnée privée} \diamond \text{entrée}_1 \diamond \text{entrée}_2 &= \\ \text{donnée privée} \diamond \text{entrée}_2 \diamond \text{entrée}_1 & \end{aligned}$$

- s -opérateur \oplus e.g., \min
- r -opérateur \triangleleft e.g., $\text{minc}(x, y) = \min(x, y + 1)$
 - régularité faible à gauche
 - $r : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ endomorphisme

r -associatif	$(x \triangleleft y) \triangleleft r(z) = x \triangleleft (y \triangleleft z)$
r -commutatif	$r(x) \triangleleft y = r(y) \triangleleft x$
r -idempotent	$r(x) \triangleleft x = r(x)$
élt. neutre à droite	$x \triangleleft e_{\triangleleft} = x$

- Propriété des r -demi-groupes $(\mathbb{S}, \triangleleft)$
 - extension des demi-groupes idempotents
 - relation d'ordre similaire \preceq_{\triangleleft}
 - demi-groupe idempotent induit sur $r^2(\mathbb{S})$
sous certaines conditions



- s-opérateur \oplus e.g., min
- r-opérateur \triangleleft e.g., $\text{minc}(x, y) = \min(x, y + 1)$

- régularité faible à gauche
- $r : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ endomorphisme

r-associatif	$(x \triangleleft y) \triangleleft r(z) = x \triangleleft (y \triangleleft z)$
r-commutatif	$r(x) \triangleleft y = r(y) \triangleleft x$
r-idempotent	$r(x) \triangleleft x = r(x)$
élt. neutre à droite	$x \triangleleft e_{\triangleleft} = x$

- Propriété des r-demi-groupes $(\mathbb{S}, \triangleleft)$
 - extension des demi-groupes idempotents
 - relation d'ordre similaire \preceq_{\triangleleft}
 - demi-groupe idempotent induit sur $r^2(\mathbb{S})$
sous certaines conditions
~> construction des r-opérateurs
 s-opérateur (\mathbb{S}, \oplus) endomorphisme $r : \mathbb{S} \mapsto \mathbb{S}$
~> infinité de r-opérateurs

▶ conclusion



Propriétés des r -demi-groupes

1. Avant-propos
2. r -opérateurs
3. Calcul parallèle
4. Calcul réparti
5. Communications
6. Perspectives

14 64

Habilitation à
Diriger des
Recherches

r -opérateurs

Modélisation

Propriétés

r -opérateurs

Conclusion

magma (S, \triangleleft)

\triangleleft faiblement simpli-
fiable à gauche

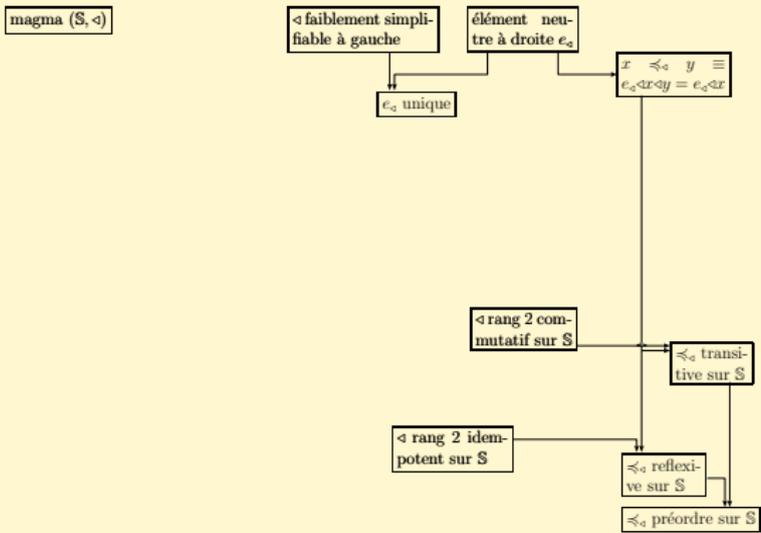
élément neu-
tre à droite e_\triangleleft

\triangleleft rang 2 com-
mutatif sur S

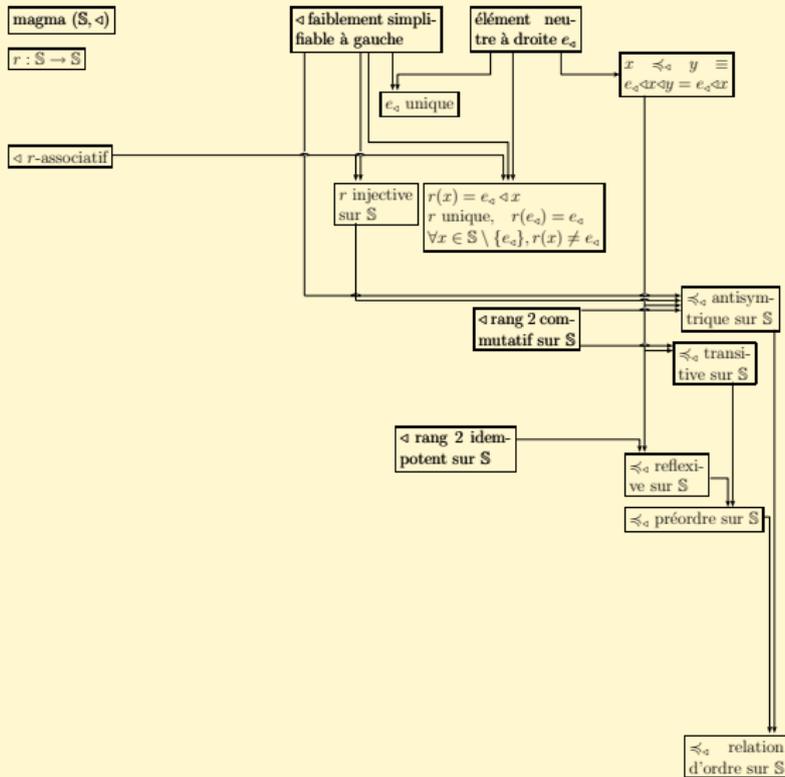
\triangleleft rang 2 idem-
potent sur S



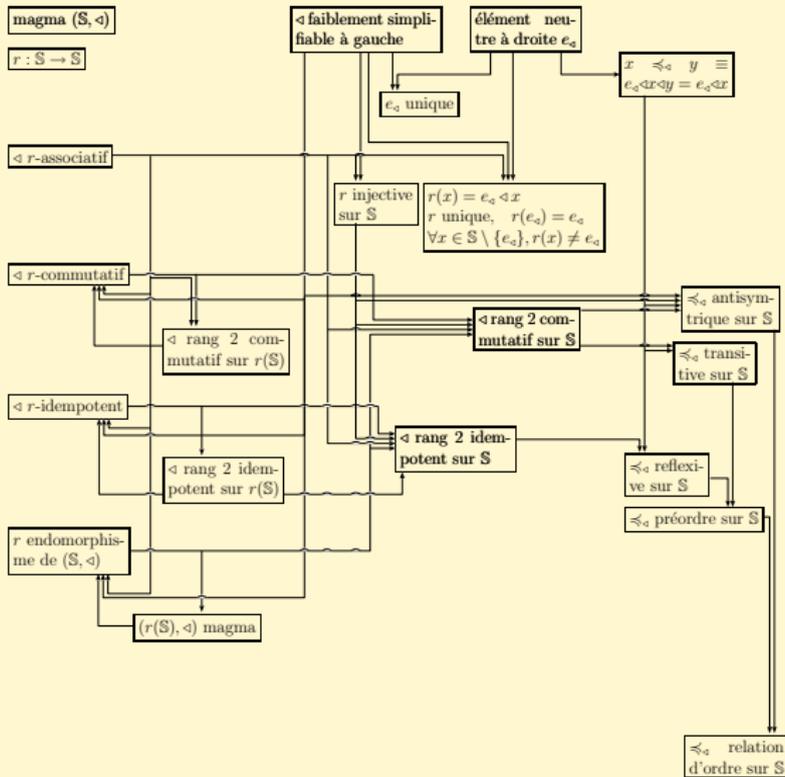
Propriétés des r -demi-groupes



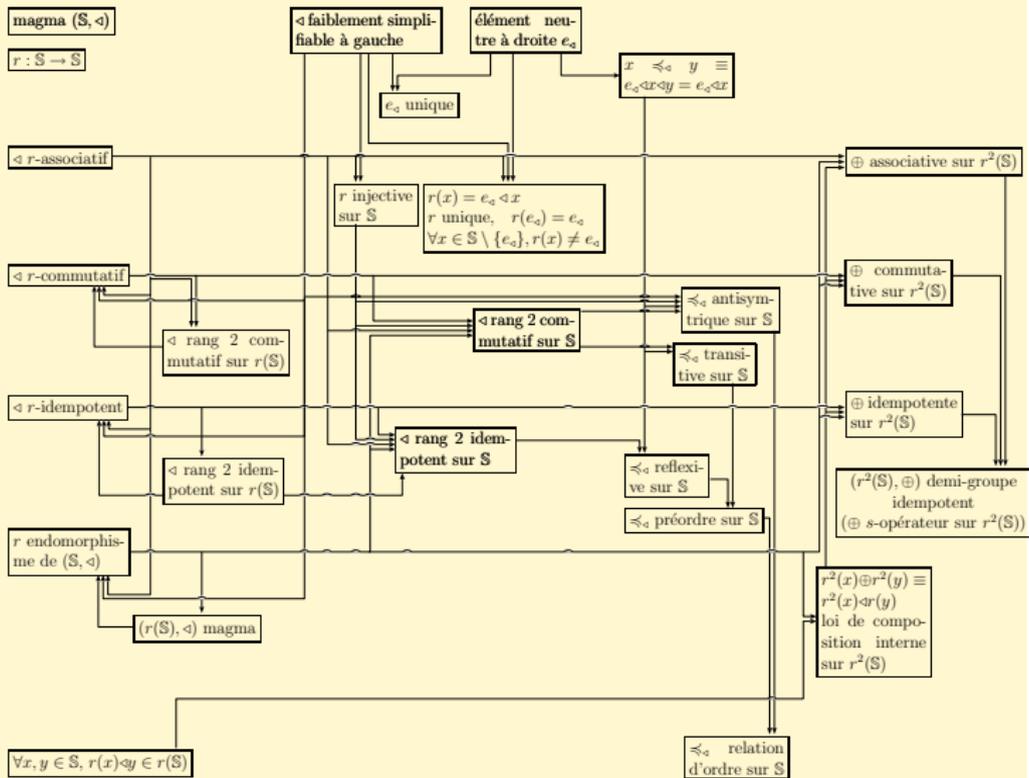
Propriétés des r -demi-groupes



Propriétés des r -demi-groupes

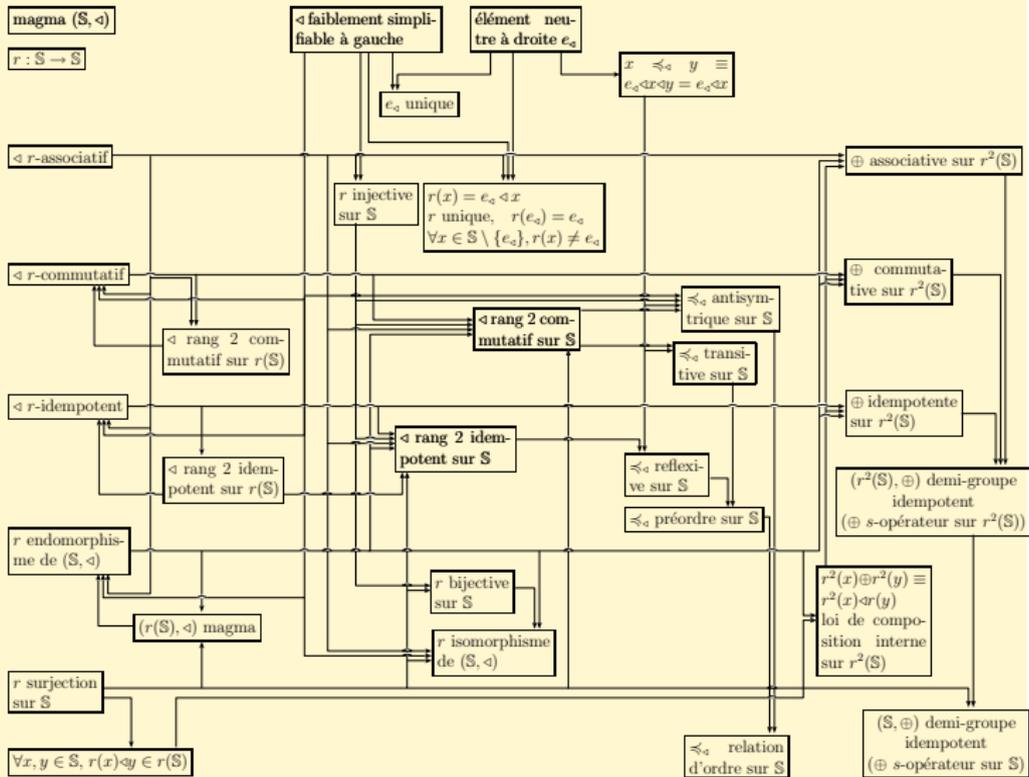


Propriétés des r -demi-groupes



1. Avant-propos
2. r -opérateurs
3. Calcul parallèle
4. Calcul réparti
5. Communications
6. Perspectives

Propriétés des r -demi-groupes



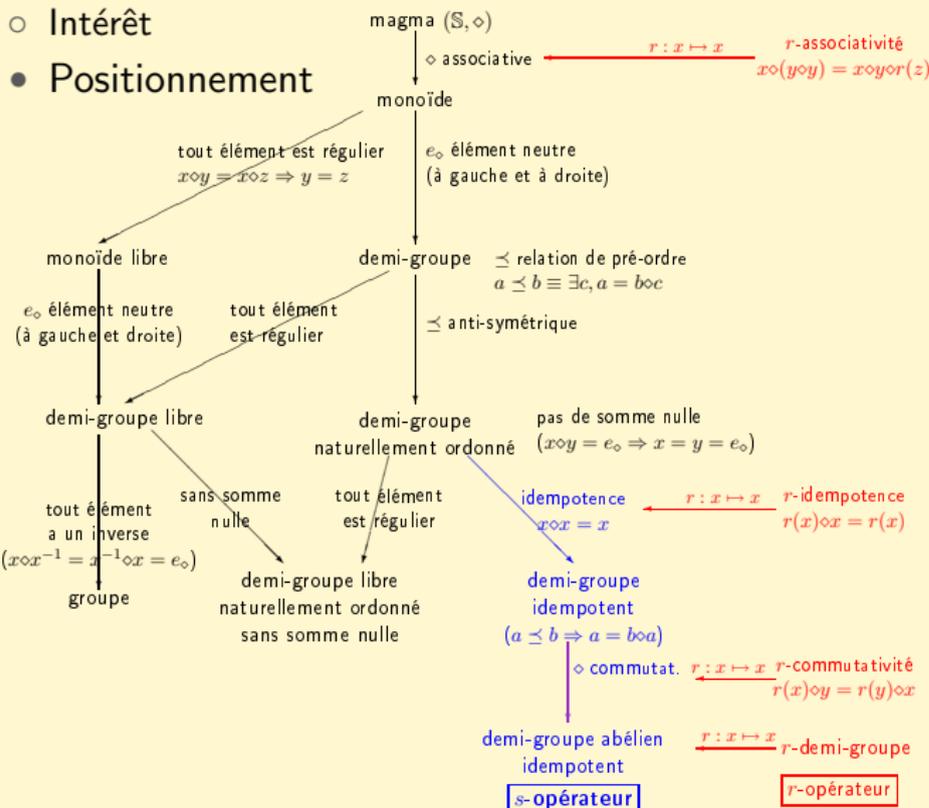
r -opérateurs : conclusion et positionnement

- Intérêt
 - \triangleleft idempotent $\rightsquigarrow x \preceq_{\triangleleft} r(x)$
 - terminaison des calculs globaux quel que soit l'ordre dans lequel les calculs locaux sont réalisés
propice aux réseaux dynamiques
 - insensibles à la topologie
 - numérotation locale des voisins
 - présence de circuits
 - résultat plus riche que les s -opérateurs
lié aux chemins et non aux composantes fortement connexes

r -opérateurs : conclusion et positionnement

- Intérêt
- Positionnement
 - certaines comparaisons avec
 - algèbre de chemin [Aho74,Gondran79]
 - algèbre max-plus [Baccelli92]
 - autres travaux sur les structures
e.g., [Bilardi90]
 - structure à une loi
généralise le demi-groupe idempotent abélien

r-opérateurs : conclusion et positionnement



3 Calcul parallèle

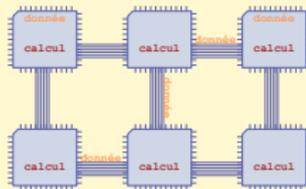
Problématique

Bibliothèque ANET

Parallélisation

Utilisation

Conclusion et positionnement



Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
 - grande quantité de données
 - structuration spatiale

but :

- extraire des informations pertinentes
- passer du plan des pixels à celui des régions

Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
- Parallélisation : difficultés
 - irrégularité des formes des données
régions, contours...
 - irrégularité des traitements
zones unies simples (ciel),
zones fouillées complexes (paysage)
 - **dynamique** des formes et des traitements
évolution au cours de l'algorithme
e.g., segmentation
 - **imprévisibilité**
la détection nécessite l'analyse de l'image

Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
- Parallélisation : difficultés
- Programmation data-parallèle
 - efficace sur le plan des pixels
adapté au voisinage (masques)
 - peu efficace sur le plan des régions
adapté aux formes régulières



Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
- Parallélisation : difficultés
- Programmation data-parallèle
- Réseaux associatifs [Mérigot92,Ducourthial99]
 - data-parallélisme + asynchronisme
 - graphe et sous-graphes des relations inter-pixels
codage efficace des données irrégulières
 - calcul globale asynchrone sur ces graphes
 - mélange calcul et communication
jusqu'à stabilisation
 - efficace également sur le plan des régions
↪ dynamique du réseau sous-jacent
 - r -opérateurs ↪ élargi le champ applicatif



Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
- Parallélisation : difficultés
- Programmation data-parallèle
- Réseaux associatifs [Mérigot92,Ducourthial99]
- Problématique
 - calcul global sur le graphe des relations inter-pixels + r -opérateurs :

pertinent sur architectures classiques ?



Calcul parallèle : problématique

- Analyse d'images
- Parallélisation : difficultés
- Programmation data-parallèle
- Réseaux associatifs [Mérigot92,Ducourthial99]
- Problématique
 - calcul global sur le graphe des relations inter-pixels + r -opérateurs :

pertinent sur architectures classiques ?

