Réservation géographique pour les constellations de satellites

Jérôme Galtier

INRIA Sophia-Antipolis
2004 route des Lucioles, BP 93
06902 Sophia-Antipolis Cedex

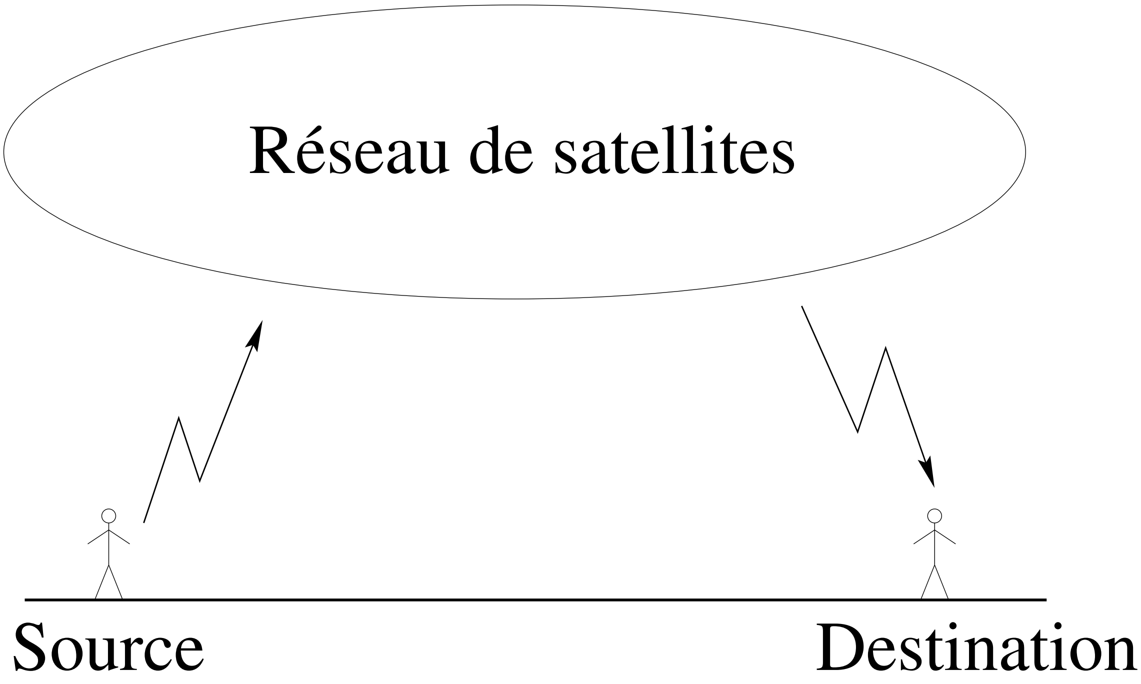
E-mail: `Jerome.Galtier@sophia.inria.fr`

