

Satellites d'observation et réseaux de capteurs autonomes au service de l'environnement

Patrice Raveneau¹

¹IRIT – Université de Toulouse – INPT

Soutenance de thèse de doctorat :
Vendredi 20 Juin 2014



Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



- Partenariat CNES ;
- Plusieurs types de missions d'observation ;
- Plusieurs technologies d'observation.

Observation de l'environnement

But	Période	Couverture	Mobilité	Lien montant	Lien descendant	Exemples
Diminuer Temps Réponse Secours	min.	locale	moyenne	permanence	si crise détectée	SAFER GARNET-E GEO Pictures G-MOSAIC
Surveillance Activités illégales	min.	locale	grande	permanence	à la demande	G-MOSAIC
Surveillance Champ de bataille	min.	locale	moyenne	à la demande	à la demande	SYSTEM-F6
Télé médecine	min.	régionale	grande	à la demande	à la demande	TéléSanté
Surveillance Tremblements de Terre	min.	mondiale	nulle	permanence	jamais	DEMETER
Surveillance Maritime	heure	régionale	nulle	permanence	changement conditions navigation	LIMES EAMNet JASON EELIAD
Suivi Populations	jour	locale	moyenne	permanence	jamais	EELIAD
Surveillance Environnement	jour	mondiale	nulle	permanence	jamais	CARBONES EURO4
Exploration Extra-terrestre	mois	locale	faible	occasionnel	à la demande	MARS-EXPRESS



Plan

- 1 **Contexte**
 - Missions
 - **Technologies**
 - Motivations
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



- Réseaux de capteurs sans fil ;
- Satellites d'observation ;
- Drones ;
- Ballons ;
- ...

Réseaux de capteurs sans fil

- Petits équipements, pas chers ;
- Réseaux auto-configurables ;
- Protocoles minimisant l'énergie (IEEE 802.15.4) ;
- Évolution d'une vision applications vers une vision réseau (6LoWPAN).

Satellites d'observation

- Satellites à orbite basse (LEO) ;
- Faibles contraintes de délai ;
- Protocoles adaptés au satellite ;
- Évolution vers des systèmes multi-missions et interopérables (EO-1, CLEO sur UK-DMC)



Plan

- 1 **Contexte**
 - Missions
 - Technologies
 - **Motivations**
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



- Différentes technologies mais missions communes ;
- Spécificités au niveau de la couche liaison ;
- Limitations de la mémoire (missions secondaires, contraintes matérielles) ;
- Intermittence des liens.

Objectifs

- Proposer une architecture unifiée.
- Solutions spécifiques et généricité.



Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude**
 - Description
 - Contraintes
 - Les réseaux tolérants au délai
 - Solutions
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre

Surveillance d'une forêt

- Couvrir la majorité des contraintes ;
- Suivi d'espèces ;
- Prévention et Suivi de crises.

Source du trafic	Périodique
Nombre de trafics	Plusieurs (différentes priorités)
Durée de vie	un jour / une semaine
Types de capteurs au sol	Statiques et mobiles
Volume des données	10 octets (sol) / 100Mo (sat)

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
 - Description
 - **Contraintes**
 - Les réseaux tolérants au délai
 - Solutions
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre

Scénario

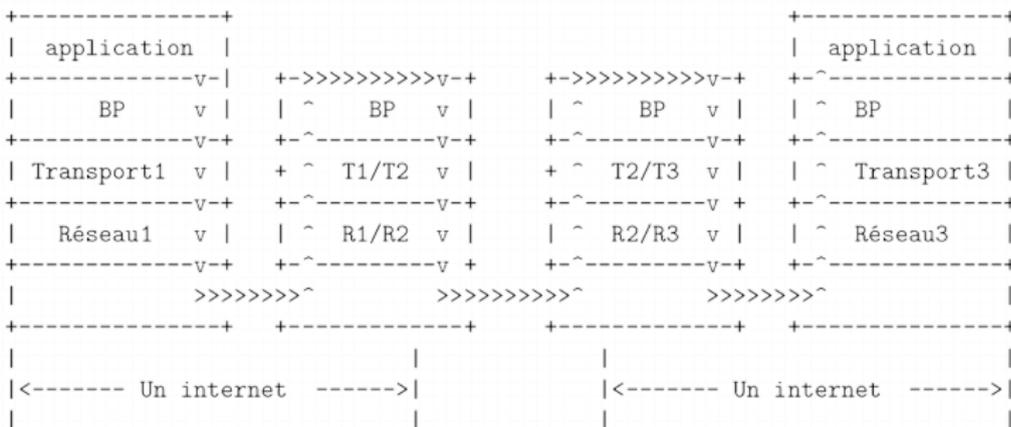
Contraintes et conséquences

Contraintes	Conséquences
Satellites LEO	Interruptions sur les liens
Possibilité de crise	Diminution de la connexité, Hausse du trafic
Connexité partielle	Stockage à bord des satellites
Nœuds mobiles	Contacts sporadiques, Radio allumée en permanence

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude**
 - Description
 - Contraintes
 - Les réseaux tolérants au délai**
 - Solutions
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre

- Réseau interplanétaire ;
- Réseau d'overlay ;