- expressivité
 - accélération
- bibliothèque ANET [Sicard04]

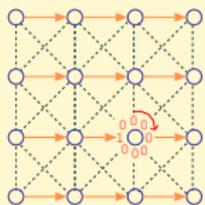
Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
 - calcul parallèle pour l'analyse d'images
stations de travail, C/C++
 - implémente le modèle des réseaux associatifs
Anet \equiv Associative NET

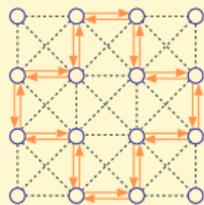
Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
 - Structures de données
 - graphe orienté symétrique des relations inter-pixels *e.g.*, grille
 - variables parallèles Pvar
une valeur par sommet du graphe
 - sous-graphes *via* masques sur les arcs entrants
 - hiérarchie de classes

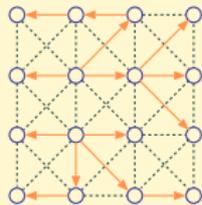
```
PvarInt pMax = 0 ;
PvarInt pSurface = 0 ;
Subnet sRegions = MASK(0) ;
```



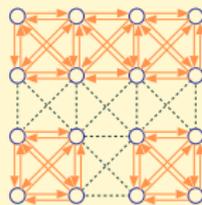
a. lignes (masque = 0000010 sur les liens entrants)



b. contours



c. forêt



d. régions

Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
- Structures de données
- Primitives de calcul
 - primitives data-parallèles classiques
element-wise, réduction...
 - manipulation des graphes
 - calcul asynchrone sur les graphes

```
sRegions.LinkWithEquals(pImage, pImage) ;  
pSurface.PlusAssoc(1,sRegions) ;  
int maxSurface = pSurface.GlobalMax() ;
```

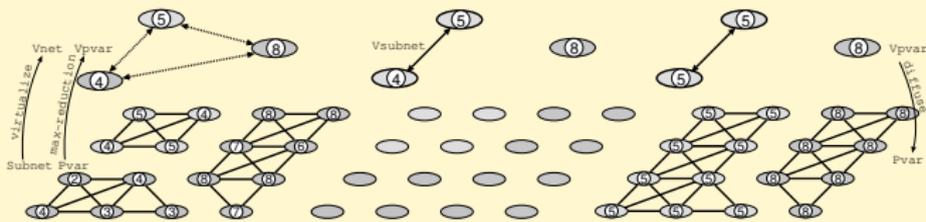
Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
- Structures de données
- Primitives de calcul
- Contextes d'exécution

```
Subnet sRegions = MASK(0) ;  
PvarInt pSurface = 0 ;  
WHERE(pImage == BLACK)  
    sRegions.LinkWithEquals(pImage, pImage) ;  
    pSurface.PlusAssoc(1,sRegions) ;  
    maxSurface = pSurface.GlobalMax() ;  
ENDWHERE ;
```

Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
- Structures de données
- Primitives de calcul
- Contextes d'exécution
- Graphes virtuels



Bibliothèque de calcul parallèle ANET

- ANET
- Structures de données
- Primitives de calcul
- Contextes d'exécution
- Graphes virtuels

```
Vnet vRegions ;  
VSubnet vFusion ;  
vRegions.Virtualize(sRegions) ;  
WITH(vRegions)  
    VPvarInt vSurface, vRegID ;  
    vSurface.PlusReduce(1) ;  
    WHERE(vSurface < SMAX)  
        vRegID = -1 ;  
    ELSEWHERE  
        vRegID.SelfAddress()  
    ENWHERE ;  
    vFusion.LinkWithEquals(vRegID, vRegID) ;  
ENDWITH ;  
vRegions.Merge(vFusion) ;
```

• Objectifs

- conserver l'interface de programmation
- offrir une parallélisation implicite
sans indication donnée par l'utilisateur
- sur stations de travail
- difficultés
 - irrégularité imprévisible
↪ déséquilibres de charge
 - calcul sur des graphes dynamiques

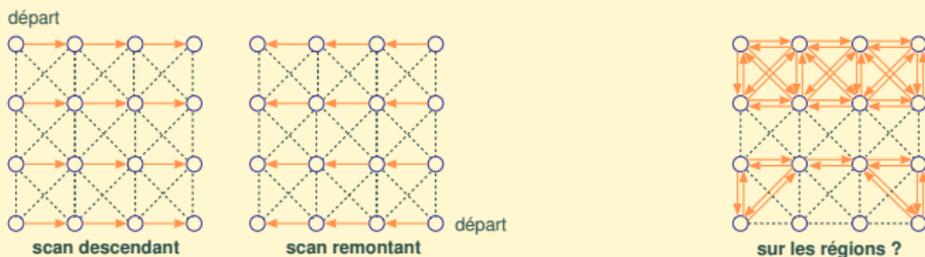
- Objectifs
- Parallélisation *via* les régions
 - méthode naturelle, information sémantique
 - 3 techniques évaluées
 - 1 en mémoire distribuée (réseau de stations)
 - 2 en mémoire partagée (multi-processeurs)

mais

- **contrôle** et manipulation des régions
- régions trop dynamiques
- équilibrage de charge difficile
 - imprévisibilité \rightsquigarrow *on-line*
- exploite peu les caches



- Objectifs
- Parallélisation *via* les régions
- Parallélisation par lignes
 - distance par balayage sur l'image entière
scan descendant, scan remontant [Borgefors86]
 - sur les régions ?
 - ↪ enchaînement de calculs locaux quelconque
dépendances de données ?
 - ↪ convergence ?



- Objectifs
- Parallélisation *via* les régions
- Parallélisation par lignes
 - distance par balayage sur l'image entière
scan descendant, scan remontant [Borgefors86]
 - sur les régions ?
 - ↪ enchaînement de calculs locaux quelconque
 - dépendances de données ?
 - ↪ convergence ?
 - distance ↪ r -opérateur minc
 - convergence du calcul global quel que soit
l'enchaînement des calculs locaux
 - vrai pour tous les r -opérateurs idempotents

- Objectifs
- Parallélisation *via* les régions
- Parallélisation par lignes
 - distance par balayage sur l'image entière
scan descendant, scan remontant [Borgefors86]
 - sur les régions ?
 - ↪ enchaînement de calculs locaux quelconque
 - dépendances de données ?
 - ↪ convergence ?
 - distance ↪ r -opérateur minc
 - convergence du calcul global quel que soit
l'enchaînement des calculs locaux
 - **vrai pour tous les r -opérateurs idempotents**
 - nombre d'itérations ↔ formes des régions
e.g., transformée en distance sur les régions de
Voronoi ↪ 3 scans

- Objectifs
- Parallélisation *via* les régions
- Parallélisation par lignes
- Bilan
 - r -opérateurs \rightsquigarrow parallélisation régulière
scans descendants et remontants par blocs
threads en mémoire partagée
 - pas de pré-traitement ni de contrôle du calcul
 - adaptée aux caches

Utilisation d'ANET

Algorithmique

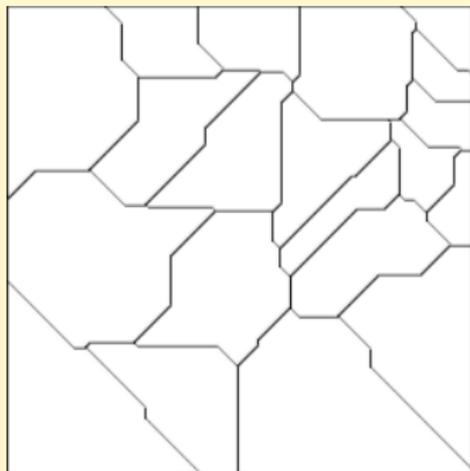
- transformées en distance
- morphologie mathématique
- segmentation par lignes de partage des eaux
- fermeture de contours
- squelettisation



- segmentation de Voronoï

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

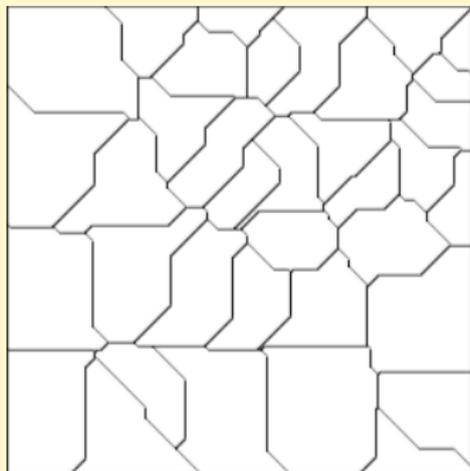


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split



- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split



- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

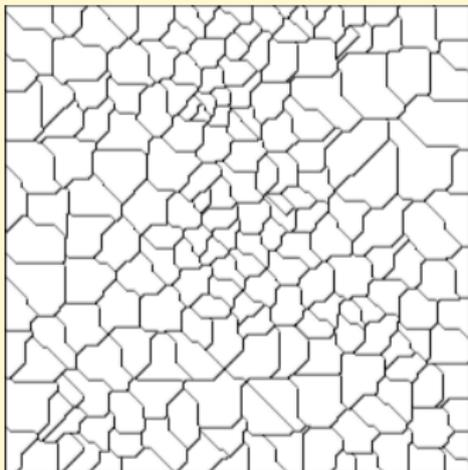
Segmentation de Voronoï, image cameraman, split



- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

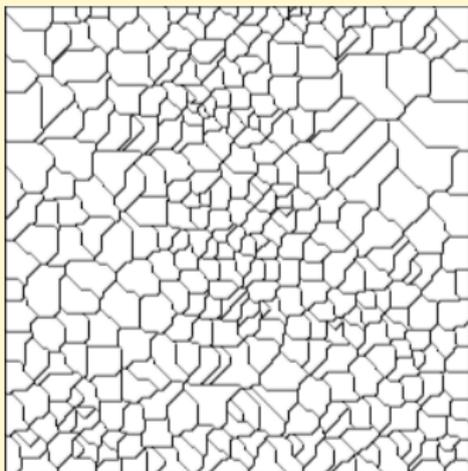


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

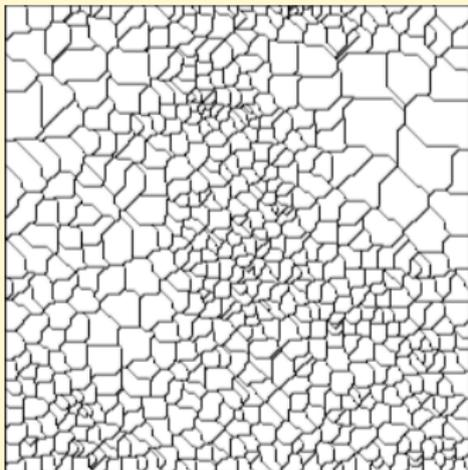


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

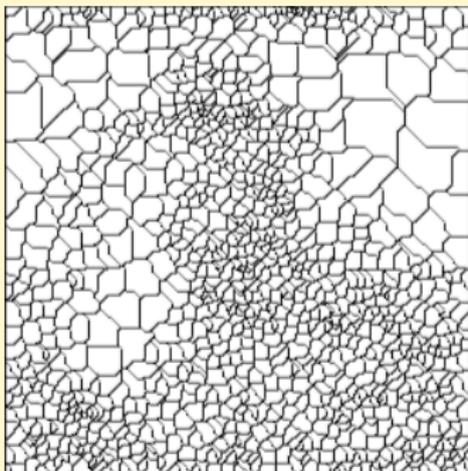


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

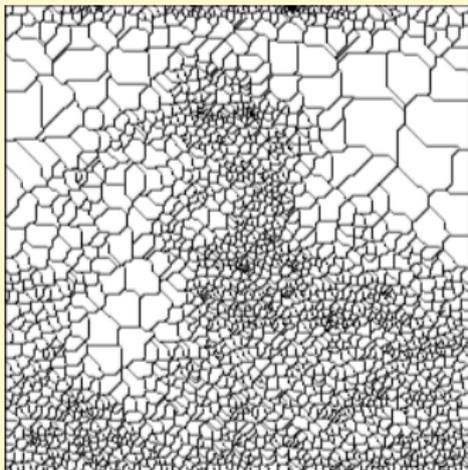


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

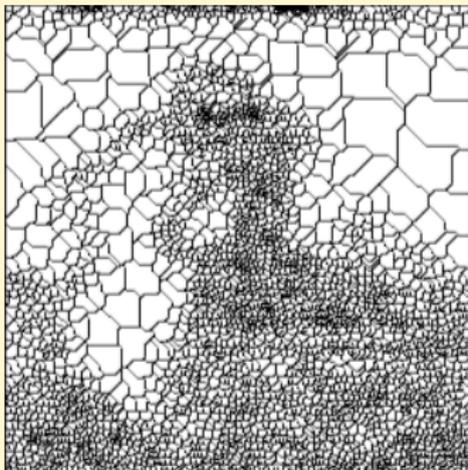


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

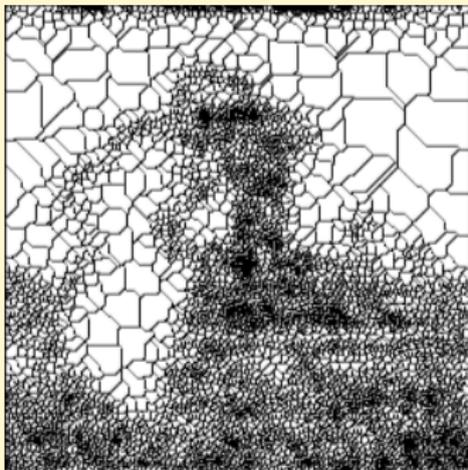


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

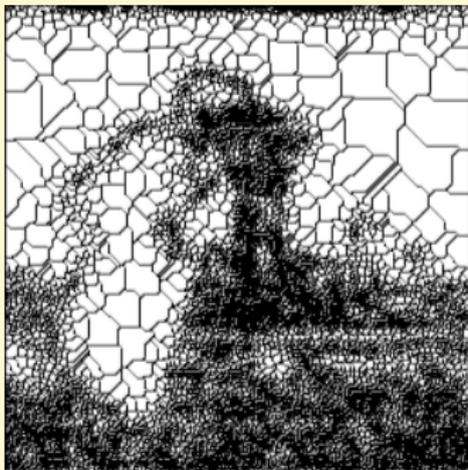


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

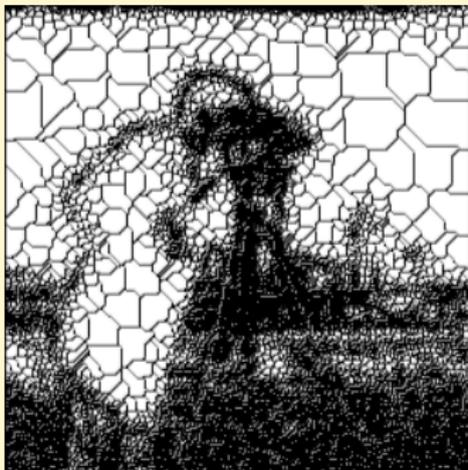


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

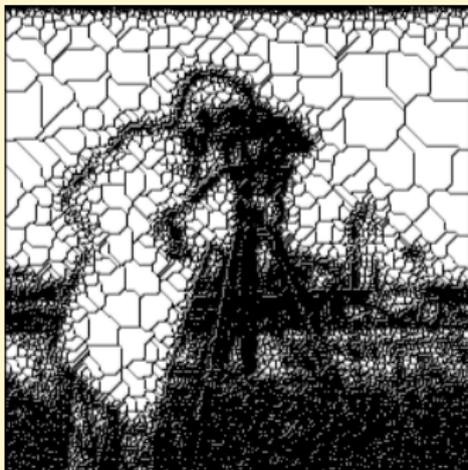


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

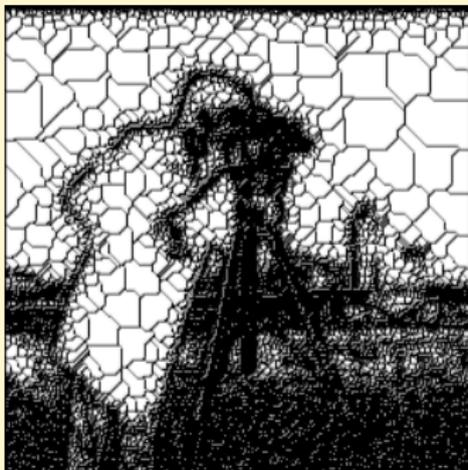


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, split

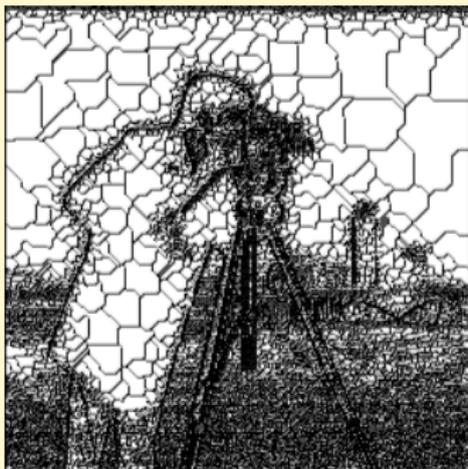


- split
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil : 40



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

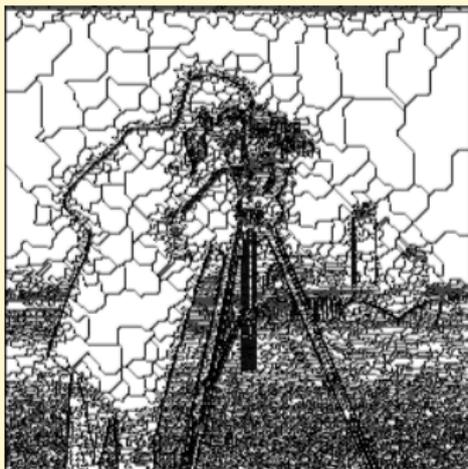


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

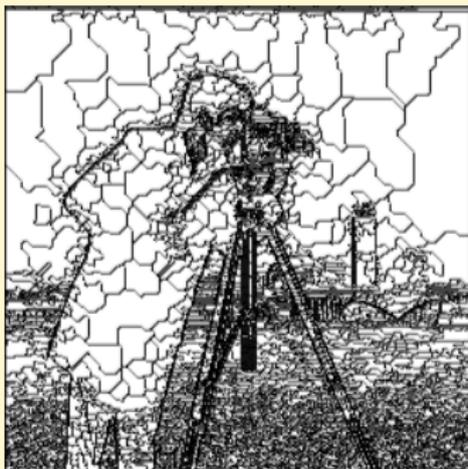
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

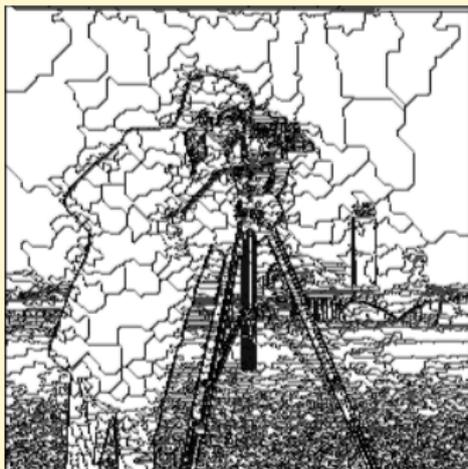
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