26 mars 1999

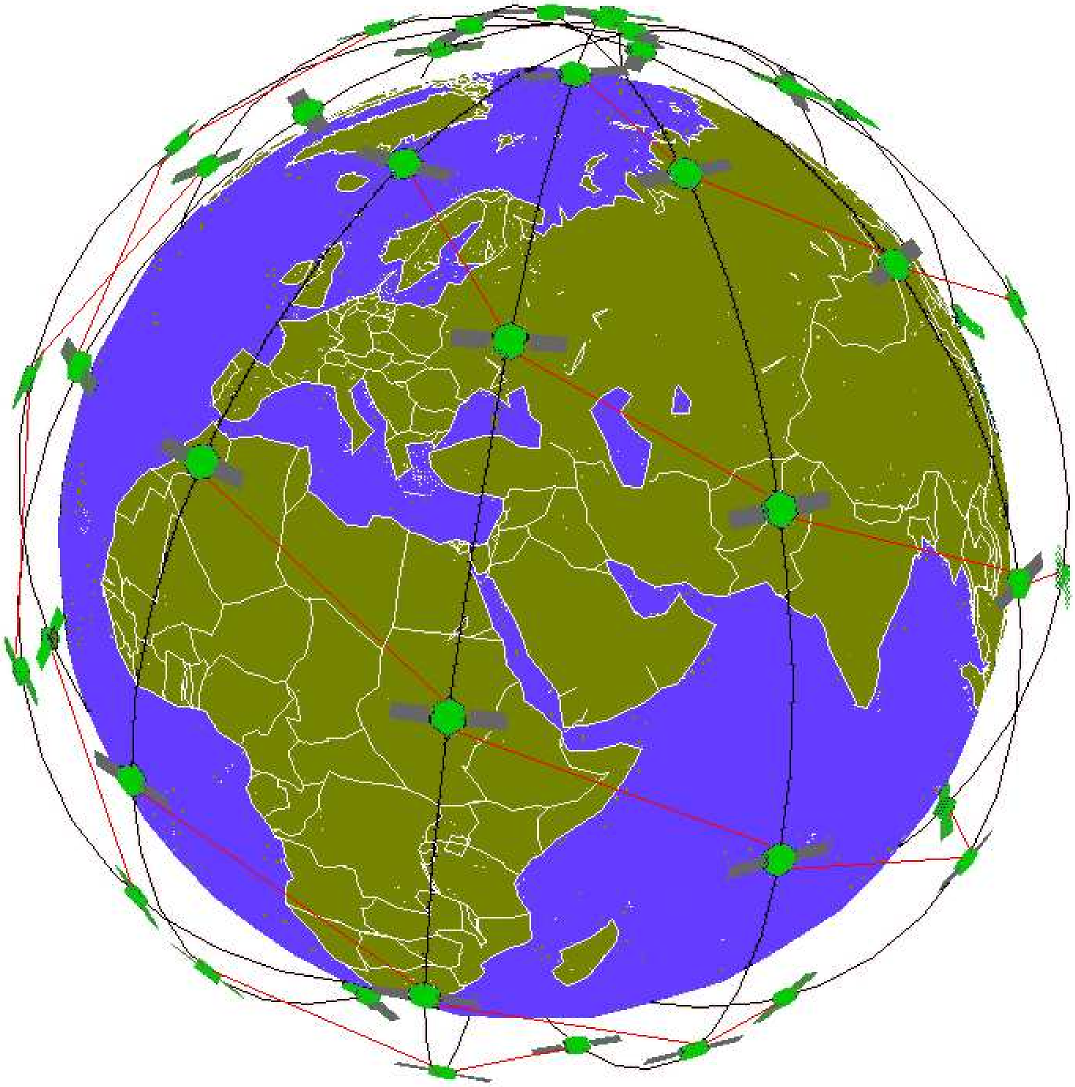
OUTLINE

Domaine de travail

- Constellation de satellites en orbite basse
- Liens inter-satellites
- Garantir le routage d'une communication de durée indéfinie pour autant que l'utilisateur ne se déplace pas