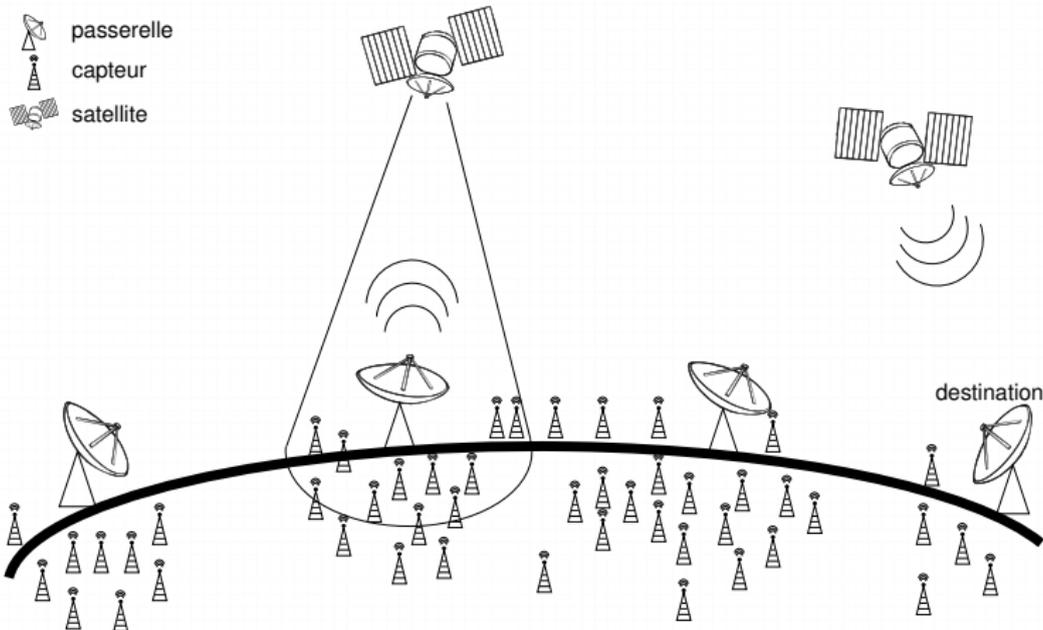


- Tolérance aux interruptions.

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude**
 - Description
 - Contraintes
 - Les réseaux tolérants au délai
 - Solutions**
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre

Topologie retenue

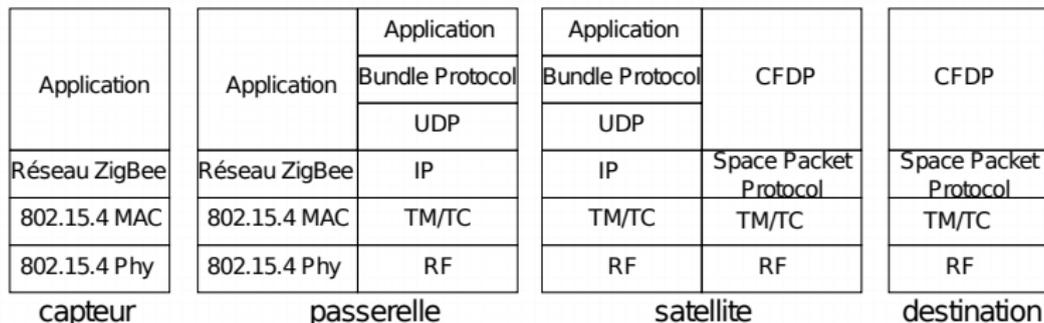


Plan

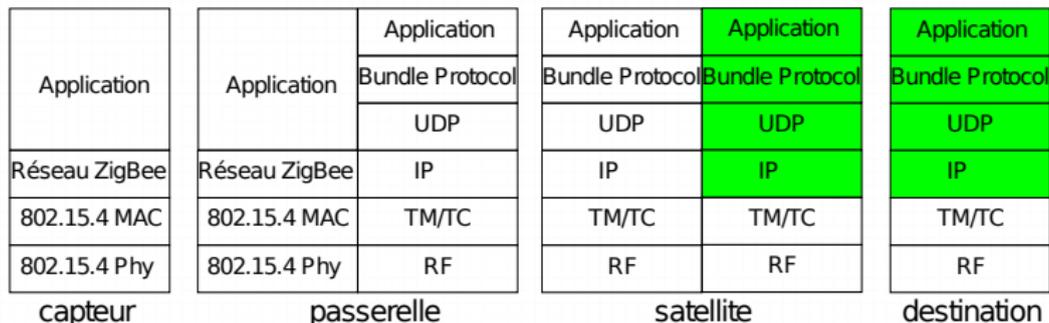
- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures**
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