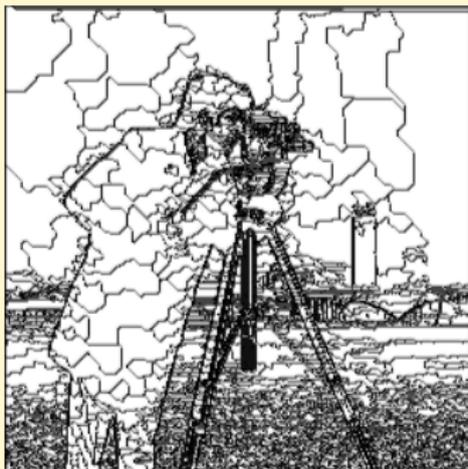
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

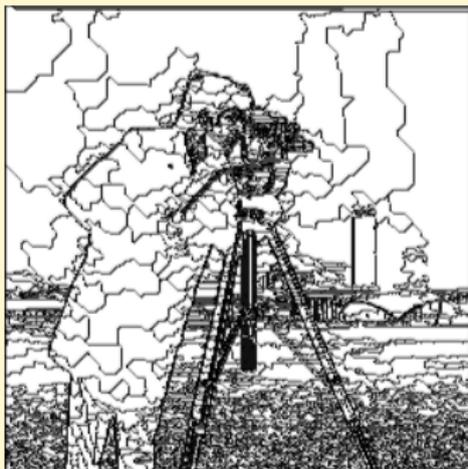
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

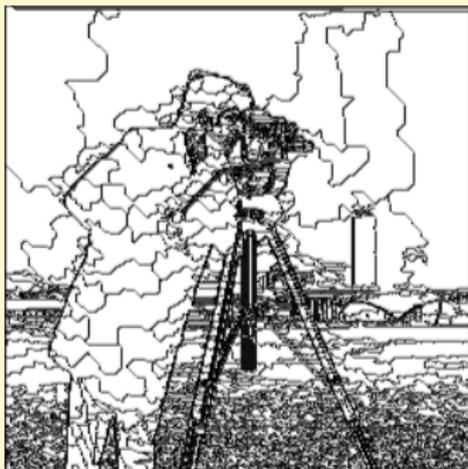
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

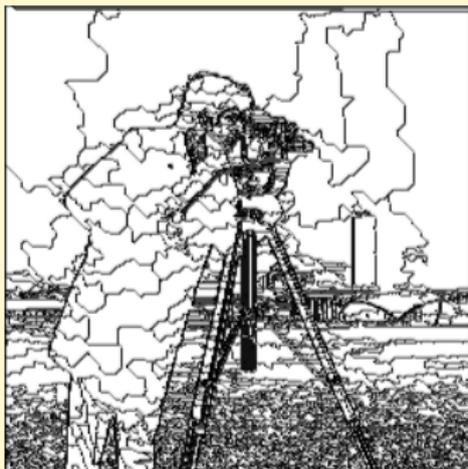
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

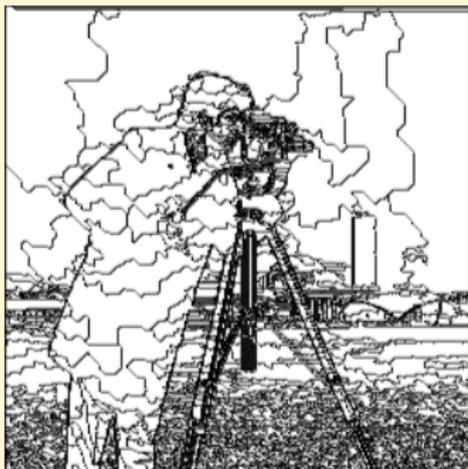


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

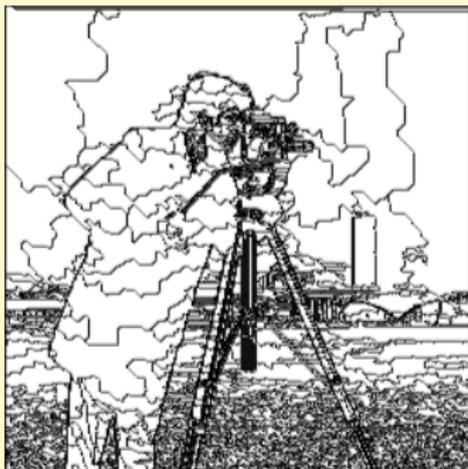


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

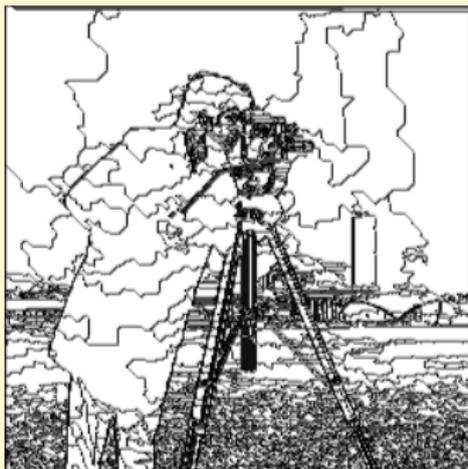
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

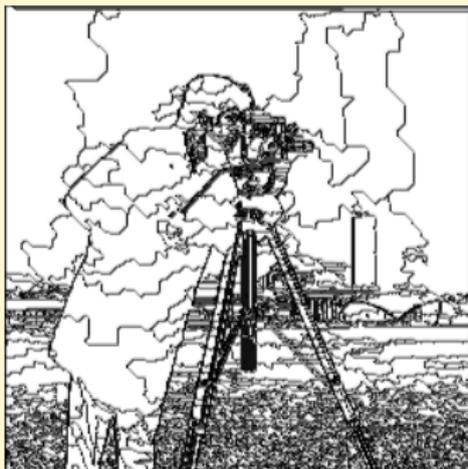


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

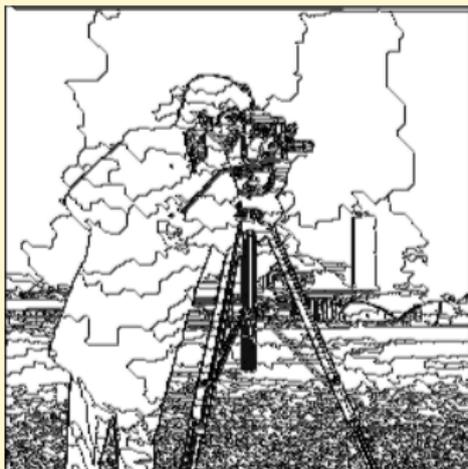


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

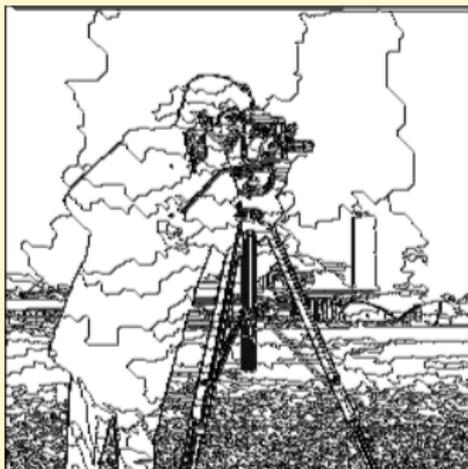


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

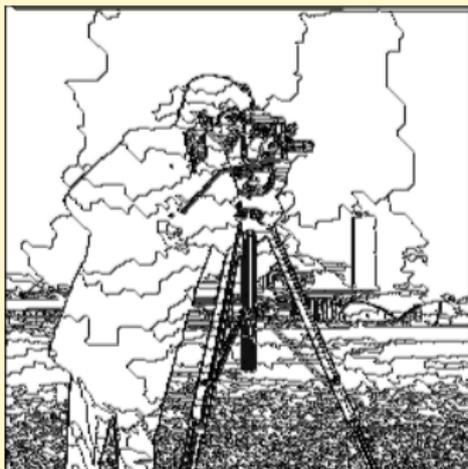


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

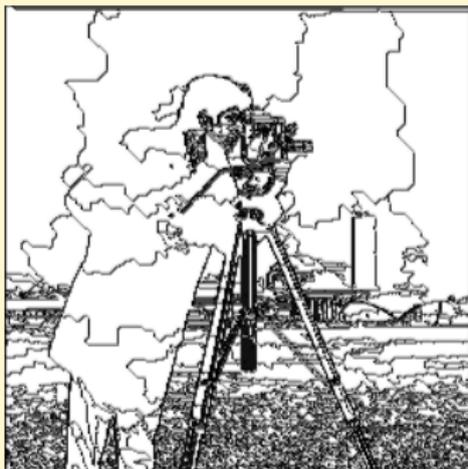
Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

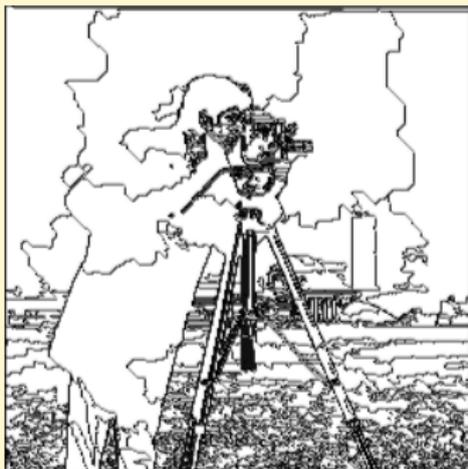


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

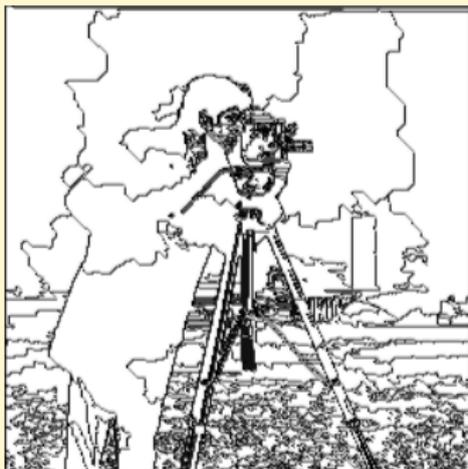


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

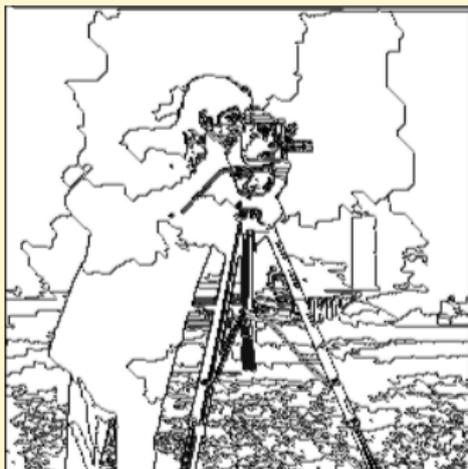


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge

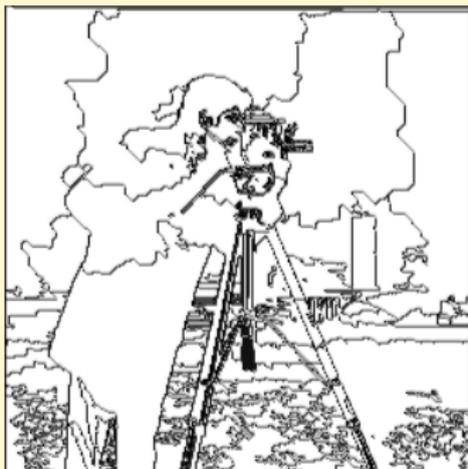


- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, merge



- merge
 - critère d'homogénéité : variance
 - seuil meilleure fusion deux à deux : 40
 - seuil fusion de plus de deux régions : 60
 - seuil absorption des petites régions : 60

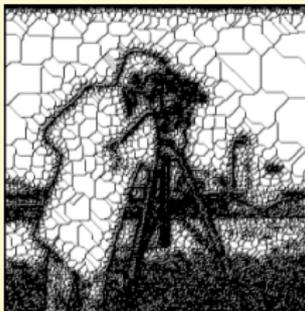


Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, image cameraman, résultats



cameraman



split



merge

critère d'homogénéité : variance

- régions et des traitements irréguliers
- dynamique imprévisible



Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, expressivité

- segmentation de Voronoï
 - 120 lignes C++ avec ANET
 - r -opérateur **minc** pour la construction des régions de Voronoï
 - construction des régions de Voronoï à partir de graines :

```
void VoronoiRegions(PvarInt& piRacines, Subnet& snMesh, Subnet& snRegions)
{
    PvarInt piRacAddress(0), iDist, iRegions;
    Subnet mgSups;
    // calcul de la transformée en distance
    iDist.MincDirectAssoc(snMesh, piRacines);
    // connexion des pixels à leur(s) graine(s)
    LinkWithLowers(mgSups, iDist, iDist);
    mgSups.Mask(Torus); // pour avoir un Subnet non torique
    // diffusion de l'indice de la graine qui a le plus grand indice
    WHERE(piRacines == 0)
        piRacAddress.SelfAddress();
    ENDWHERE;
    iRegions.MaxDirectAssoc(mgSups, piRacAddress);
    // connection des pixels attachés à la même racine
    LinkWithEquals(snRegion, iRegions, iRegions);
    snRegion.Mask(Torus); // pour avoir un Subnet non torique
}
```

Utilisation d'ANET

Segmentation de Voronoï, accélération



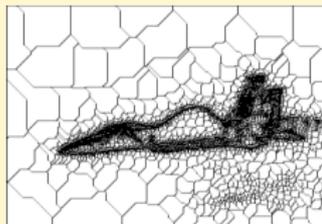
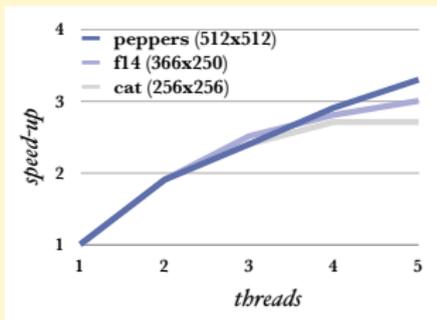
cat



peppers



f14



f14 split

- Sun Fire 880, 8 UltraSparc III à 750 MHz
e.g., 12s \rightsquigarrow 3,5s
- très bonne accélération vue l'irrégularité imprévisible
- faible variation de l'accélération d'une image à l'autre



Calcul parallèle

Conclusion et positionnement

- Bibliothèque ANET
 - programmation data-parallèle, C++
 - gestion de contextes
 - graphe des relations inter-pixels [GBR]
 - hiérarchie plan pixel / plan région [Nacken94]
 - primitives de calcul sur les graphes instanciées par des *r*-opérateurs
- \rightsquigarrow **expressivité**
cf. segmentation de Voronoï
- Parallélisation
 - irrégularité des formes et des traitements
 - **forte dynamique, imprévisible**
 - *r*-opérateurs \rightsquigarrow parallélisation régulière sans **contrôle** ni pré-traitement
- \rightsquigarrow **accélération**
multi-processeurs à mémoire partagée



Calcul parallèle

Conclusion et positionnement

- Bibliothèque ANET \rightsquigarrow expressivité
- Parallélisation \rightsquigarrow accélération
- Positionnement
 - [Jamieson92, Moore97, Seinstra04]
 - équilibre expressivité \leftrightarrow performances
 - notion subjective de l'expressivité
 - prise en main ?

4 Calcul réparti

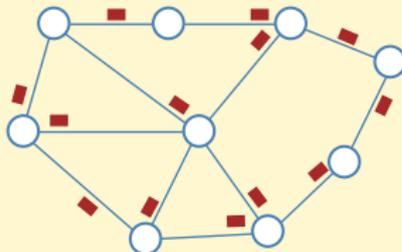
Tolérance aux défaillances

Auto-stabilisation et r -opérateurs

Algorithmique répartie

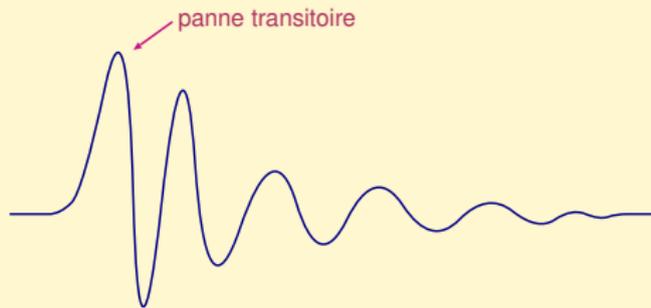
Application

Conclusion et positionnement



- Panne transitoire
 - modification d'une donnée
registres, RAM, messages
 - ROM et code inaltérables
code en ROM ou rechargé régulièrement

- Panne transitoire
- Auto-stabilisation [Dijkstra74, Schneider93, Dolev00]
 - si les pannes cessent, le système réparti converge vers
 - le bon résultat tâche statique
 - le bon comportement tâche dynamique
 - initialisation quelconque



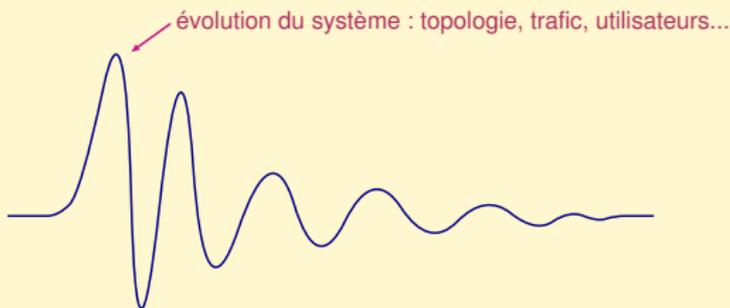
- Panne transitoire
- Auto-stabilisation [Dijkstra74, Schneider93, Dolev00]
- Intérêt
 - une panne transitoire peut conduire un système dans un état arbitraire [Jayaram96]
 - systèmes redondants
 - résultat d'impossibilité du consensus en environnement asynchrone [Fischer86]
 - détecteurs de défaillance [Chandra96]
 - auto-stabilisation

Tolérance aux défaillances

- Panne transitoire
- Auto-stabilisation [Dijkstra74, Schneider93, Dolev00]
- Intérêt
 - une panne transitoire peut conduire un système dans un état arbitraire [Jayaram96]
 - systèmes redondants
 - résultat d'impossibilité du consensus en environnement asynchrone [Fischer86]
 - détecteurs de défaillance [Chandra96]
 - auto-stabilisation
 - interconnexion des systèmes
 - ↪ augmentation de la probabilité d'une panne
 - **informatique mobile** :
 - ↪ pannes transitoires plus nombreuses
e.g., perte de connexion, défaillance de batterie...
interconnexions...