Un exemple: iridium



- Liens inter-satellitaires
- Couture

La nature du lien intersatellitaire

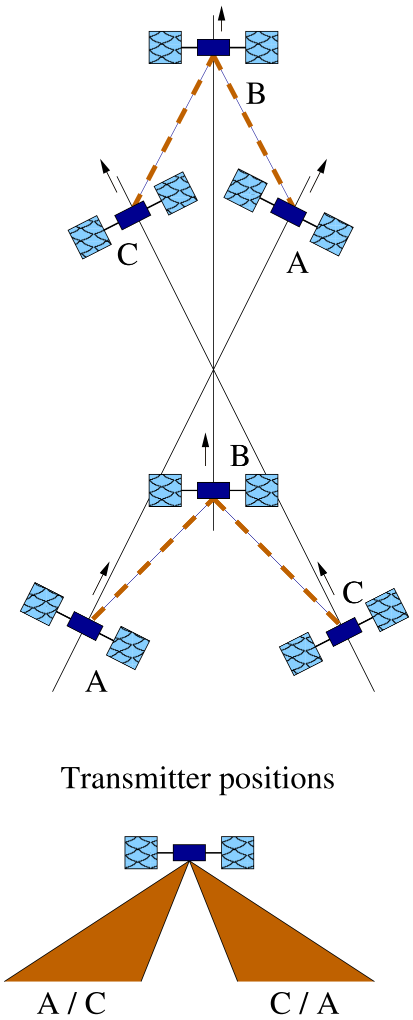
- Pas ou peu de problèmes de propagation
- Satellites sur la même orbite connectés par un lien permanent
- Liens inter-orbitaux: nécessité de “suivre” son correspondant. (environ 1 minute pour le retrouver en cas de perte)

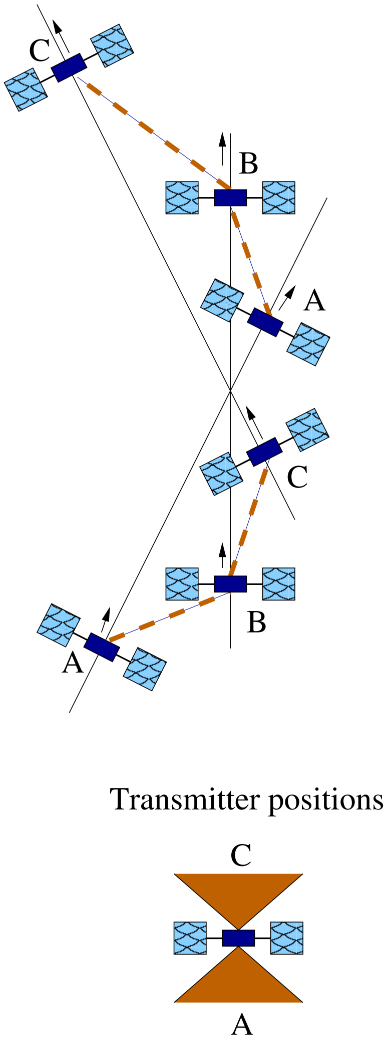
Le suivi devient impossible si le correspondant a une vitesse angulaire trop élevée.

Pour la constellation Iridium (6 orbites de 11 satellites, à 740 km d’altitude)

Vitesses angulaires (mrad/s)	Co-rotatives	Contra-rotatives
Latitude 90^o	2.0	-
Latitude 80^o	1.2	22.4
Latitude 70^o	0.7	11.4
Latitude 40^o	0.1	5.2

Mise en oeuvre des liens inter-orbitaux

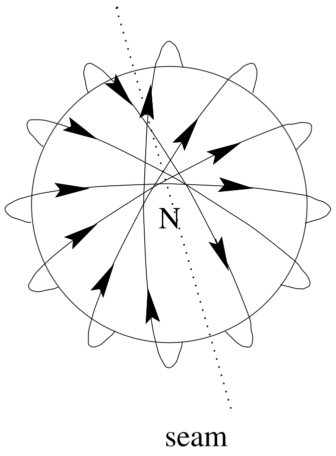




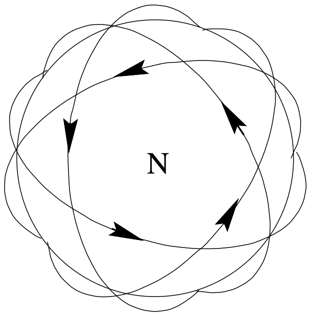
- liens permanents: angle “pauvre” de communication.
- liens interrompus: bon angle, structure en W

Types de constellations concernés

Deux types de constellations LEO avec liens intersatellitaires ont été proposés aujourd'hui:



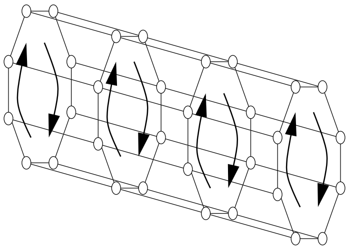
π-constellation



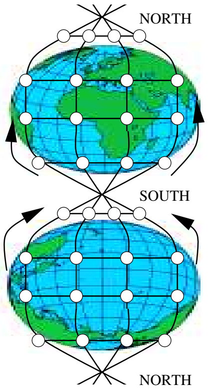
2π-constellation

Graphes des constellations concernées

Les π-constellations (ou constellations polaires)

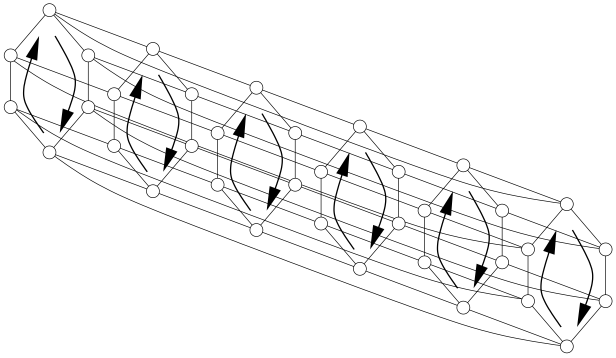


Graph theory
point of view

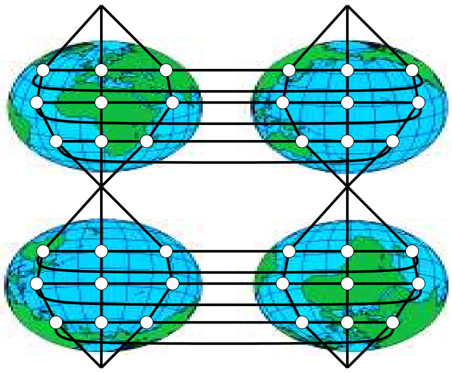


Relative to Earth's movement
point of view

Les 2π-constellations (ou constellations inclinées)