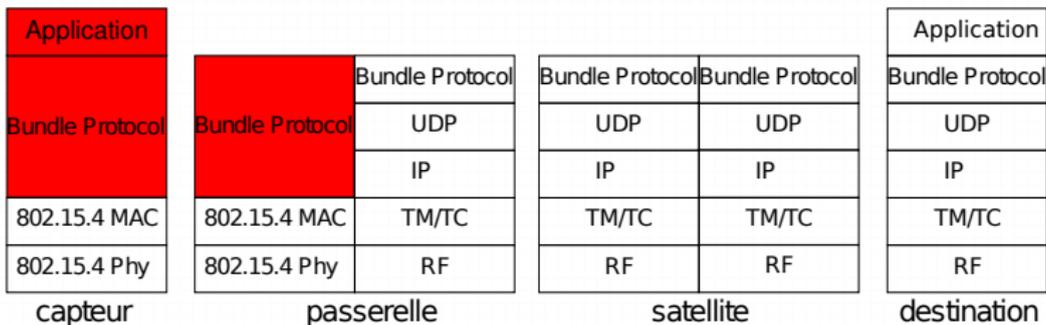
Architecture la moins envahissante



Architecture intégrant le satellite



Architecture la plus globale



Comparaison des différentes architectures

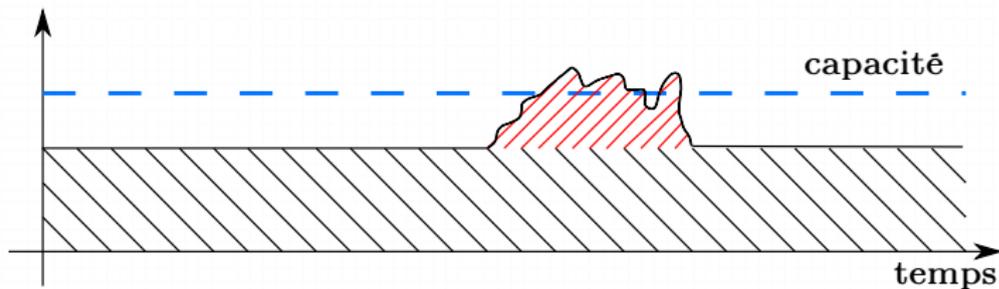
Archi	Avantages	Inconvénients
1	Interruptions prises en charge	Pas de retour de destination
1	Peu d'impacts sur l'architecture classique	Satellite passerelle applicative
2	Réseau satellite DTN	Plus de fonctionnalités sur satellite
2	Passerelles joignables	Pas de capteurs mobiles
3	Réseau DTN	Overhead sur satellite
3	Tout équipement joignable	Limite mémoire sur capteurs

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite**
 - Contraintes avec satellite
 - Carreau et les priorités
 - Martinet et équité
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



- Hausse du trafic sporadique ;
trafic cumulé



- Connexité intermittente.

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite**
 - Contraintes avec satellite
 - Carreau et les priorités**
 - Martinet et équité
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion



Transmission Totale(TT)

Passerelle transmet quand un satellite est présent :

Chargement Total (CT)

Les passerelles arrêtent de transmettre quand la mémoire du satellite est saturée :

Carreau : décision de transmission



-
- 1: **Pour chaque** contact avec une passerelle **Faire**
 - 2: **Pour chaque** réception de Bundle **Faire**
 - 3: **Si** mémoire Libre $>$ taille d'un Bundle **Alors**
 - 4: stocker Bundle # *stockage du Bundle par ordre décroissant de*
 - 5: *priorité puis par ordre croissant d'échéance*
 - 6: **Sinon**
 - 7: Transmettre à la passerelle le Bundle en fin de file # *ce Bundle*
 a la priorité la plus faible et l'échéance la plus grande
 - 8: **Fin Si**
 - 9: **Fin Pour**
 - 10: **Fin Pour**
-

Notations

- N , nombre de Bundles que la mule peut transporter.
- m , nombre de stations terrestres.
- T , durée d'un cycle de la mule.
- $A_{i,j}$, nombre d'arrivées de la classe de trafic i à la station j pour un cycle donné.
- θ_i , durée de vie de chaque Bundle de la classe de trafic i .
- C , nombre total de cycles où une crise est présente.

Le nombre de pertes pour un cycle est n_{TT} :

$$n_{TT} = \max \left(0, \left(\sum_i \sum_{j=1}^m (A_{i,j}) - N \right) \right)$$

Le nombre de Bundles perdus pendant la crise est n_{CT} :

$$n_{CT} = \sum_i \sum_{j=j_p}^m \sum_{r=1}^C \left[n_{i,j}(r) \times \min \left(1, \sum_{l=r}^C \left\lfloor \frac{\theta_i}{l \cdot T} \right\rfloor \right) \right]$$

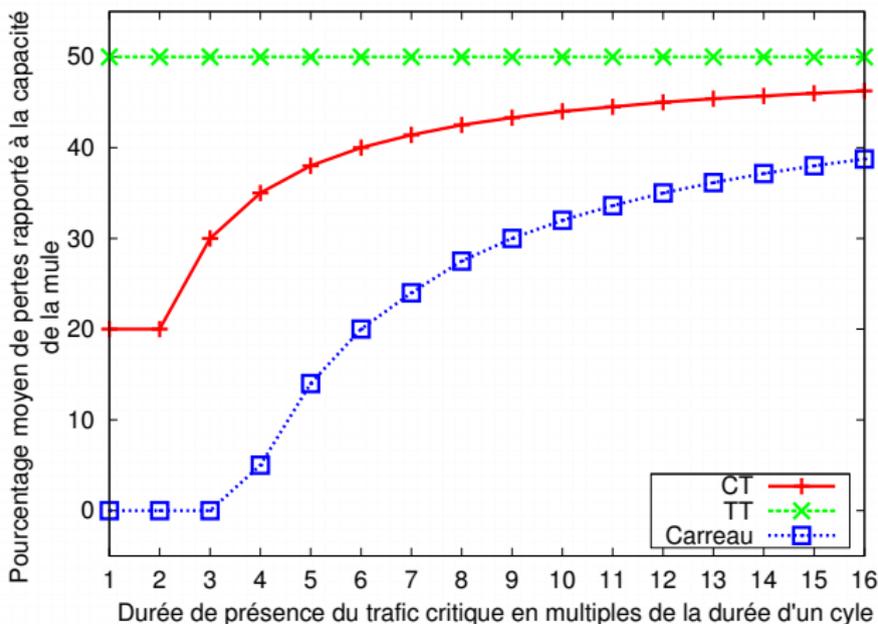
n_{car} est le nombre de Bundles perdus pendant la crise :

$$n_{car} = \sum_i \sum_j \sum_{r=1}^C \left[n_{parq_{i,j}}(r) \times \min \left(1, \sum_{l=r}^C \left\lfloor \frac{\theta_i}{l \cdot T} \right\rfloor \right) \right]$$