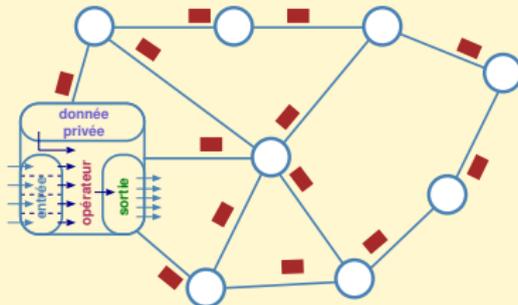
Tolérance aux défaillances

- Panne transitoire
- Auto-stabilisation [Dijkstra74, Schneider93, Dolev00]
- Intérêt
- Applications pour la dynamique des réseaux
 - dynamique / mobilité \rightsquigarrow panne transitoire
 - auto-stabilisation \rightsquigarrow adaptabilité
 - convergence vs. dynamique



Auto-stabilisation et opérateurs

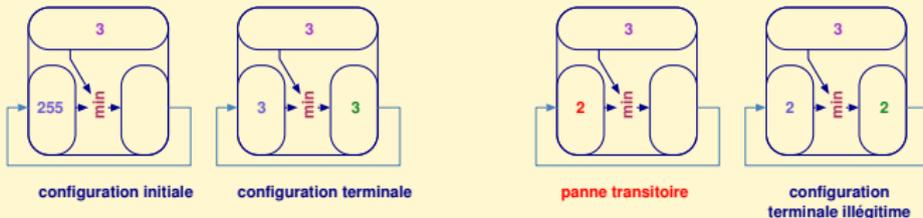
- algorithme local \equiv opérateur



- *s*-opérateurs \rightsquigarrow terminaison
waves algorithms [Tel91]

Auto-stabilisation et opérateurs

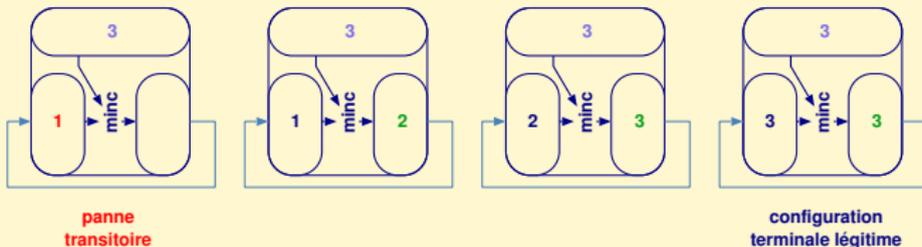
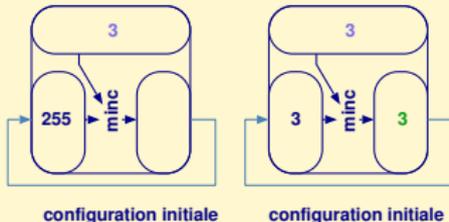
- algorithme local \equiv opérateur
- s -opérateurs \rightsquigarrow terminaison
- s -opérateurs :
ne supportent pas les pannes transitoires



Auto-stabilisation et opérateurs

- algorithme local \equiv opérateur
- *s*-opérateurs \rightsquigarrow terminaison
- *s*-opérateurs :
ne supportent pas les pannes transitoires
- *r*-opérateurs :
supportent les pannes transitoires

$$\text{minc}(x, y) = \min(x, y + 1)$$



Auto-stabilisation et r -opérateurs

- idempotence : $\forall x \in \mathbb{S}, \quad x \triangleleft x = x \rightsquigarrow x \preceq_{\triangleleft} r(x)$
- **stricte-idempotence** : $x \prec_{\triangleleft} r(x)$
- r -opérateurs strictement idempotents \rightsquigarrow
auto-stabilisation

relation d'ordre de $(\mathbb{S}, \triangleleft) \leftrightarrow$ type d'atomicité

	communications par registres		communications par passage de messages
	atomicité composite	atomicité lecture-écriture	atomicité lecture-écriture
r -demi-groupe strictement idempotent	partiellement ordonné	totalement ordonné	totalement ordonné

- passage de messages non fiable



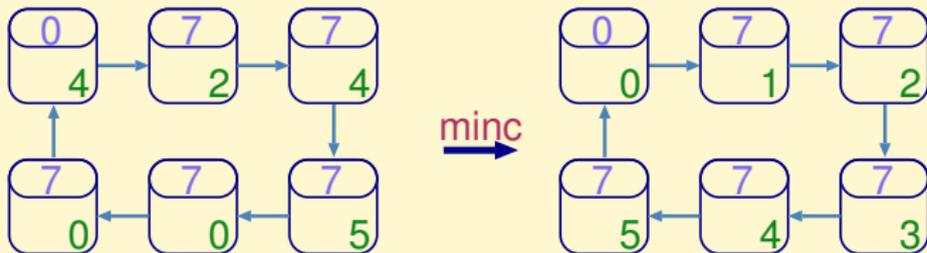
Auto-stabilisation et r -opérateurs

	communications par registres		communications par passage de messages
	atomicité composite	atomicité lecture-écriture	atomicité lecture-écriture
r -demi-groupe strictement idempotent	partiellement ordonné	totalemment ordonné	totalemment ordonné

- preuve en atomicité lecture-écriture :
preuves par récurrences successives
- preuve d'atomicité composite :
 - algèbre de chemins généralisée [Minoux76]
 r -opérateurs \rightsquigarrow modélisation matricielle
 - itérations asynchrones [Üresin90]
- preuves d'auto-stabilisation longues [Gouda95]
- **r -opérateurs :**
 - preuve générique
valable pour tout r -opérateur strict. idempotent
 - conditions locales uniquement

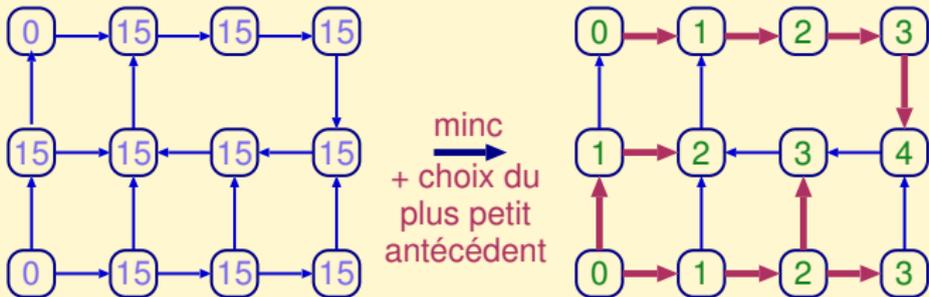


- Calcul de distances
 - $\text{minc}(x, y) = \min(x, y + 1)$



Algorithmique répartie (1)

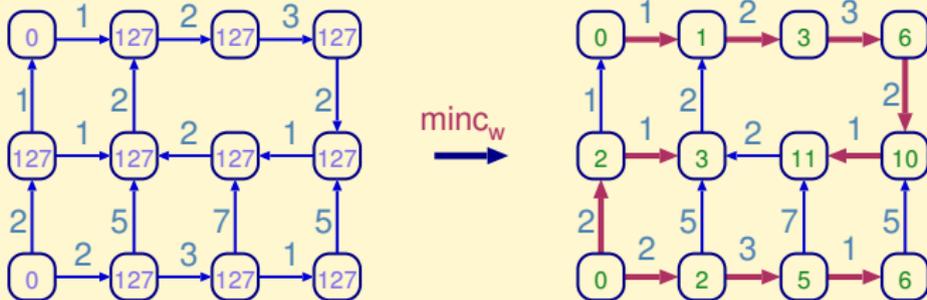
- Calcul de distances
- Forêt des plus courts chemins



Algorithmique répartie (2)

• *Single / Multiple source shortest path*

- poids additif sur les arcs $w_{u,v}$
- $\text{minc}_w(x_0, \dots, x_n) = \min(x_0, r(x_1), \dots, r(x_n))$
- $r_i(x) = x + w_{u_i,v}$ avec u_i antécédent de v



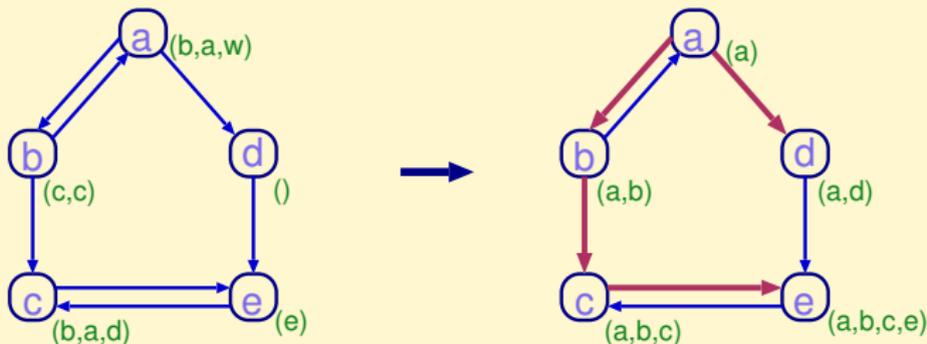
- *Single / Multiple source shortest path*
- Chemins les plus fiables
 - critère multiplicatif $\pi_{u,v} \in [0, 1]$
sur chaque arête (u, v)
 - $\text{maxmul}_\pi(x_0, \dots, x_n) = \max(x_0, r(x_1), \dots, r(x_n))$
 - $r_i(x) = x \times \pi_{u_i, v}$ avec u_i antécédent de v

Algorithmique répartie (2)

- *Single / Multiple source shortest path*
- Chemins les plus fiables
- Chemins des meilleures capacités
 - capacité d'un chemin =
capacité minimale le long d'un chemin
 - $\max \min_{\kappa} (x_0, \dots, x_n) = \max (x_0, r_1(x_1), \dots, r_n(x_n))$
 - $r_j(x) = \min (x, \kappa_{u_j, v})$ avec u_j antécédent de v

Algorithmique répartie (3)

- Arborescence en profondeur
 - \oplus : ordre lexicographique sur l'ens. des sites
e.g., $(a, b, d) \oplus (a, b, c, d) = (a, b, c, d)$
 - $r : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$, $r(l) = l \cup \{v\}$ sur le site v
 - \triangleleft défini par $l \triangleleft l' = l \oplus r(l')$ est
strictement-idempotent



Algorithmique répartie (3)

- Arborescence en profondeur
- Liste ordonnée des antécédents

- \oplus : fusion terme à terme
avec suppression des doubles

$$\begin{aligned} \text{ex. : } & (\{d\}, \{b\}, \{a, c\}) \oplus (\{c\}, \{a, e\}, \{b\}) = \\ & (\{d, c\}, \{b, a, e\}, \{\cancel{a}, \cancel{c}, \cancel{b}\}) = \\ & (\{d, c\}, \{b, a, e\}) \end{aligned}$$

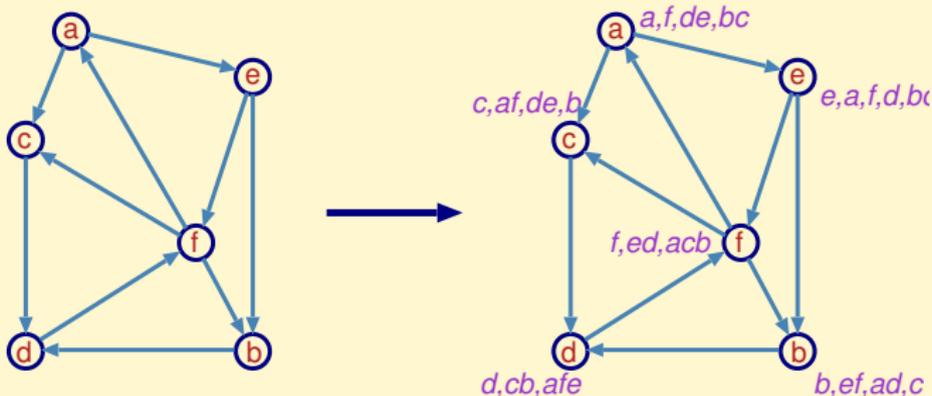
$$(\{a\}, \{b, c\}, \emptyset, \{d\}) = (\{a\}, \{b, c\})$$

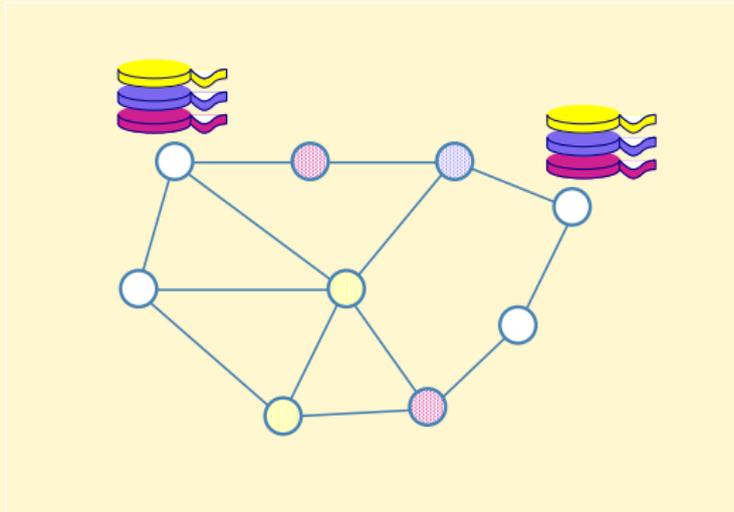
- $r(\{S_1, \dots, S_k\}) = \{\emptyset, S_1, \dots, S_k\}$
- \triangleleft défini par $I \triangleleft I' = I \oplus r(I')$
 r -opérateur strictement idempotent



Algorithmique répartie (3)

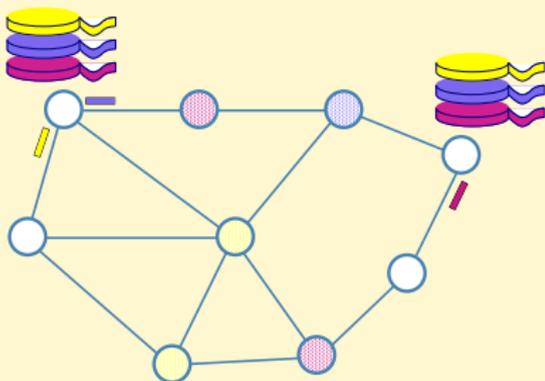
- Arborescence en profondeur
- Liste ordonnée des antécédents





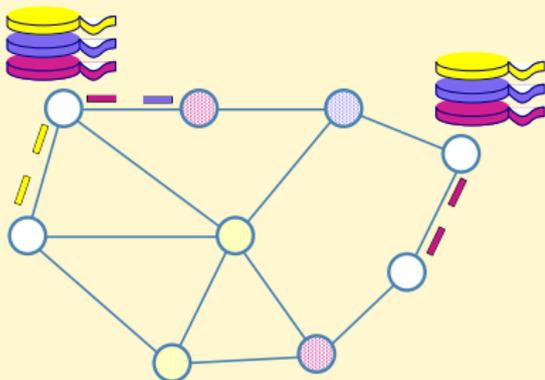
- distribution de contenu depuis des sources





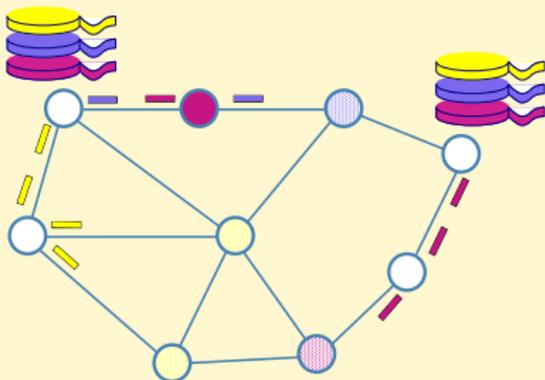
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





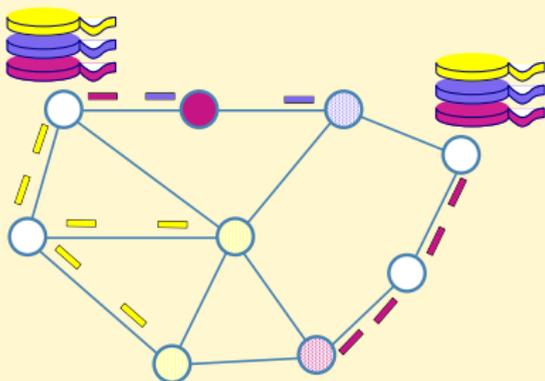
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





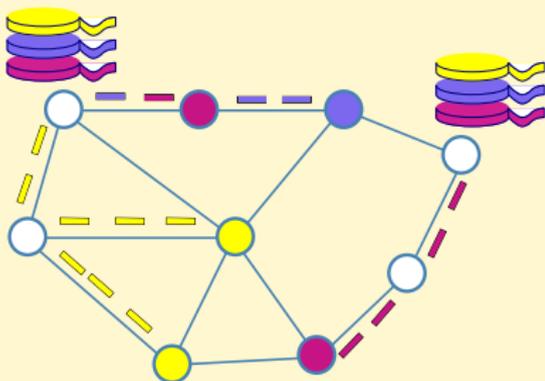
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





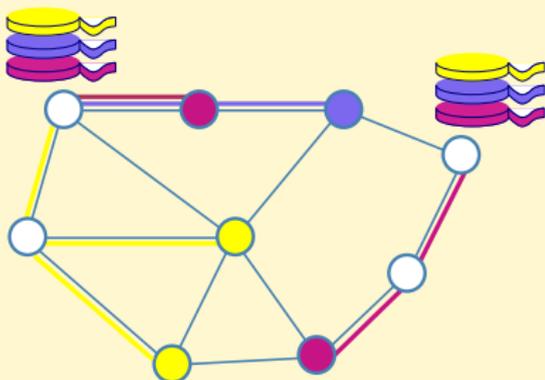
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





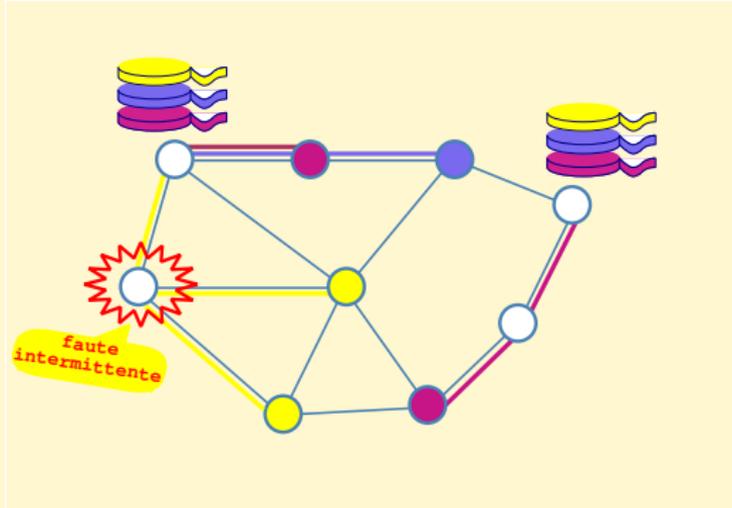
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