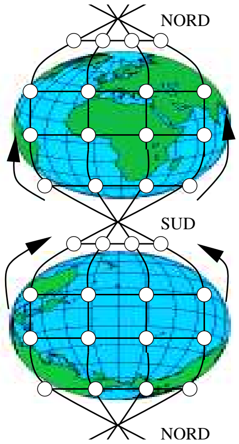


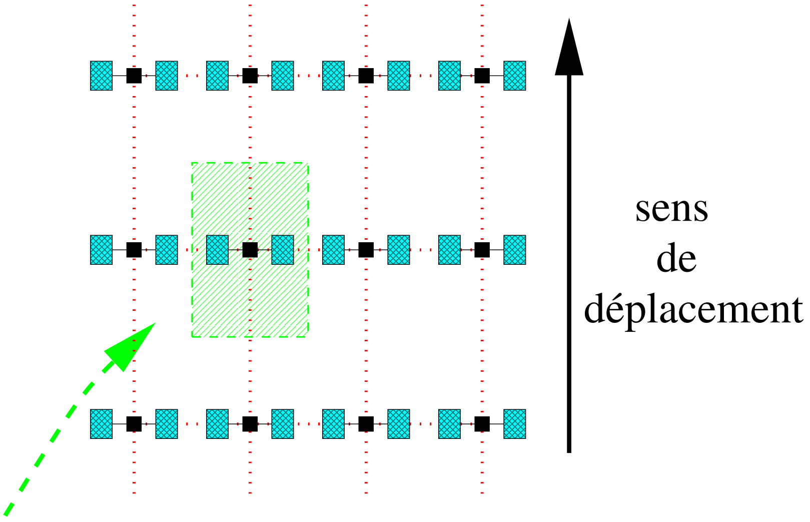
Graph theory
point of view



Relative to Earth's movement
point of view

Modèle simplifié



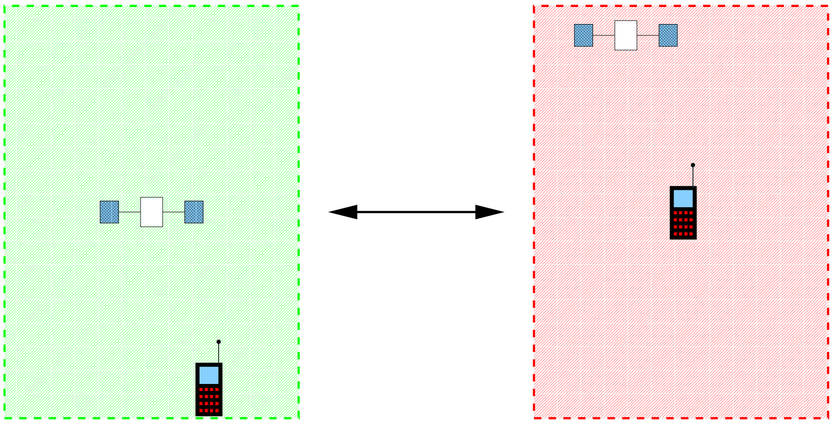


sens
de
déplacement

Cellule associée
au satellite

- Pas de coupure de lien, angle de 90^o entre liens inter- et intra-orbitaux
- Cellules carrées (plutôt qu'hexagonales)

Dualité mobile/satellite



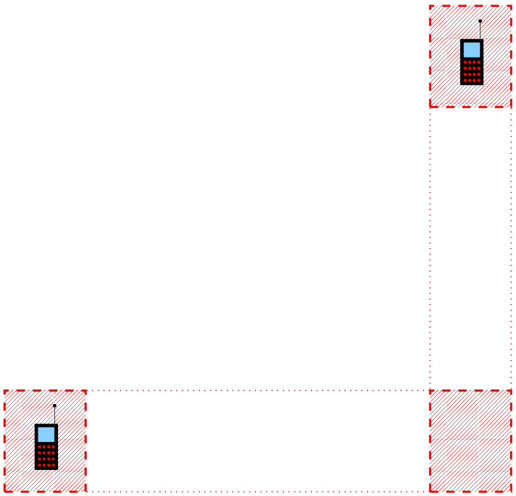
Cellule orientée satellite

Le satellite couvre
tous les mobiles de la cellule

Cellule orientée mobile

Le mobile est couvert
par le satellite qui est dans la cellule

Comme caractériser une route XY ?