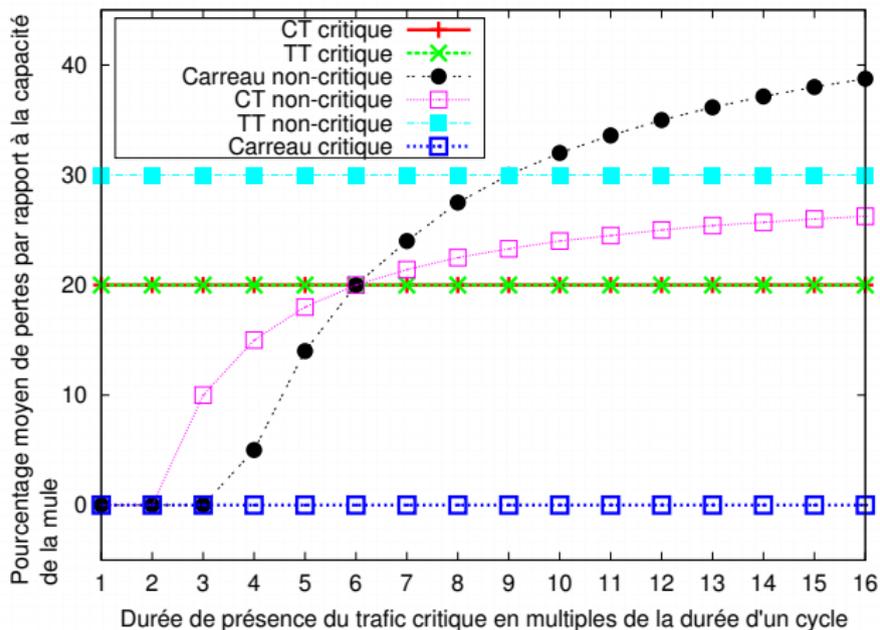
Résultats analytiques

- 2 trafics ;
- non-prioritaire : 90% ;
- prioritaire : 60% ;

Pourcentage de pertes



Pourcentage de pertes



Le routage

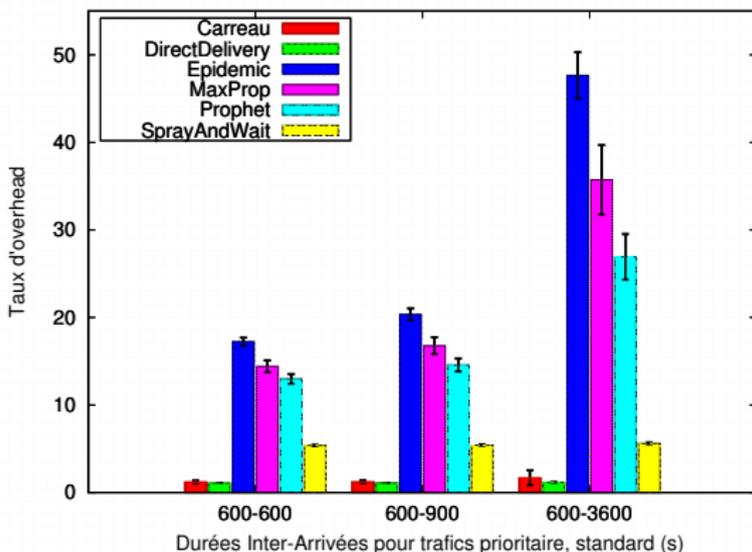
- Prédicible :
 - Contact Graph Routing (CGR).
- Non-déterministe :
 - Réplication :
 - Epidemic ;
 - PRoPHET ;
 - MaxProp ;
 - Quota :
 - SprayAndWait.

Simulations

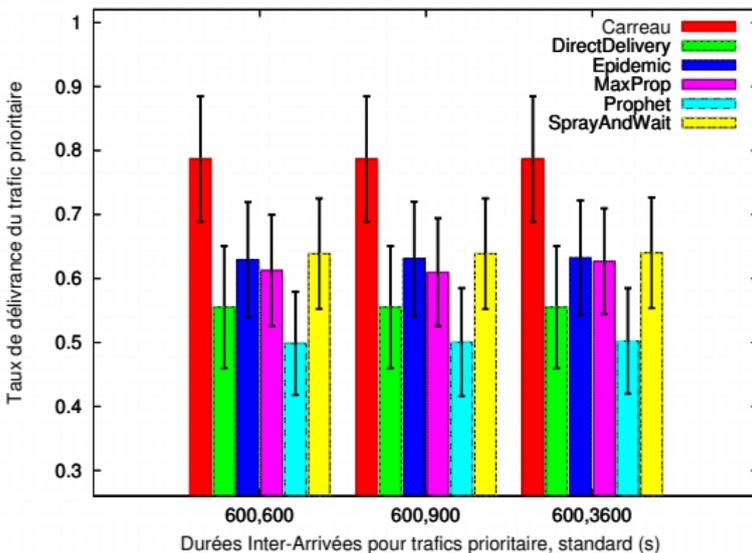
The One

Nombre de satellites	5
Mémoire des satellites	50 Mo
Mémoire des passerelles	500 Mo
Nombre de passerelles	5
Durée des simulations	5 jours
Taille des Bundles	1Mo
Période inter-arrivée trafic permanent (s)	[600, 900, 3600]
Période inter-arrivée trafic critique (s)	600
Durée de vie des données critiques	30 h

Overhead



Taux de délivrance du trafic prioritaire



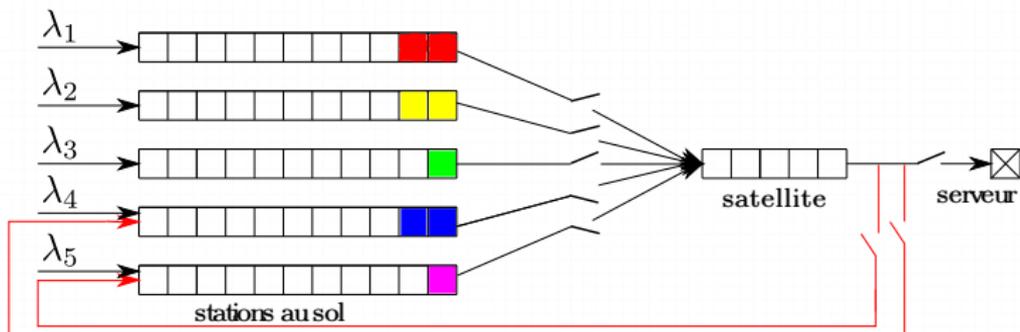
Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite**
 - Contraintes avec satellite
 - Carreau et les priorités
 - Martinet et équité**
- 5 Segment terrestre
- 6 Conclusion