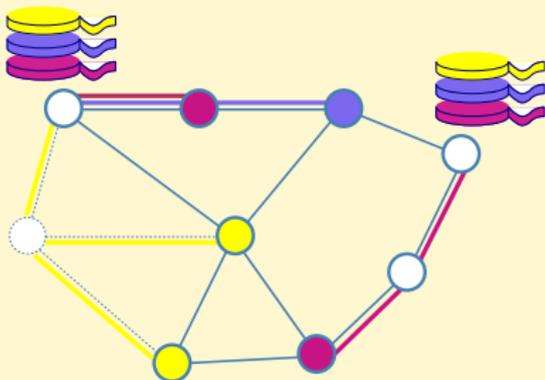
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution





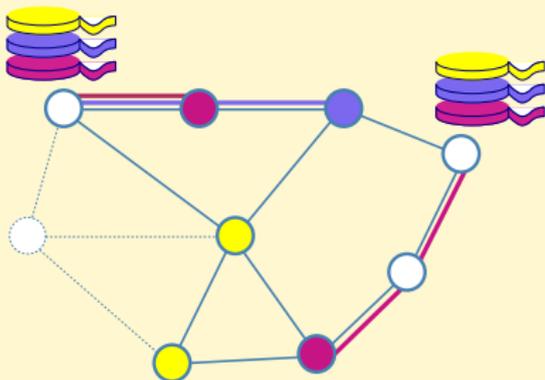
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site





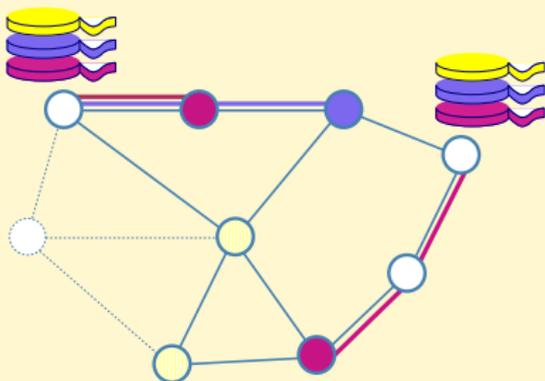
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site





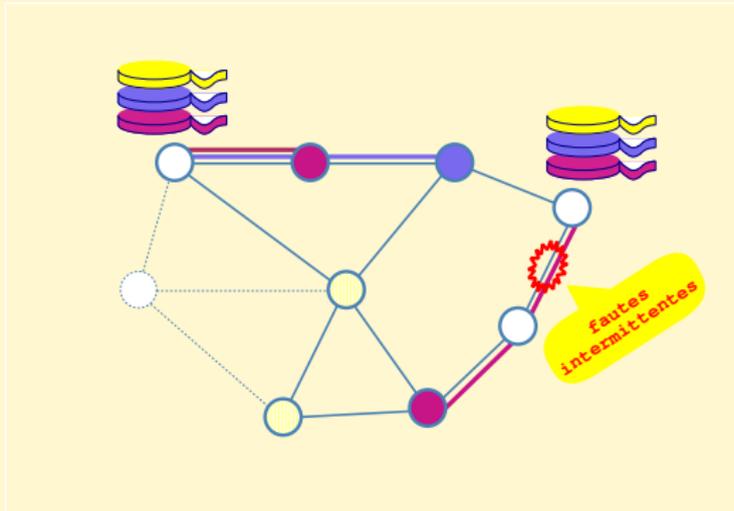
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site





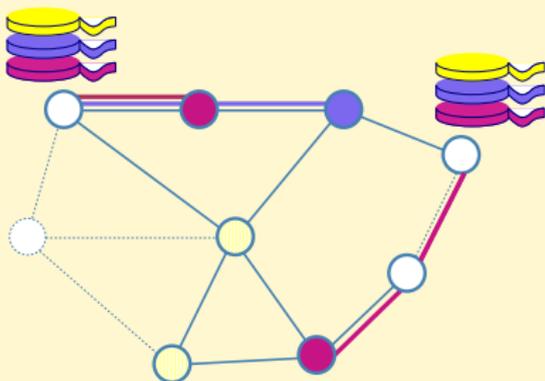
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site





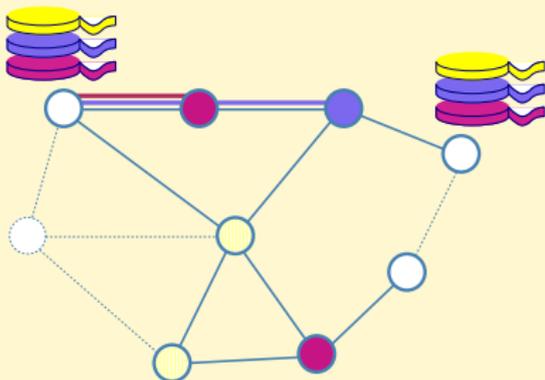
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien





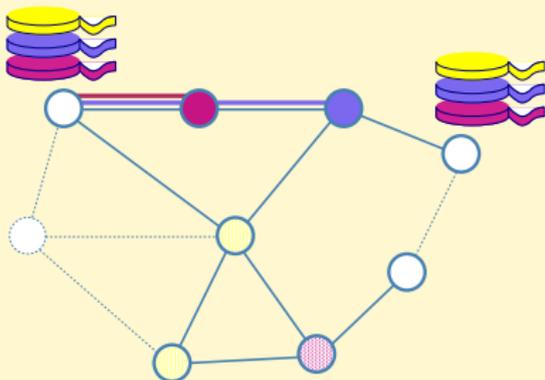
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien





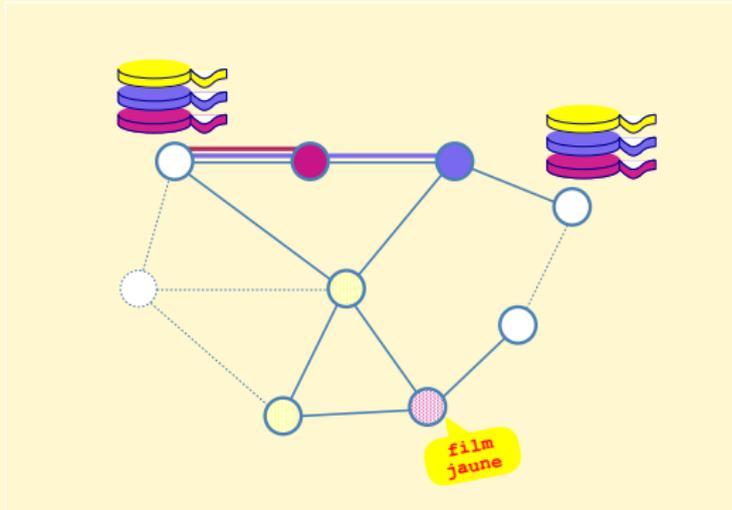
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien





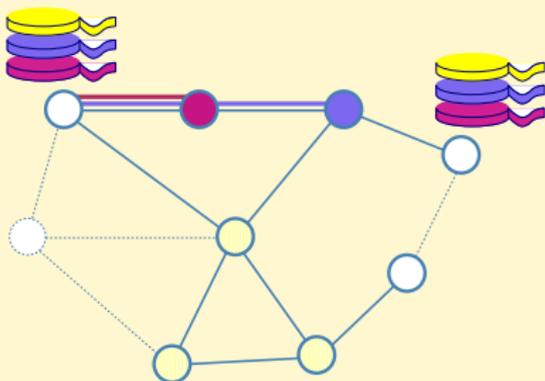
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien





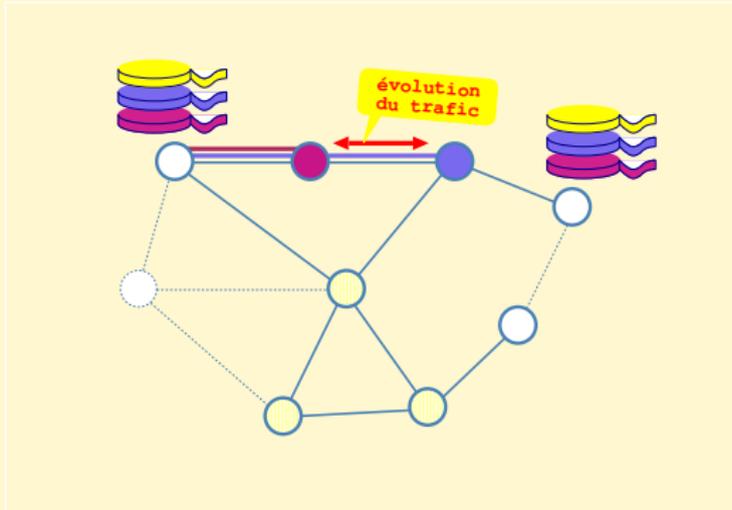
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien
 - changement du choix d'un utilisateur



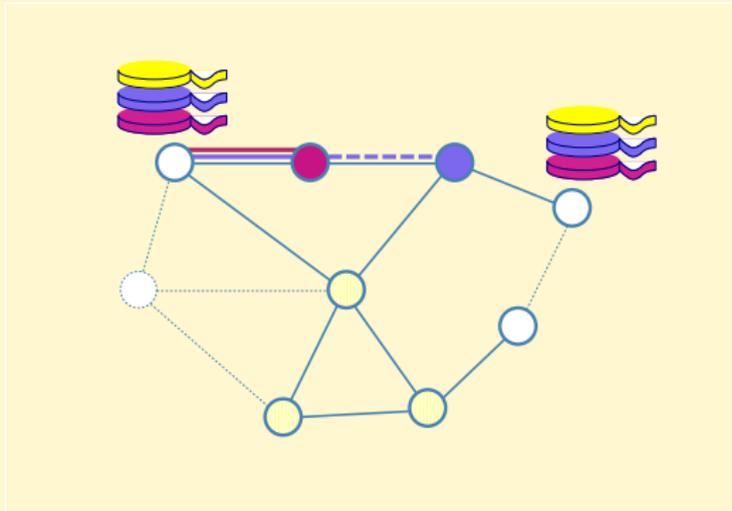


- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien
 - changement du choix d'un utilisateur



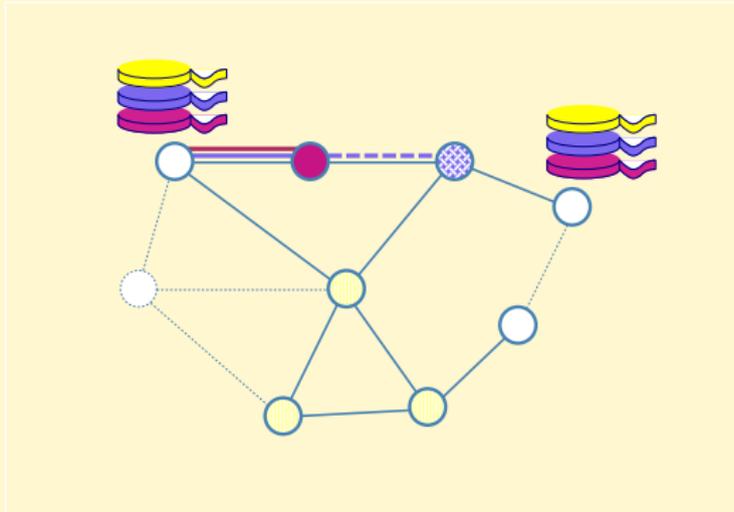


- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
 - faute sur un site
 - fautes sur un lien
 - changement du choix d'un utilisateur
 - évolution du trafic



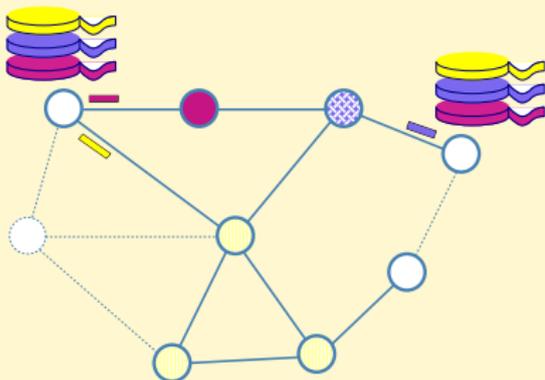
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





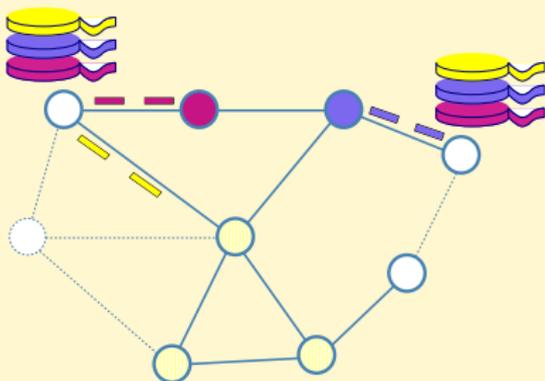
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





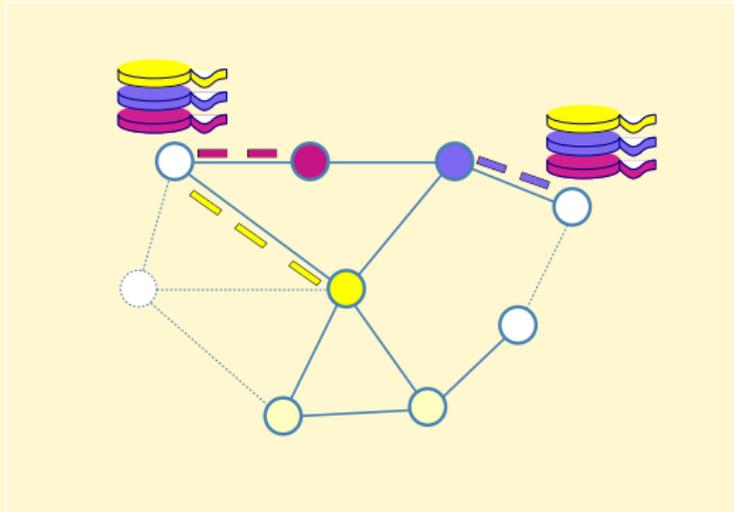
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





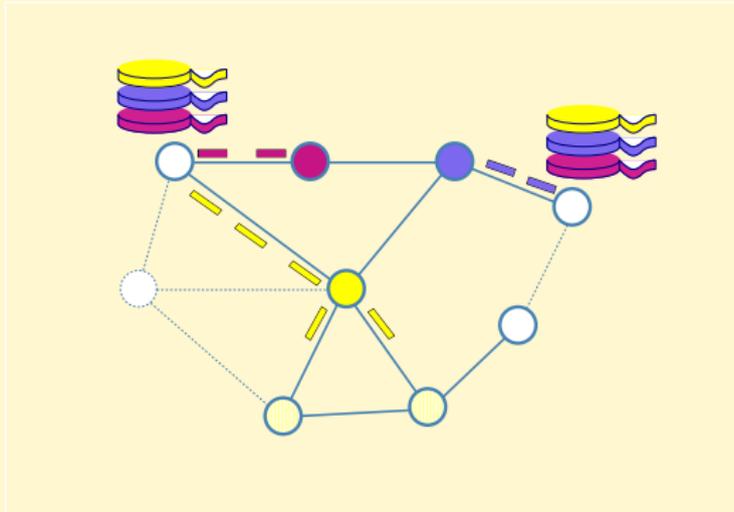
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





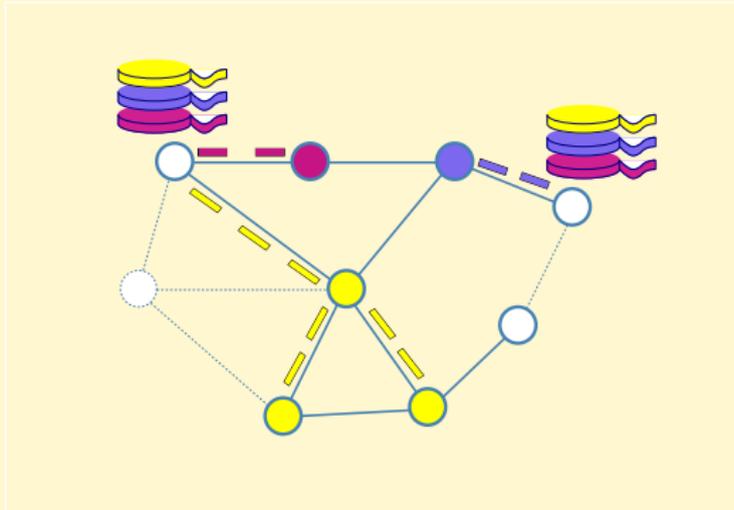
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





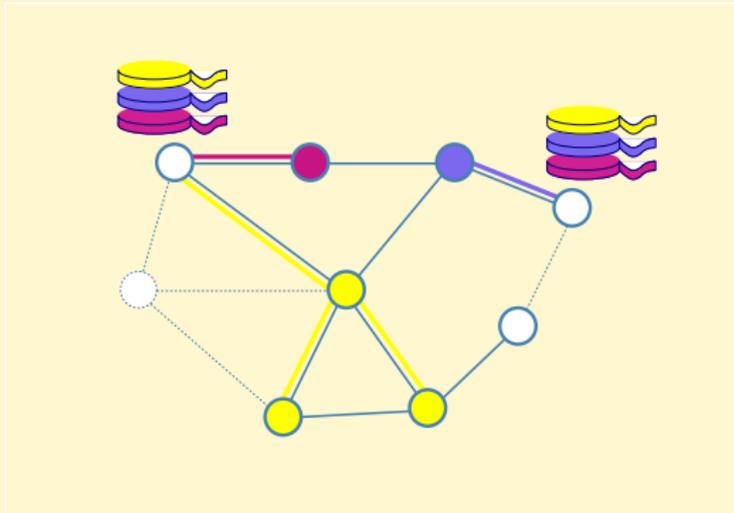
- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt





- distribution de contenu depuis des sources
- construction d'une forêt de distribution
- remise en cause de la forêt
- reconstruction de la forêt



Application

Multi-distribution multi-sources adaptative ; réalisation

- Initialisation
 - un bit en ROM pour distinguer les sources
 - opérateurs dans un r -demi-groupe strictement idempotent totalement ordonné



- Initialisation
 - Construction de la forêt
 - chemins les plus courts :
 $\text{minc}(x, y) = \min(x, y + 1)$
 - chemins pondérés les plus courts : SSSP/MSSP
 $\text{minc}_w(x_0, \dots, x_n) =$
 $\min(x_0, x_1 + w_1, \dots, x_n + w_n)$
 - chemin les plus fiables :
 $\text{maxmul}_\pi(x_0, \dots, x_n) =$
 $\max(x_0, x_1 \times \pi_1, \dots, x_n \times \pi_n)$
 - chemin de meilleure capacité :
 $\text{maxmin}_\kappa(x_0, \dots, x_n) =$
 $\max(x_0, \min(x_1, \kappa_1), \dots, \min(x_n, \kappa_n))$
 - *etc.*
- ↪ auto-stabilisation en passage
de messages non fiable



Application

Multi-distribution multi-sources adaptative ; réalisation

- Initialisation
- Construction de la forêt
- Gestion des groupes Group membership
 - pour diffuser les films sur les sites concernés
 - un bit par groupe
e.g., jaune 100, bleu 010, rose 001
 - \vee (ou logique) des feuilles vers les racines sur la forêt
 - \vee est un s -opérateur (infimum)
 \rightsquigarrow ne supporte pas les pannes transitoires...