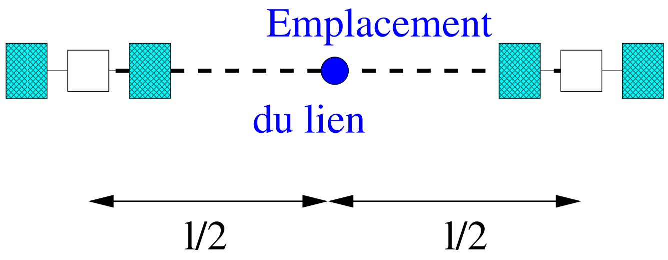


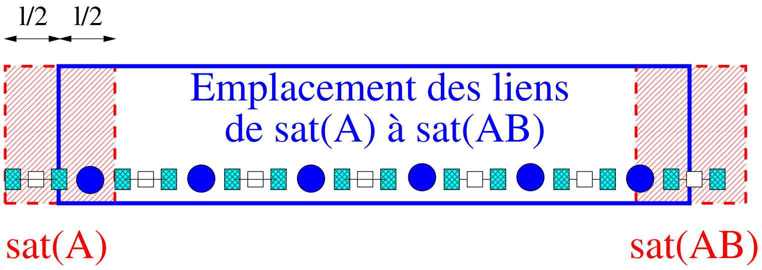
satellite qui
couvre B

satellite qui
couvre A

satellite à
l'intersection de la
route XY

Réservation des liens par dualité





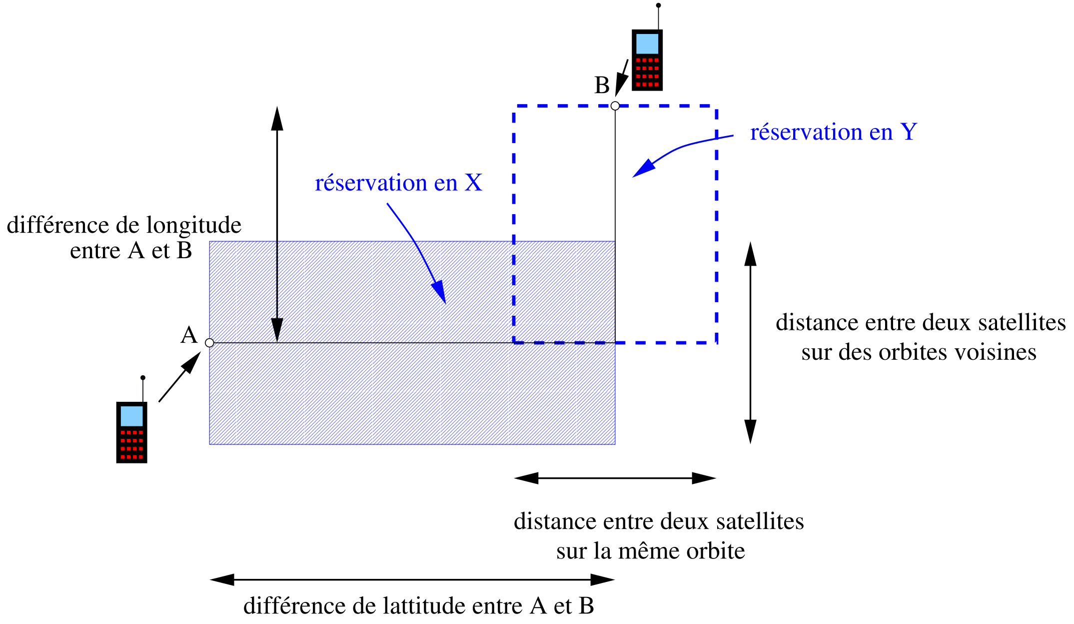
Chaque lien dont l'emplacement est dans le rectangle doit réserver un canal.

Plusieurs communications ⇔ Plusieurs rectangles qui peuvent intersecter

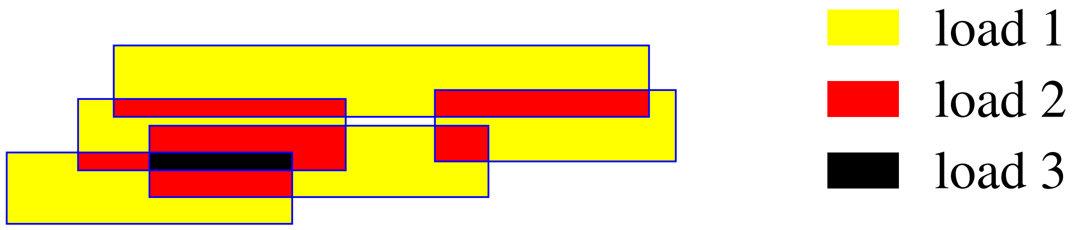
La capacité doit être supérieure au nombre maximum de rectangles qui intersectent en un point.