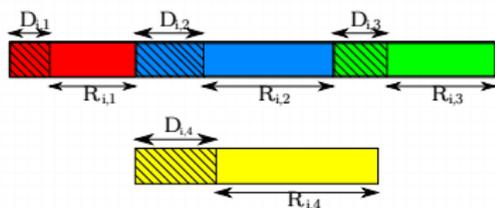


Équité à priorité égale

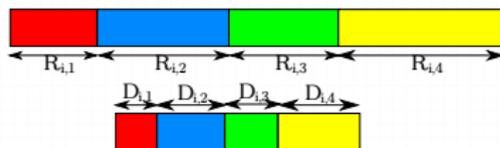
Garantir équité entre stations pendant une crise :



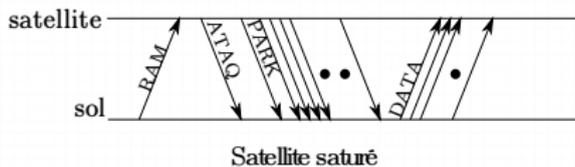
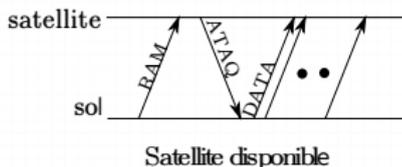
Définition de l'équité : proportion égale d'occupation de la mémoire du satellite



Avant i



Après i



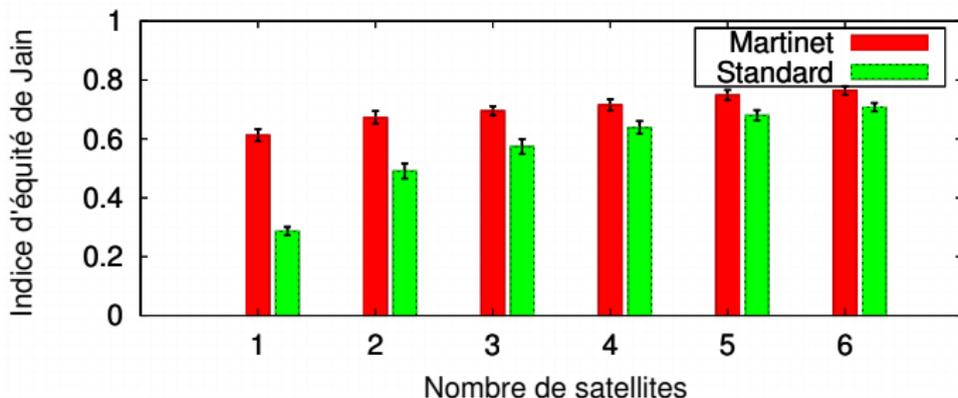
EthiKable : Équité pour chaque passerelle

-
- 1: **Pour chaque** Requête de transmission d'un volume de Bundles d'une passerelle *j* **Faire**
 - 2: **Si** la somme des trafics présents sur le satellite est inférieure à sa capacité **Alors**
 - 3: Accepter la transmission
 - 4: **Sinon**
 - 5: **Répéter**
 - 6: **Pour** chaque trafic datant d'une époque donnée **Faire**
 - 7: **Pour** chaque trafic provenant d'une passerelle **Faire**
 - 8: Déposer une proportion équitable de Bundles
 - 9: **Fin Pour**
 - 10: Accepter une proportion équitable de Bundles au sol
 - 11: Équité atteinte pour trafic créé à une époque donnée
 - 12: **Fin Pour**
 - 13: **Jusqu'à** Équité atteinte pour le trafic le plus récent à bord
 - 14: **Fin Si**
 - 15: **Fin Pour**
-

Implantation de Martinet et tests avec linux containers :

	Standard	Martinet
Taux de délivrance	0.75	0.75
Répartition des taux de délivrance par source	0.66 / 0.33	0.55 / 0.44

Simulations avec The One : Standard = DirectDelivery



Conclusion

- Surcharges sporadiques ;
- Faible connexité ;
- Carreau utilise la mémoire disponible au sol ;
- Martinet fournit l'équité entre les stations au sol.

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre**
 - **Contraintes des capteurs**
 - Étude des accusés de réception
 - FREAK : Choix des relais fondé sur l'historique
- 6 Conclusion



Implantation du Bundle Protocol sur capteurs

TABLE : Comparaison des différentes implantations pour déploiement sur MicaZ

Implantation	Langage adapté	Mémoire pré-allouée	Taille du code	Bundle Protocol interopérable	Couche de convergence basse
ION	✓	✓	X	✓	X
DTN2	X	X	X	✓	X
IBR-DTN	✓	✓	X	✓	X
μDTN	✓	✓	X	✓	✓
DTNLite	✓	✓	✓	X	✓
ContikiDTN	✓	✓	✓	✓	X



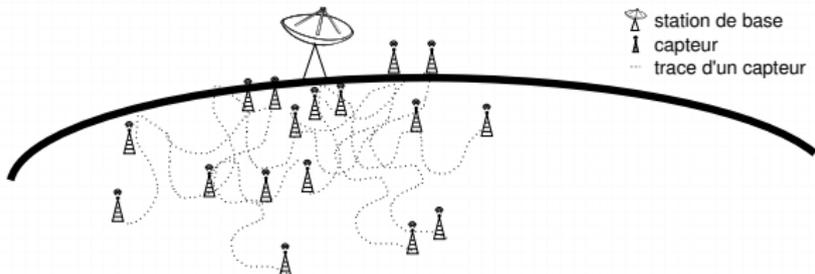
nanoDTN

- Inspirée de μ DTN ;
- Plus légère ;
- Architecture modulable (adaptée à la mission) ;
- Preuve de concept : test avec un émetteur périodique et un récepteur à portée ;
- Orientation de la réflexion :
 - mécanismes simples ;
 - peu de ressources mémoire.