- Initialisation
- Construction de la forêt
- Gestion des groupes Group membership
 - pour diffuser les films sur les sites concernés
 - un bit par groupe
e.g., jaune 100, bleu 010, rose 001
 - \vee (ou logique) des feuilles vers les racines sur la forêt
 - \vee est un s -opérateur (infimum)
 \rightsquigarrow ne supporte pas les pannes transitoires...
 - mais pas de circuit sur la forêt
 \rightsquigarrow auto-stabilisant en passage
de messages non fiable



Application

Multi-distribution multi-sources adaptative ; réalisation

- Initialisation
- Construction de la forêt
- Gestion des groupes Group membership
- Avantages
 - pas besoin d'acquiescement e.g., UDP
 - pas de coût additionnel si absence de panne
 - complexité en temps dans le pire cas :
 $O(|S| + \text{diamètre})$
e.g., critères sur un octet $\rightsquigarrow |S| = 256$



Calcul réparti

Conclusion et positionnement

- Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs



demi-groupe idempotent

terminaison

stricte idempotents \rightsquigarrow auto-stabilisation

relation d'ordre de (S, \triangleleft) \leftrightarrow type d'atomicité



- Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs

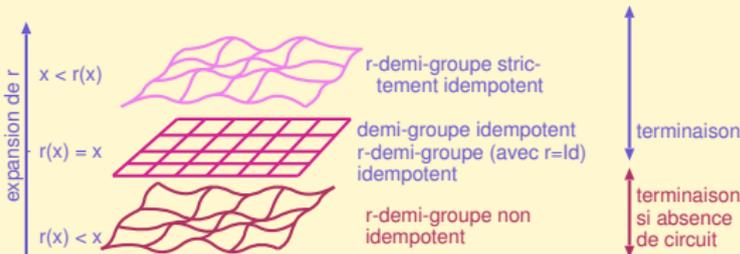


stricte idempotents \rightsquigarrow auto-stabilisation

relation d'ordre de (S, \triangleleft) \leftrightarrow type d'atomicité



• Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs

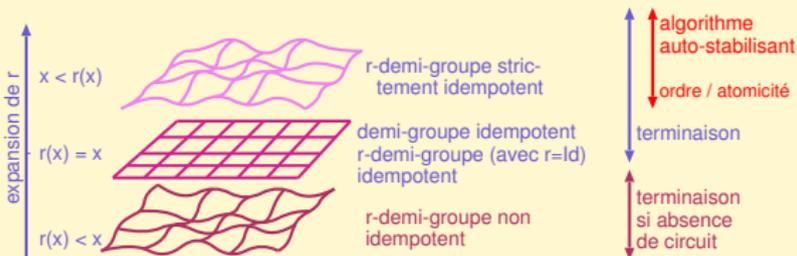


stricte idempotents \rightsquigarrow auto-stabilisation

relation d'ordre de (S, \triangleleft) \leftrightarrow type d'atomicité



• Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs



stricte idempotents \rightsquigarrow auto-stabilisation

relation d'ordre de (S, \triangleleft) \leftrightarrow type d'atomicité



- Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs
- Positionnement
 - solutions pour modèles simples + *transformers*
communications bi-directionnelles,
connaissance du voisinage [Afek93]
 - en environnement sans fil ?
communications asymétriques,
pas de connaissance du voisinage
 - solutions spécifiques en passage de messages
routage, consensus, communication de groupes...
[Cobb01, Delaët02, Dolev04]
 - solutions plus générales
passage de messages, liens FIFO [Afek98]
systèmes d'itérations [Arora93]
métriques maximisables [Gouda98]
lien avec l'automatique [Theel05]



Calcul réparti

Conclusion et positionnement

- Propriétés auto-stabilisantes des r -opérateurs
- Positionnement
- Intérêt des r -opérateurs
 - algorithme générique paramétré tâches convergeant vers un résultat
 - auto-stabilisant sur tout réseau uni- bi-directionnel
 - passage de messages non fiable perte, déséquenceement, duplication