Réduction

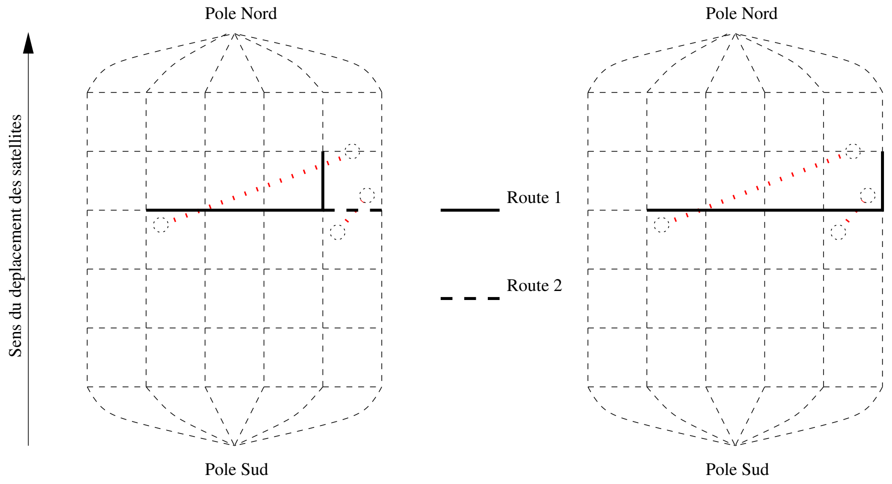
En résumé, pour réserver une route XY, nous considérons deux rectangles:



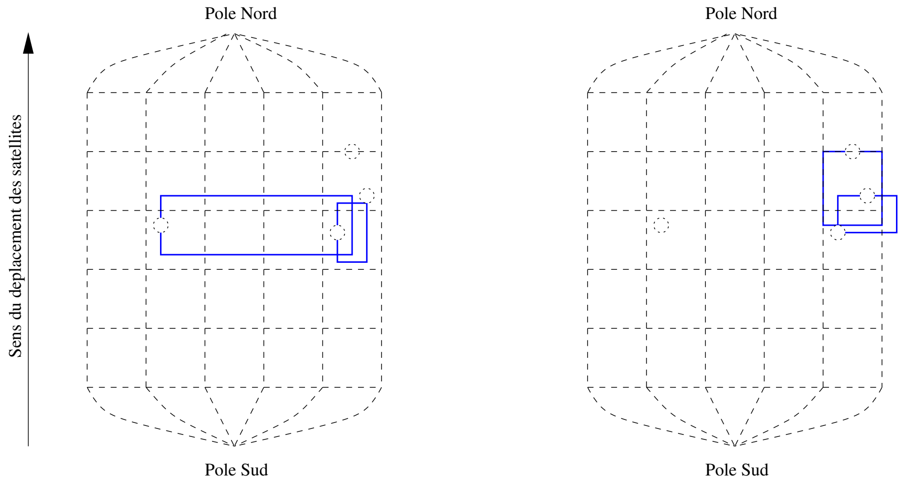
→ Cela donne un problème de max-load en 2D.



Pourquoi est-ce meilleur?



Algorithme classique avec réservation



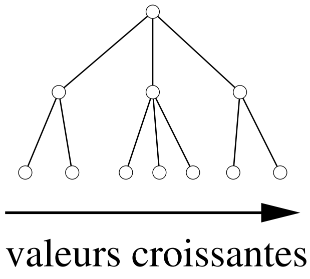
Réservation géographique X   Réservation géographique Y

→ On réserve exactement ce qu'il faut pour que la com persiste.