Scénario

- Nœuds mobiles ;
- Station de collecte statique ;
- Mostly-on ;
- Limitations mémoire ;
- Limitations de capacité de traitement.



Plan

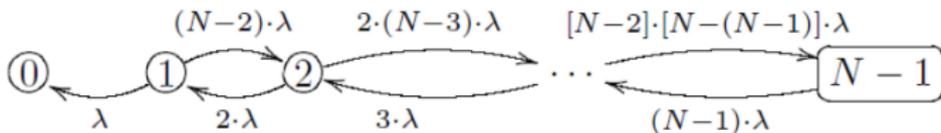
- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
 - Contraintes des capteurs
 - Étude des accusés de réception
 - FREAK : Choix des relais fondé sur l'historique
- 6 Conclusion



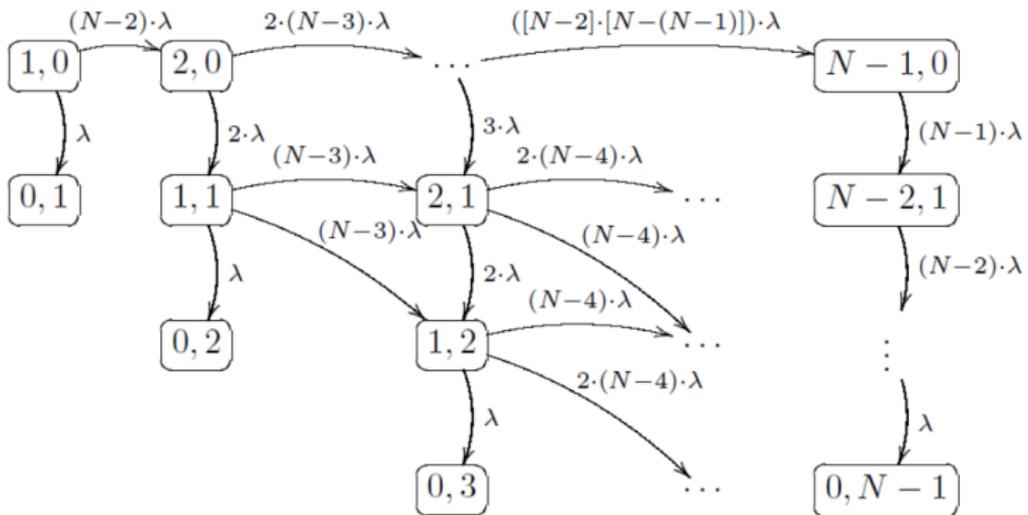
- Intuition : Accusés de réception (ACK) consomment de la mémoire
- ACK \Rightarrow Gain ou perte ?
- Modèles analytiques avec et sans ACK pour étudier le temps de séjour en mémoire infinie.

Nombre de copies dans le réseau sans ACK

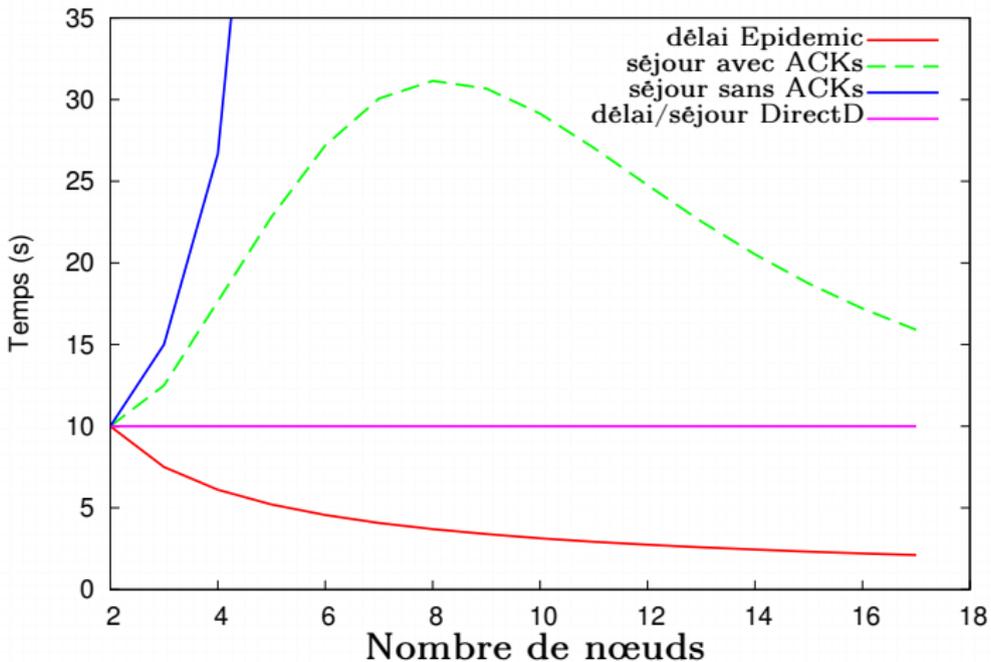
- Epidemic ;
- Durée inter-contacts exponentielle.