→ propice aux réseaux mobiles dynamiques



Communications

Congestion

PRIMO

Performances

Conclusion

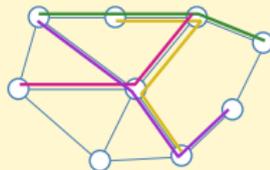
5 Communications

Congestion

PRIMO

Performances

Conclusion et positionnement



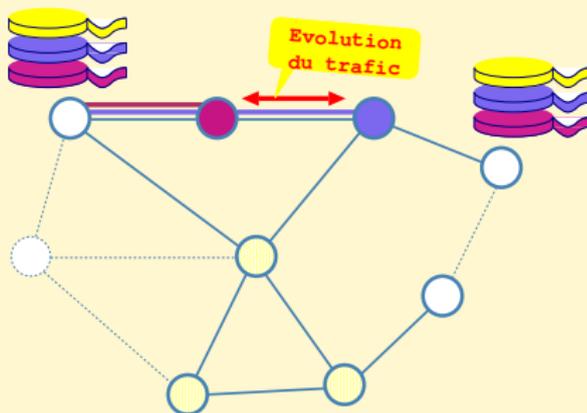
Communications

Congestion

PRIMO

Performances

Conclusion



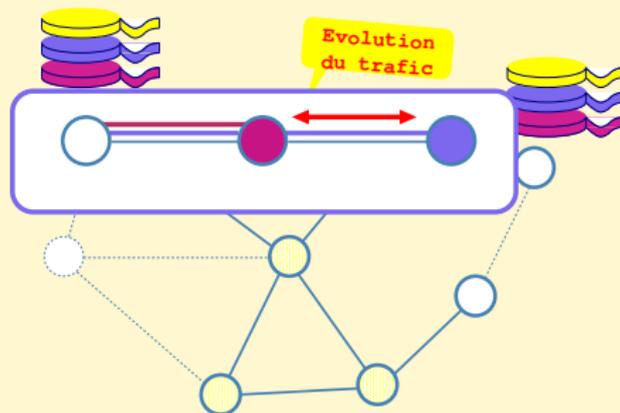
Communications

Congestion

PRIMO

Performances

Conclusion



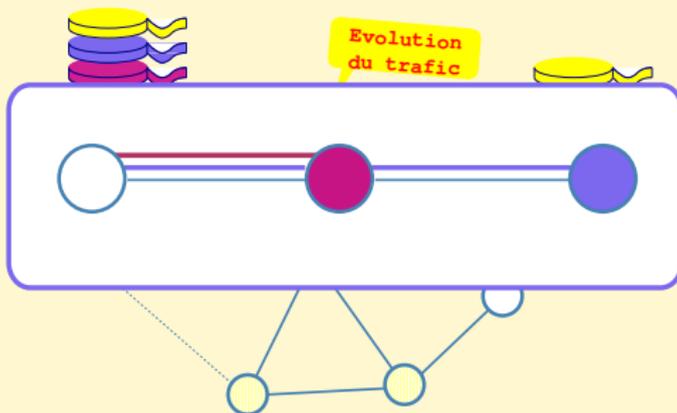
Communications

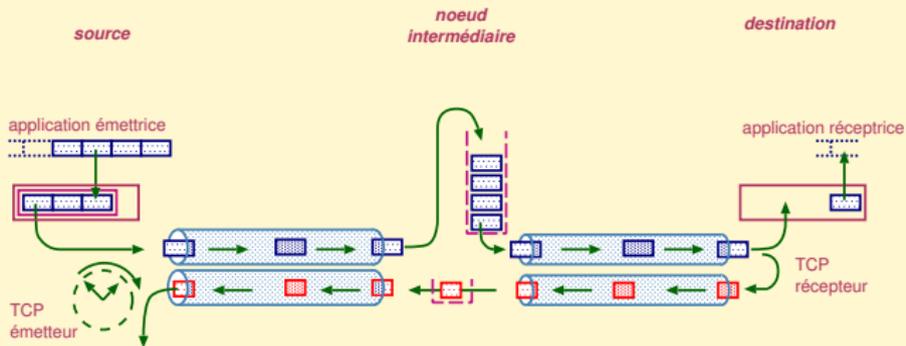
Congestion

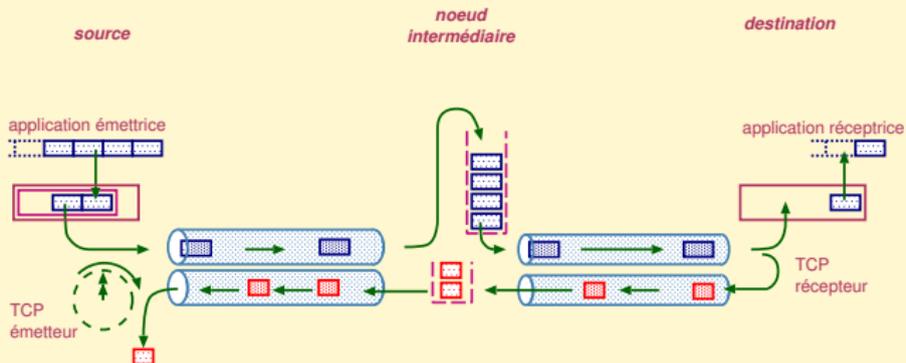
PRIMO

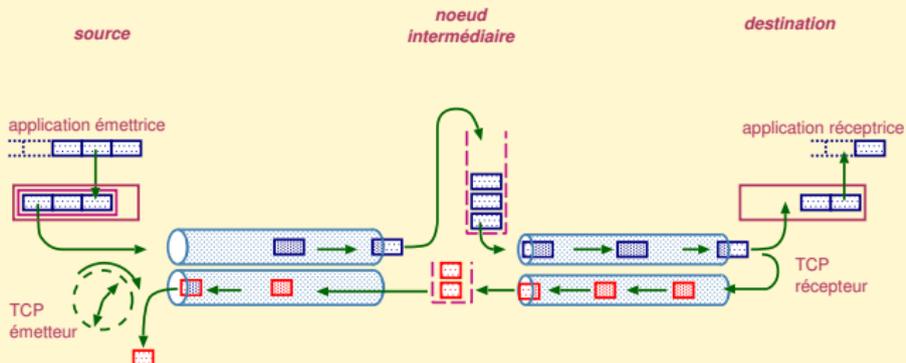
Performances

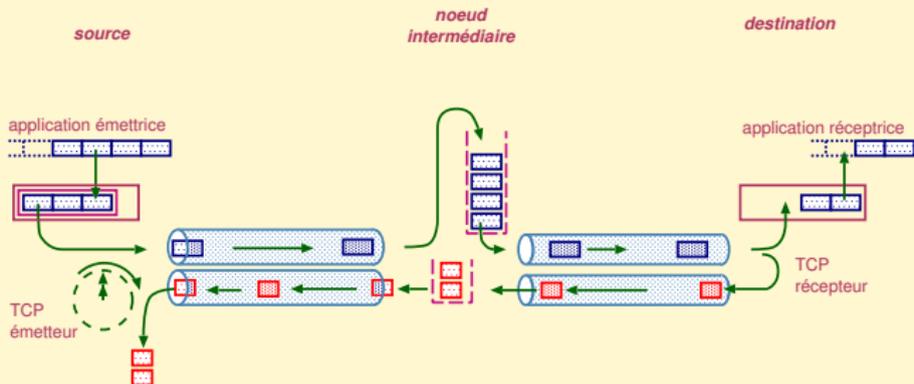
Conclusion

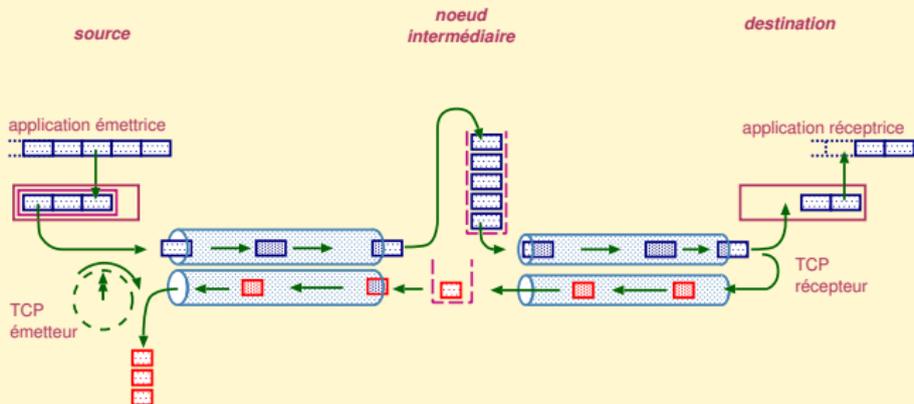


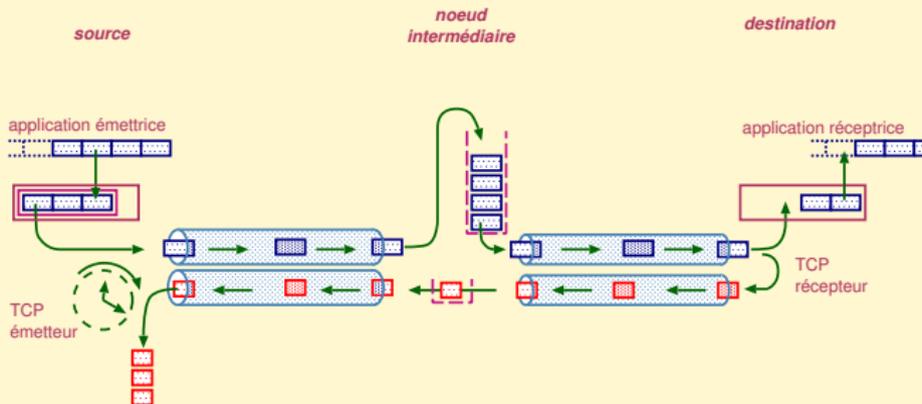


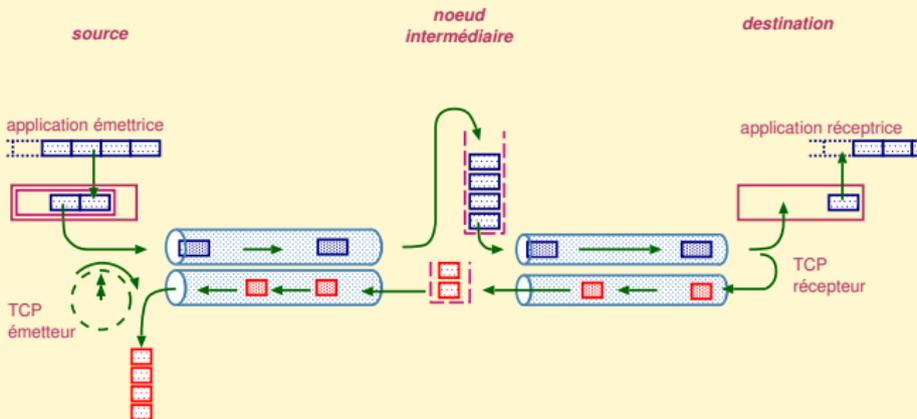


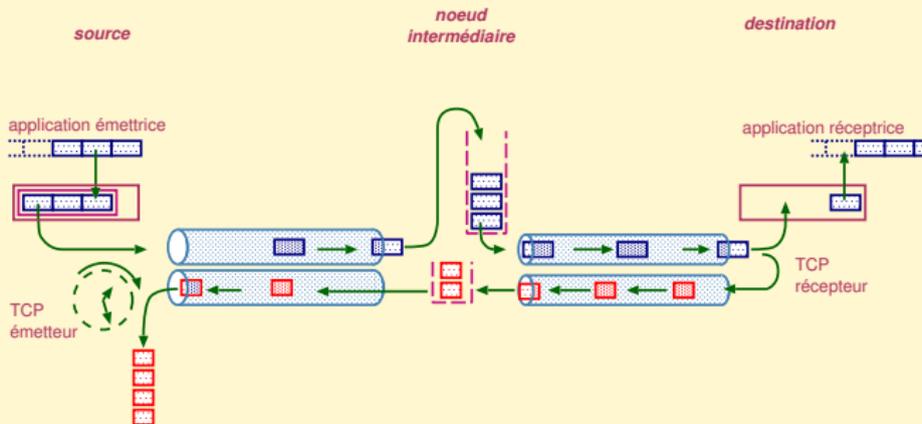


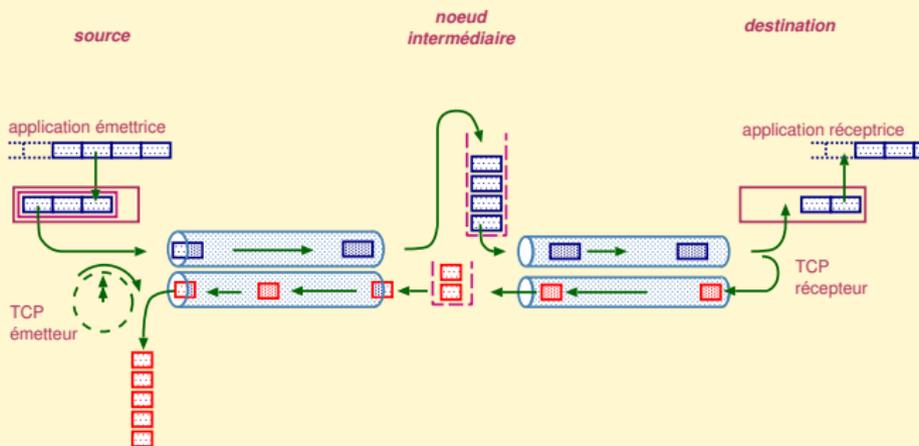


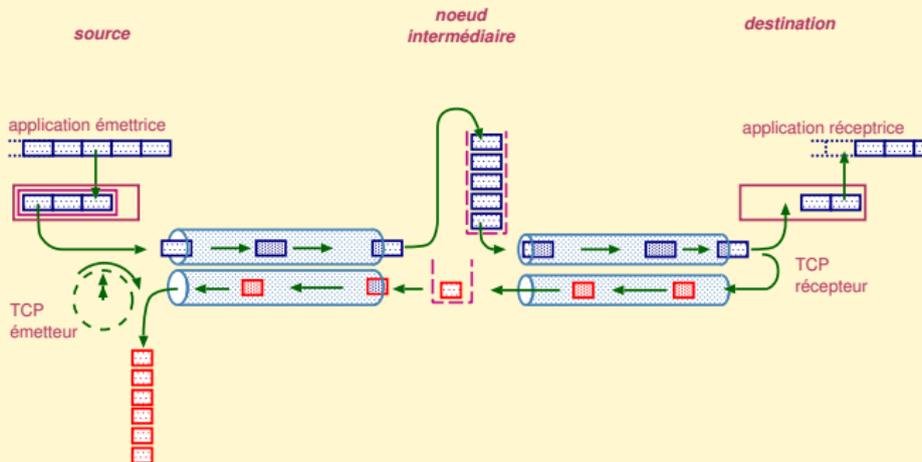


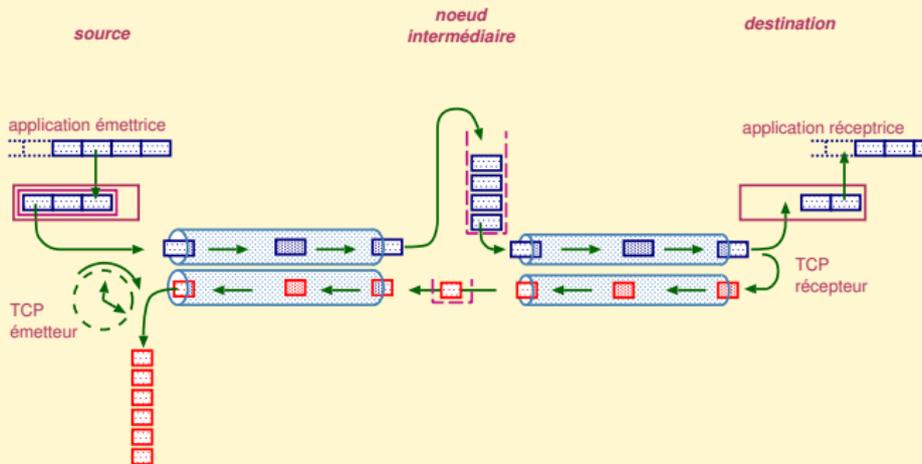


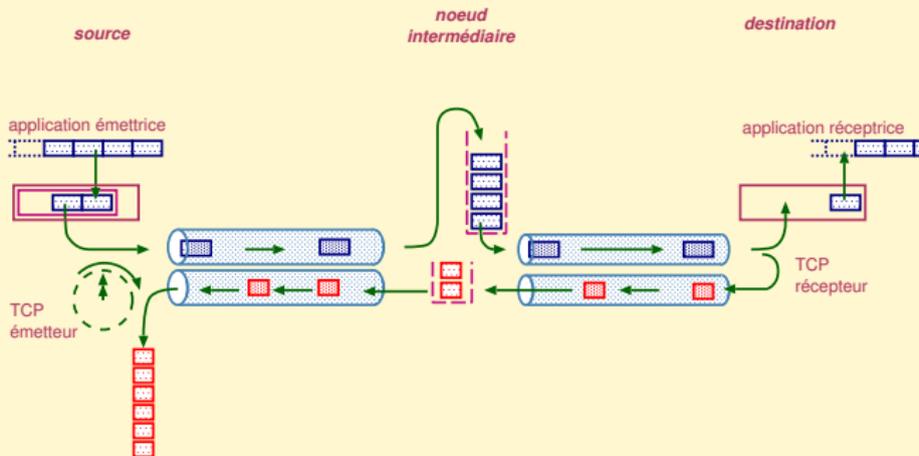


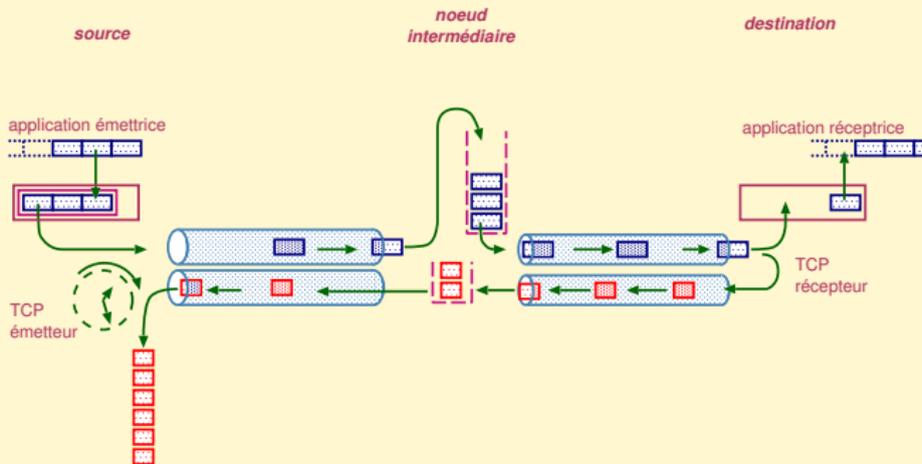


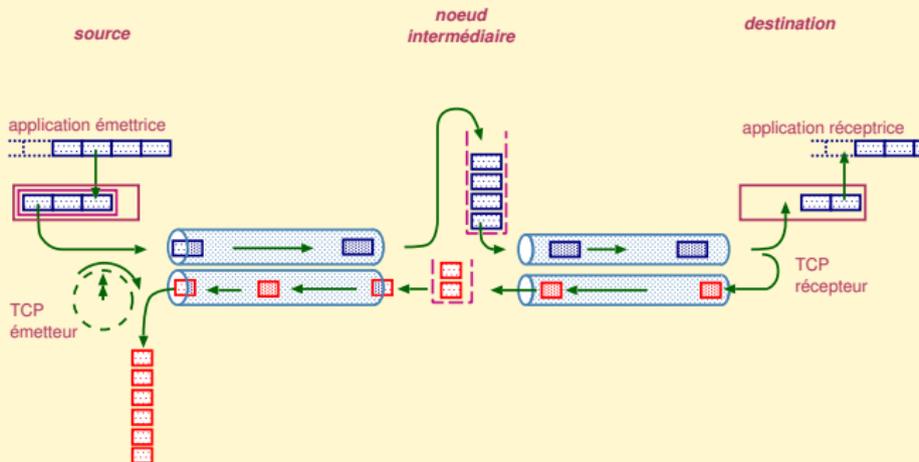


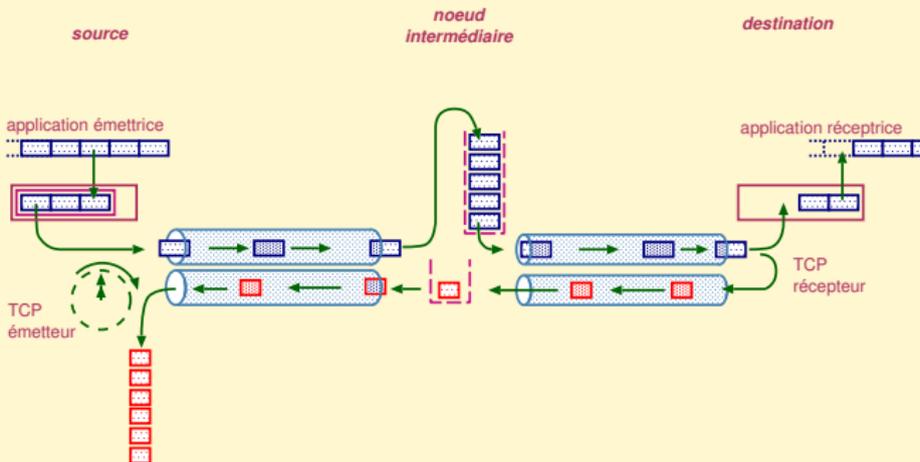


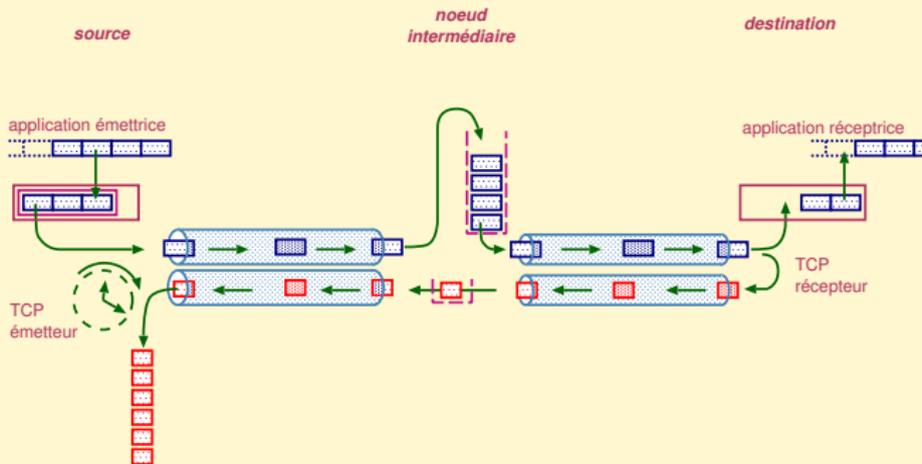


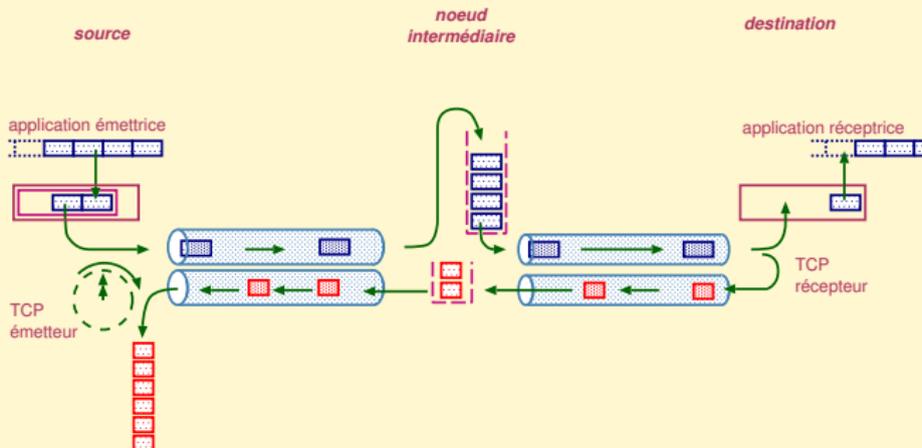


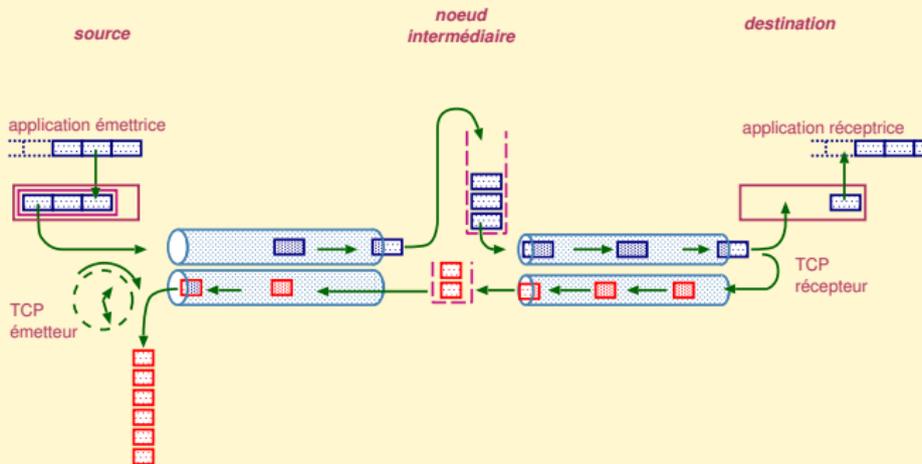


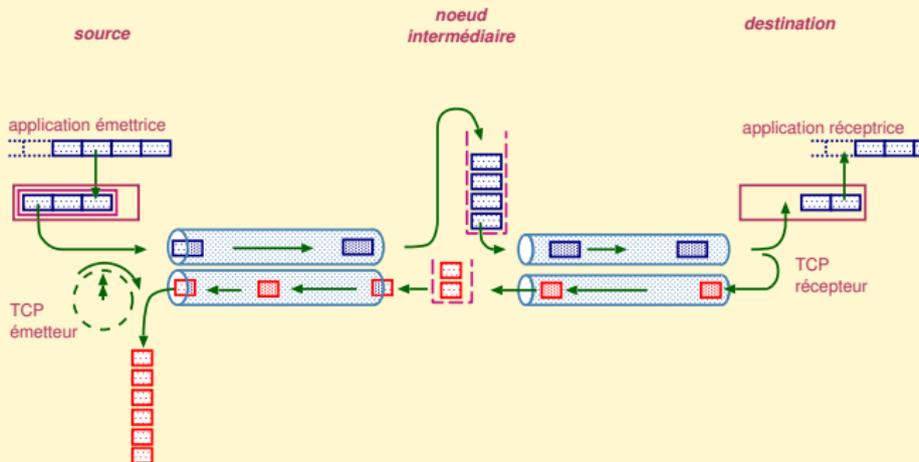












- commutation de paquets
- embouteillage \rightsquigarrow congestion



- Congestion
 - perte de paquets
 - ~> mauvaise utilisation des ressources
 - ~> mauvaise réception par l'utilisateur
 - contrôle à la source
 - meilleur routage
 - meilleure gestion des files d'attente
 - contrôle de bout en bout toujours nécessaire
 - demande souvent supérieure à l'offre
 - dynamique des connexions
 - difficilement prévisible



- Congestion
- Taxinomie
 - TCP
 - acquittements, fenêtre de congestion...
 - amélioration de la gestion des acquittements
 - TCP Sack, TCP New Reno, TCP Fack
 - amélioration de la fenêtre
 - TCP Vegas, TCP Westwood, TCP L
 - multimédia ↪ protocoles sans fenêtre
 - TFRC, RAP, LDA+, PASTRA
 - protocoles préventifs
 - action avant la congestion
 - protocoles correctifs
 - action si congestion
 - compatibilité avec TCP (correctif)
 - TCP friendliness*



- Congestion
- Taxinomie
- Analyse
 - dynamique du réseau / des utilisateurs :
 ~> propice aux congestions
 - contraintes fortes de la cohabitation avec TCP
 - idées pertinentes dans travaux distincts
 - utilisation de modélisations en continue

- Congestion
- Taxinomie
- Analyse
 - dynamique du réseau / des utilisateurs :
 ~> propice aux congestions
 - contraintes fortes de la cohabitation avec TCP
 - idées pertinentes dans travaux distincts
 - utilisation de modélisations en continue
- **Contribution :** [Chatté04]
 - étude des modélisations en continue [Bollot92]
 - protocole PRIMO sous *matlab* puis sous *network simulator*
 - méthodologie pour l'évaluation des performances

► comportement



- Objectifs

- correcteur préventif
possibilité de le rendre plus agressif
[Hentgartner00]
réseaux dédiés
- débit maximal rapidement atteint
- stabilité en régime permanent
- réaction rapide et adaptée aux perturbations
- équité

- Objectifs
- Principe
 - piloter le débit d'émission avec
 - débit de réception TFRC [Floyd00]
 - délai aller PASTRA [Tobe00]
 - action proportionnelle à $|\text{consigne} - \text{observation}|$
prévention, adaptabilité, équité
 - composante intégrale
stabilité
 - délai aller consigne = délai aller initial,
stabilisation *via* le débit de réception
 - files d'attente vides \rightsquigarrow débit augmenté
découverte de bande passante libérée
 - files d'attente non vides \rightsquigarrow débit diminué
libération ou absence/faible/forte congestion
cf. TCP Vegas [Brakmo95]



○ Objectifs

○ Principe

● Réalisation

- comparaison du FTT passé avec les seuils

4 cas : 

- correction du débit avec le débit de réception
- moyenne avec le débit actuel

Algorithme Primo (t, old_rate, rate, rcv_rate)

new_rate = rate

delta_FTT = tab_delta_FTT[t-delay]

si delta_FTT \geq TH_str alors

▷ *strong congestion case*

new_rate = old_rate - alpha \times (old_rate - (c_str \times rcv_rate))

sinon si delta_FTT \geq TH_mod

▷ *moderate congestion case*

new_rate = old_rate - alpha \times (old_rate - (c_mod \times rcv_rate))

sinon si delta_FTT < TH_rel

▷ *release bandwidth case*

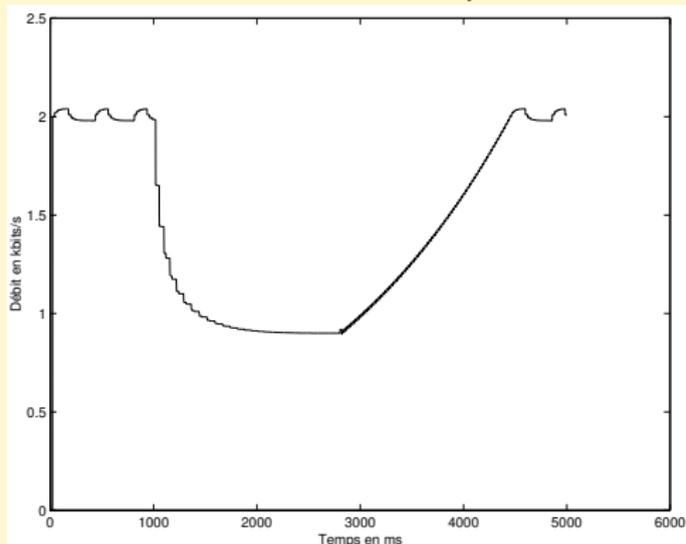
new_rate = old_rate - alpha \times (old_rate - (c_rel \times rcv_rate))

fin si

new_rate = beta \times rate + (1 - beta) \times new_rate

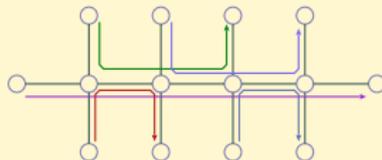
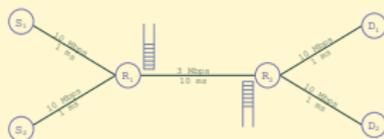


- Objectifs
- Principe
- Réalisation
- Comportement
 - exemple : réaction à une connexion prenant la moitié de la bande passante de $t = 1$ à $t = 3s$