Nombre de copies dans le réseau avec ACK



Délais et temps de séjour avec et sans ACKS



Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre**
 - Contraintes des capteurs
 - Étude des accusés de réception
 - FREAK : Choix des relais fondé sur l'historique**

- 6 Conclusion



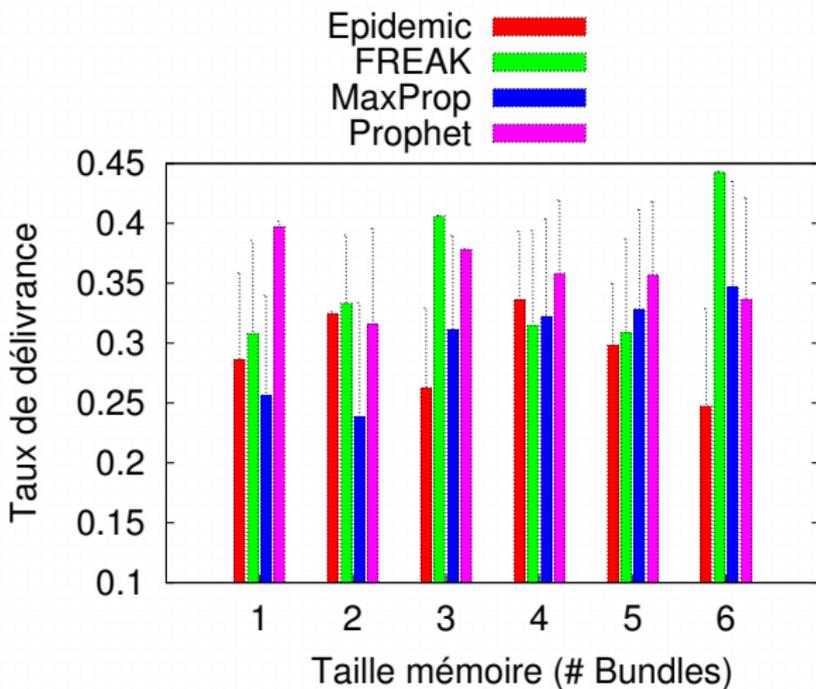
Frequency Routing Encounter And Keeness : FREAK

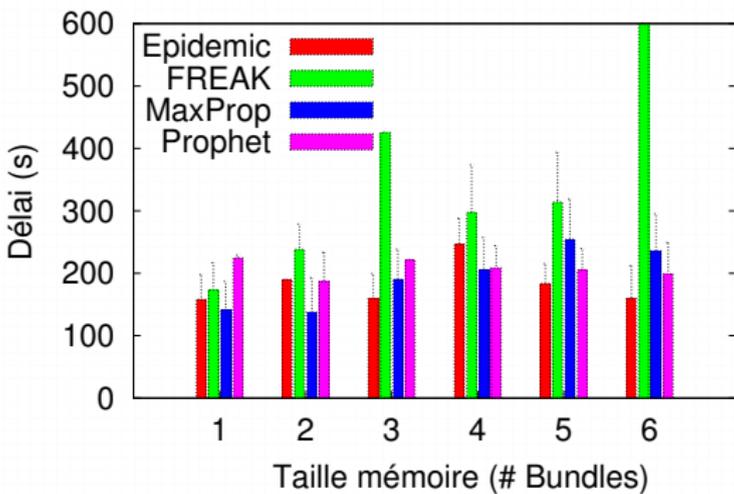
- Les nœuds n'ont pas une mobilité erratique.
- Certains nœuds plus fréquemment proches de la destination.
- Idée : relayer les messages vers ces nœuds.
- FREAK mesure la fréquence de contacts avec la station de base.
- Les meilleurs relais sont ceux avec la fréquence la plus élevée.

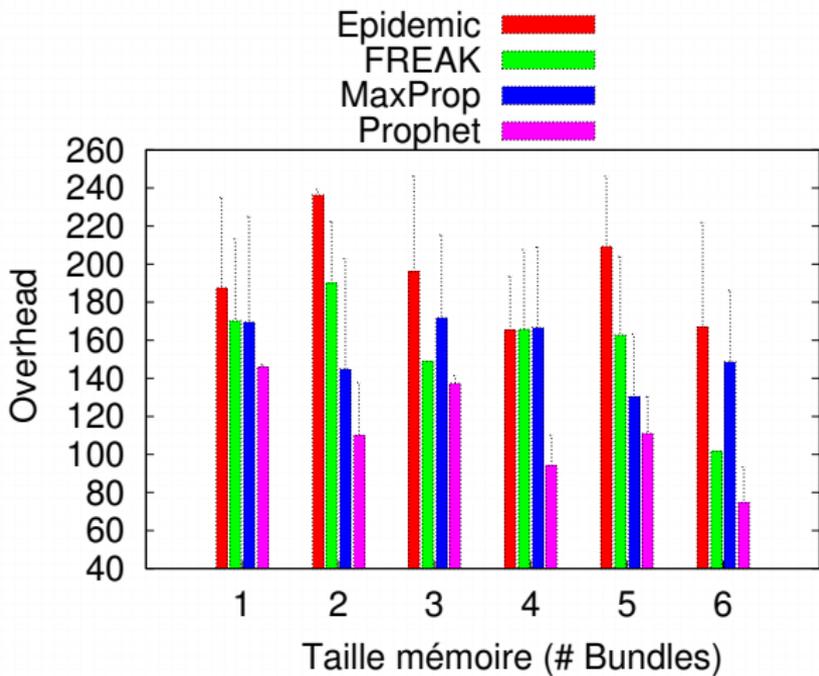
```

1: Soit A le nœud local
2: nbrContacts = 0
3: freq = 0
4: Pour chaque nœud rencontré (nommé B) Faire
5:     Si B est la destination Alors
6:         nbrContacts ++ # Si c'est la destination on met à jour la métrique
7:          $freq = \frac{nbrContacts}{CurrentTime}$ 
8:         Envoyer tous les Bundles # et on lui transmet tous les Bundles
9:         Supprimer les Bundles délivrés
10:    Sinon
11:        Si  $contact_{freq}(A) < contact_{freq}(B)$  Alors # Si le nœud rencontré voit la destination plus souvent
12:            envoyer Bundles à B # alors on lui transmet tous les Bundles
13:        Sinon
14:            attendre les Bundles de B # sinon on attend les siens
15:        Fin Si
16:    Fin Si
17: Fin Pour

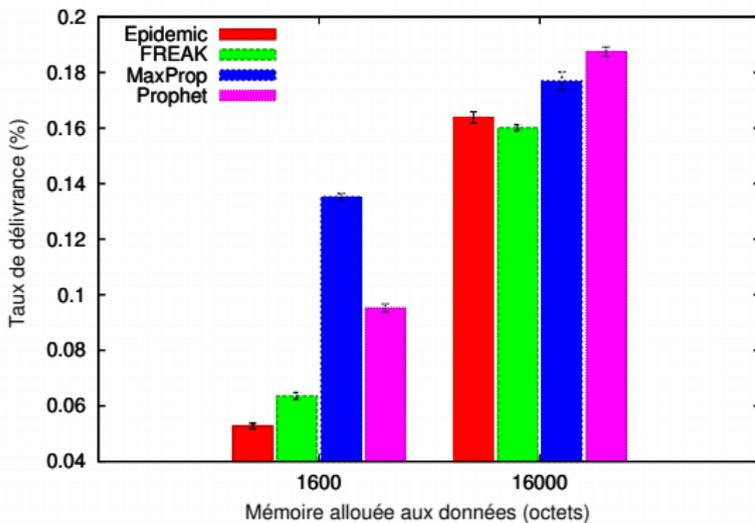
```