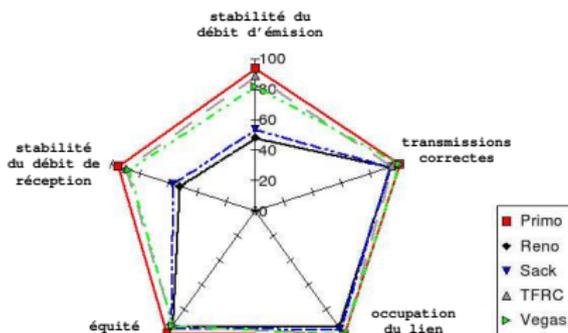
- Besoin d'une méthodologie
 - étude d'un protocole
 - mesures réelles
situation présente, passage à l'échelle ?
 - modèles analytiques
définition d'un modèle proche de la réalité ?
 - simulation
scénarios ?
 - absence de *benchmarks*
 - résultats parfois contradictoires
 - simulations souvent partielles
- vers une méthodologie commune

- Besoin d'une méthodologie
- Méthodologie
 - analyse des simulations dans la littérature
 - 2 topologies

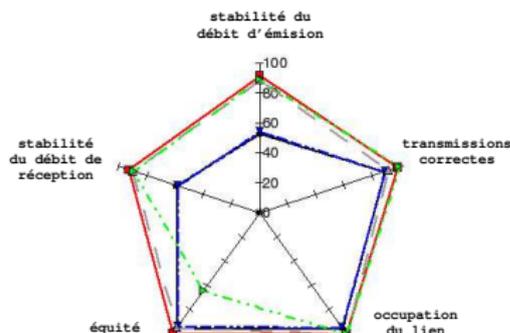


- variation de
 - bande passante
 - taille file d'attente
 - délais de propagation homogènes
 - délais de propagation hétérogènes
- mesure de
 - stabilité du débit émission
 - stabilité du débit réception
 - taux de bonnes transmissions
 - taux d'occupation du lien partagé
 - équité

- Besoin d'une méthodologie
- Méthodologie
- Comparaisons



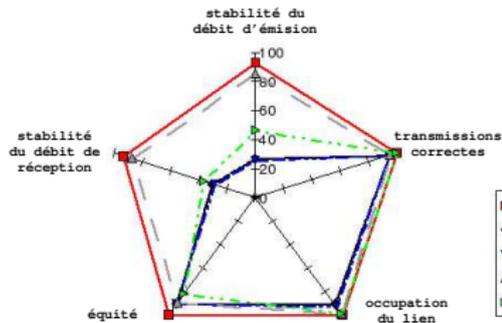
variation de la bande passante



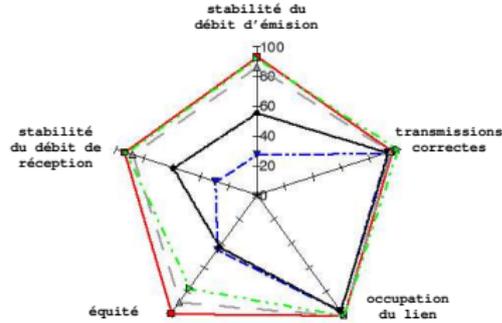
variation de la taille de la file d'attente

- TCP Reno et Sack : rafales \rightsquigarrow pb stabilité
- TFRC : réactif \rightsquigarrow file d'attente plus remplie
- TCP Vegas : pb équité si file très petite
- bonnes performances de PRIMO

- Besoin d'une méthodologie
- Méthodologie
- Comparaisons



variation des délais homogènes



variation des délais hétérogènes

- PRIMO, TFRC : avantage absence fenêtre
- TCP Vegas : pb anti-rafales si grand RTT
- TCP Reno et Sack : pb équité si $RTT \neq$
- bonnes performances de PRIMO

Communications

Conclusion et positionnement

- Congestion
 - dynamique du réseau / des utilisateurs :
 - ↪ propice aux congestions
 - mauvaise utilisation des ressources
 - mauvaise réception par l'utilisateur
 - contrôle de bout en bout toujours nécessaire
- PRIMO
 - débit maximal rapidement atteint
 - stable en régime permanent
 - réaction rapide et adaptée aux perturbations
 - équitable
 - simple
- Positionnement
 - très bonnes performances comparé à TCP Reno, TCP Sack, TFRC, TCP Vegas
 - non TCP friendly
 - ↪ pas de déploiement dans Internet
 - le rendre plus agressif ou réseaux dédiés



6 Perspectives

Réseaux ad hoc fortement dynamiques

Applications inter-véhicules

Perspectives pour les travaux antérieurs

Conclusion



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Approche classique
 - “ordinateurs” en réseaux
 - réseau physique incomplet \rightsquigarrow routage
émule un réseau complet dans un réseau incomplet
 - briques algorithmiques de base
e.g., arborescence, exclusion mutuelle...



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Approche classique
- Adaptée aux réseaux fortement dynamiques ?
 - nombreux travaux sur le routage dans les réseaux ad hoc (> 40 protocoles de routages proposés)
 - très peu d'expérimentation dans des réseaux fortement dynamiques (OLSR, AODV...)
 - nécessité du routage ?
 - message de u à v
 - v présent ? connu ?
 - u et v ont été dans le même voisinage
 - maintien d'un chemin

service de retransmission conditionnelle de msg



- Approche classique
- Adaptée aux réseaux fortement dynamiques ?
 - nombreux travaux sur le routage dans les réseaux ad hoc (> 40 protocoles de routages proposés)
 - très peu d'expérimentation dans des réseaux fortement dynamiques (OLSR, AODV...)
 - nécessité du routage ?
service de retransmission conditionnelle de msg
- quelles briques algorithmiques ?
 - définition dans les réseaux classiques
 - réaliste dans les réseaux dynamiques ?
e.g., arborescence, exclusion mutuelle

- Approche classique
 - Adaptée aux réseaux fortement dynamiques ?
 - nombreux travaux sur le routage dans les réseaux ad hoc (> 40 protocoles de routages proposés)
 - très peu d'expérimentation dans des réseaux fortement dynamiques (OLSR, AODV...)
 - nécessité du routage ?
service de retransmission conditionnelle de msg
 - quelles briques algorithmiques ?
 - définition dans les réseaux classiques
 - réaliste dans les réseaux dynamiques ?
e.g., arborescence, exclusion mutuelle
- vers une algorithmique de type *best effort*



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Approche classique
- Adaptée aux réseaux fortement dynamiques ?
- Démarche expérimentale
 - remise en cause des solutions classiques avec de faiblesse ?
 - partir des applications pour la validation
- applications inter-véhicules
 - réseau fortement dynamique s'il en est
 - nombreuses applications et débouchés
 - axe transport au laboratoire Heudiasyc



• Exemples d'applications

- sécurité routière

alertes, distance de visibilité... PREDIT/ARCOS, DIVA

- service au conducteur

information sur le trafic, les conditions climatiques...

- conduite coopérative

- ADAS communicant

Advanced Driving Assistance Systems

- divertissements pour les passagers

exemple : CarTorrent

[Gerla05]

- jeux

dessins à plusieurs, bataille navale,...

- airbox

- informations touristiques...



Perspectives

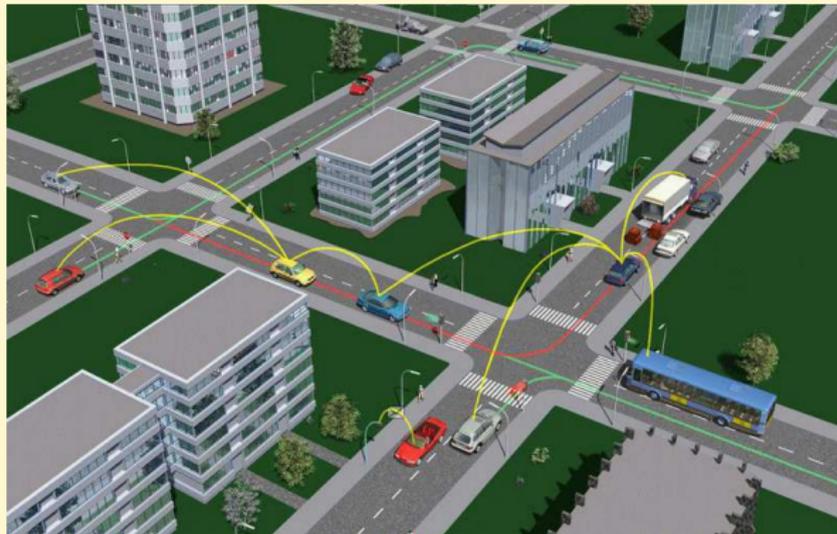
Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Exemples d'applications
- Exemple : scénario BMW
Car 2 Car Communication Consortium



Perspectives

Applications inter-véhicules

Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Exemples d'applications
- Exemple : scénario BMW
- Projets en cours
 - Pré-visibilité de route
Projet régional DIVA, Heudiasyc - CREA
 - Étude de services réseaux pour la
communication entre objets mobiles
fortement dynamiques
Contrat industriel FTR&D
 - Co-operative Systems for Road Safety
"Smart Vehicles on Smart Roads"
IP SafeSPOT, 6ème PCRD / IST / eSafety



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

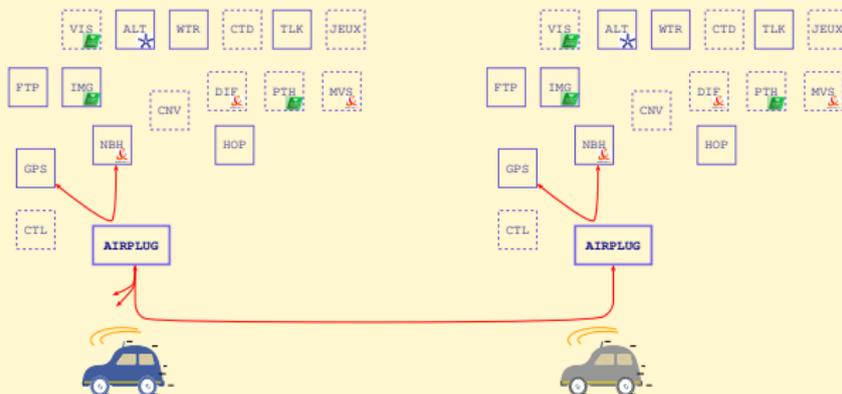
Conclusion

• Réalisations

- plate-forme Caremba

Communication et Applications Réparties EMBArquées

- environnement de simulation
- suite logicielle AIRPLUG



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - fournir le résultat rapidement
lorsque c'est possible
 - admettre des configurations illégitimes
forte dynamique \rightsquigarrow échec de tout algorithme
 - converger vers une configuration légitime
dès que possible



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - fournir le résultat rapidement
lorsque c'est possible
 - admettre des configurations illégitimes
forte dynamique \rightsquigarrow échec de tout algorithme
 - converger vers une configuration légitime
dès que possible
- \rightsquigarrow auto-stabilisation



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - ↳ auto-stabilisation
 - solution générique paramétrée par un r -opérateur
 - passage de messages non fiable
 - réseaux sans fil
 - communication éventuellement asymétrique
 - pas de surcoût si absence de panne



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - ↳ auto-stabilisation
 - solution générique paramétrée par un r -opérateur
 - passage de messages non fiable
 - réseaux sans fil
communication éventuellement asymétrique
 - pas de surcoût si absence de panne
 - temps de convergence ?



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques

Applications
inter-véhicules

Perspectives
pour les travaux
antérieurs

Conclusion

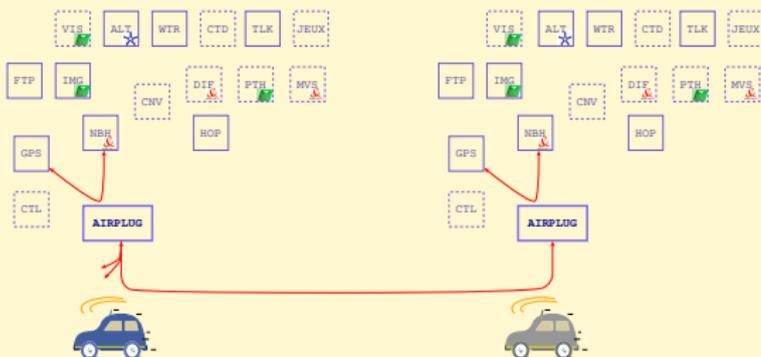
- Algorithmique de type *best effort*
 - ↳ **auto-stabilisation**
 - solution générique paramétrée par un **r -opérateur** strictement idempotent
 - temps de convergence acceptable
 - dans le pire cas en $O(|\mathcal{S}| + \text{diamètre})$
 - petit diamètre
 - $|\mathcal{S}| \leftrightarrow$ précision des critères utilisés
 - adaptativité : moyennes mobiles, seuils
 - [Mazusawa05]



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques
Applications
inter-véhicules
Perspectives
pour les travaux
antérieurs
Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 ~> auto-stabilisation et r -opérateurs
- Communications
 - réseau fortement dynamique
 ~> propice aux congestions
 - exemple : application de transfert d'images



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques
Applications
inter-véhicules
Perspectives
pour les travaux
antérieurs
Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - ↪ auto-stabilisation et r -opérateurs
- Communications
 - réseau fortement dynamique
 - ↪ propice aux congestions
 - **réseau dédié**
 - ↪ protocoles **préventifs** autorisés
 - plus performants
 - protocole PRIMO ou un dérivé



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques
Applications
inter-véhicules
Perspectives
pour les travaux
antérieurs
Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 ~> auto-stabilisation et *r*-opérateurs
- Communications
 - réseau fortement dynamique
 ~> propice aux congestions
 - réseau dédié
 ~> protocoles *préventifs* autorisés
 - plus performants
 - protocole PRIMO ou un dérivé
 - *cross-layering*
 - contrôle au niveau 3 voire 2
 - solution mixte



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques
Applications
inter-véhicules
Perspectives
pour les travaux
antérieurs
Conclusion

- Algorithmique de type *best effort*
 - ↪ auto-stabilisation et r -opérateurs
- Communications
 - ↪ protocoles préventifs tels que PRIMO

- Réseaux ad hoc fortement dynamiques
 - exemple : applications inter-véhicules
 - perspectives pour les travaux antérieurs



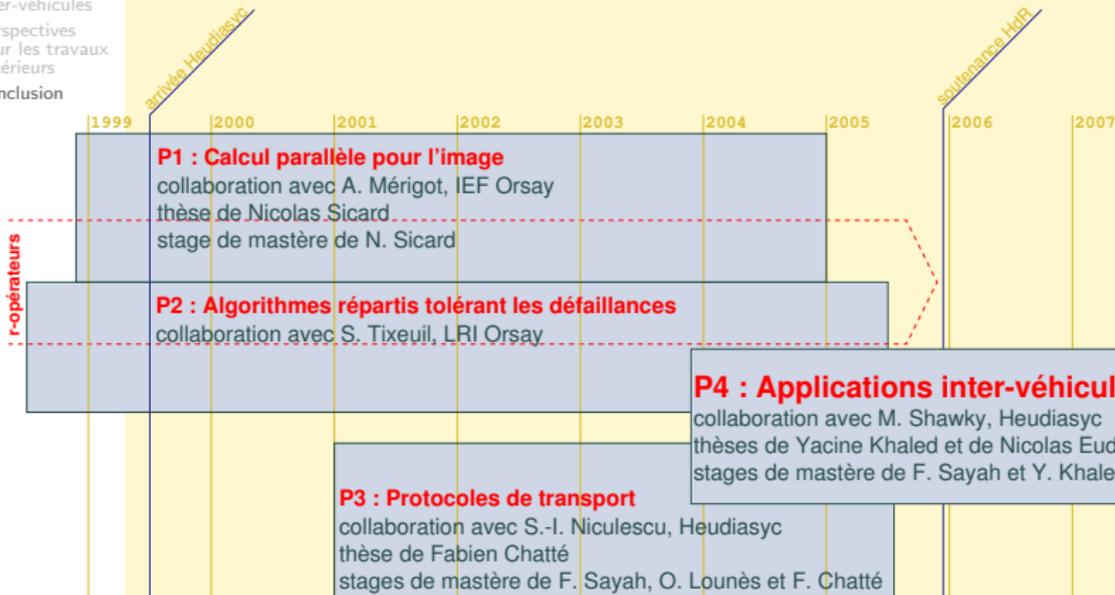
1. Avant-propos
2. r -opérateurs
3. Calcul parallèle
4. Calcul réparti
5. Communications
6. Perspectives

Conclusion

Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

Perspectives

- Réseaux ad hoc fortement dynamiques
- Applications inter-véhicules
- Perspectives pour les travaux antérieurs
- Conclusion



Conclusion

Contribution à la maîtrise des réseaux fortement dynamiques

- Réseaux fortement dynamiques
 - de plus en plus courants
informatique mobile, réseaux personnels...
 - moins de planification, plus d'adaptation *on-line*
 - efficacité \rightsquigarrow réduction du contrôle
sur les calculs ou les communications



- Réseaux fortement dynamiques
- Contribution
 - généralisation du demi-groupe idempotent
 r -demi-groupe idempotent
calculs globaux sans contrôle des calculs locaux
 - intérêt pour le calcul parallèle
bibliothèque de calcul parallèle ANET
expressivité, accélération, algorithmique
 - intérêt pour le calcul réparti
solution auto-stabilisante générique
conditions locales, adaptativité, applications
 - intérêt du contrôle de congestion préventif
protocole PRIMO (matlab, ns)
continu-discret, méthodologie, performances



Perspectives

Réseaux ad hoc
fortement
dynamiques
Applications
inter-véhicules
Perspectives
pour les travaux
antérieurs
Conclusion

- Réseaux fortement dynamiques
- Contribution
- Perspectives
 - réseaux ad hoc fortement dynamiques
 - applications inter-véhicules
 - algorithmique de type *best effort*
 - ↪ auto-stabilisation et r -opérateurs
 - réseau dédié
 - ↪ contrôle de congestion préventif



- Réseaux fortement dynamiques
- Contribution
- Perspectives
 - réseaux ad hoc fortement dynamiques
 - applications inter-véhicules
 - algorithmique de type *best effort*
 - ↪ auto-stabilisation et r -opérateurs
 - réseau dédié
 - ↪ contrôle de congestion préventif
- Problèmes ouverts
 - approche par les applications
 - service de retransmission conditionnelle, etc.
 - relation d'ordre de $(S, \triangleleft) \leftrightarrow$ type d'atomicité
 - contrôle de congestion au niveau 3 voire 2
 - ...



• Bilan

- 3 projets + 1 transversal, 1 en cours
- équilibre

- UTC / Heudiasyc
- collaborations IEF, LRI, Heudiasyc/SPC
liens entre plusieurs thématiques
- 2 thèses soutenues, 2 en cours,
6 mastères recherches, 3 stagiaires
- 7 revues, 14 conférences internationales,
10 conférences nationales

- enseignement \cap recherche $\neq \emptyset$

- liens entre thématiques
captivant, enrichissant, productif
organisations humaines \rightsquigarrow incite à la spécialisation