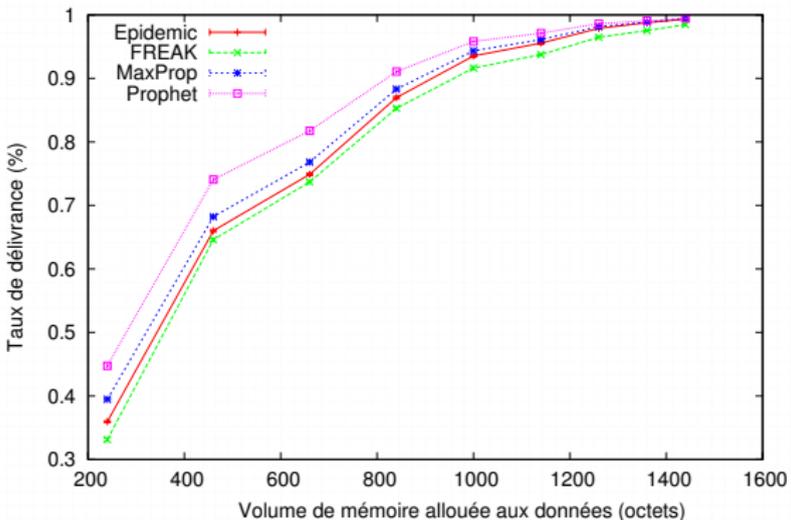




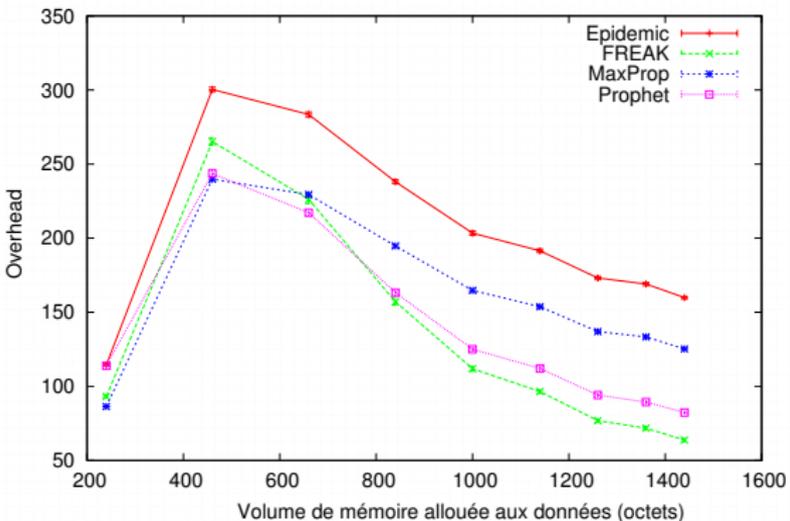
Taux de délivrance sans ACK



Taux de délivrance avec variation de la mémoire allouée aux ACK



Overhead avec variation de la mémoire allouée aux ACK



Conclusion

- Utiliser les rencontres passées pour améliorer les transmissions futures ;
- FREAK : léger et implantable sur capteurs ;
- ACK améliorent nettement les performances.

Plan

- 1 Contexte
- 2 Scénario d'étude
- 3 Architectures
- 4 Segment satellite
- 5 Segment terrestre
- 6 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

- Architectures répondant aux contraintes de multi-missions ;
- Propositions sur le segment satellite ;
- Capteurs mobiles et utilité des ACK ;
- Implantation de DTN sur capteurs.

- Hétérogénéité des technologies ;
- Suppression de messages plus anciens qu'une durée fonction de la durée moyenne de délivrance ;
- Décision de transmissions sur un groupe de nœuds à portée ;
- Applicable à des projets comme SWIPE.

?

Questions ?