Aspects de compléxité [Imai, Asano, 1983]

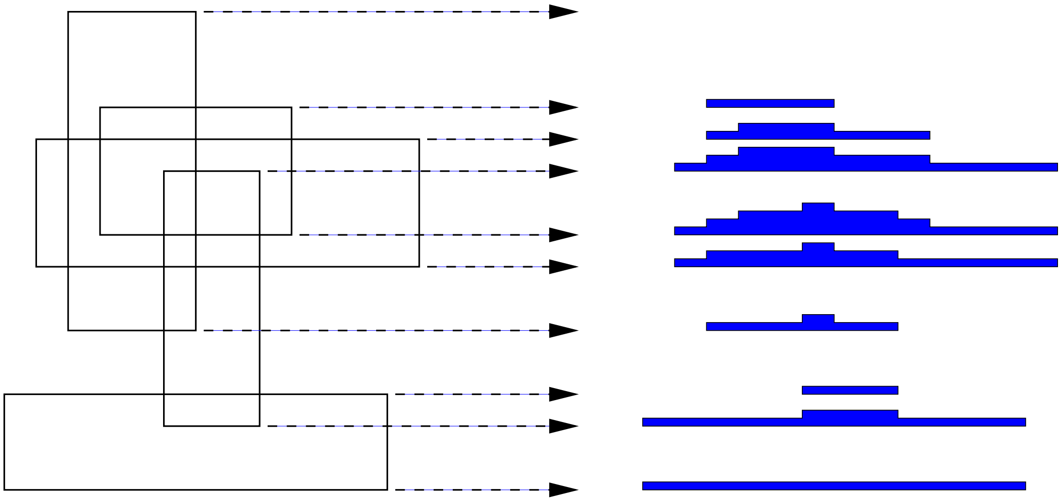
→ Utilisation des 2/3 arbres dans un parcours linéaire du plan

- Un 2/3 arbre est un arbre dont toutes les feuilles ont la même hauteur et pour chaque sommet qui n'est pas une feuille a deux ou trois fils.



Les feuilles contiennent n valeurs réelles, rangées en ordre croissant.
L'insertion ou la supression d'une feuille se fait en $O(h) = O(\log(n))$.

- On parcours le plan suivant l'un des axes, et on cherche à relever le max load.

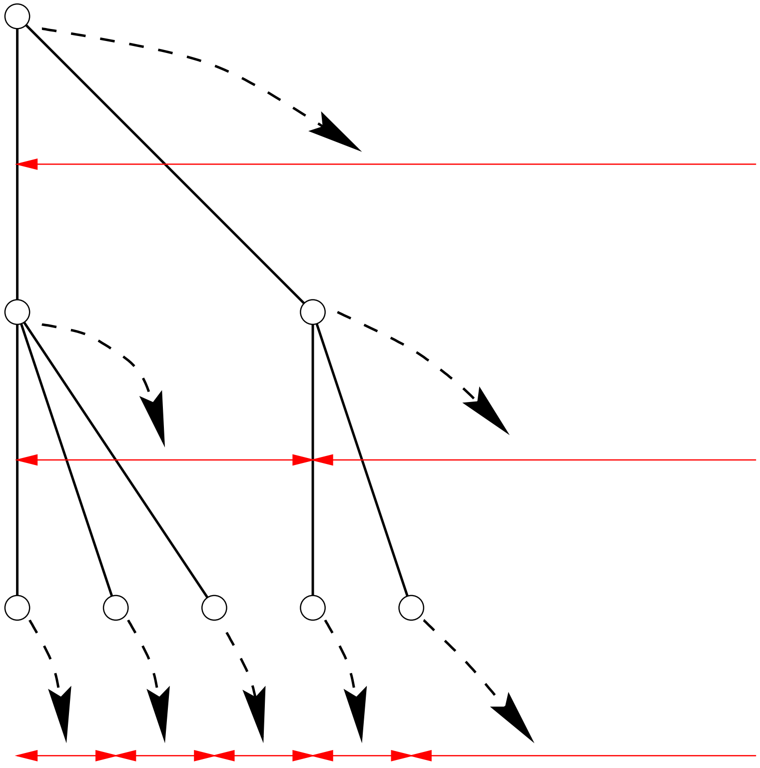


Utilisation des 2/3 arbres

Chaque sommet de l'arbre indique quelle est la charge à sa droite.
Un père est à la droite de tous ces fils.
Chaque noeud contient deux informations

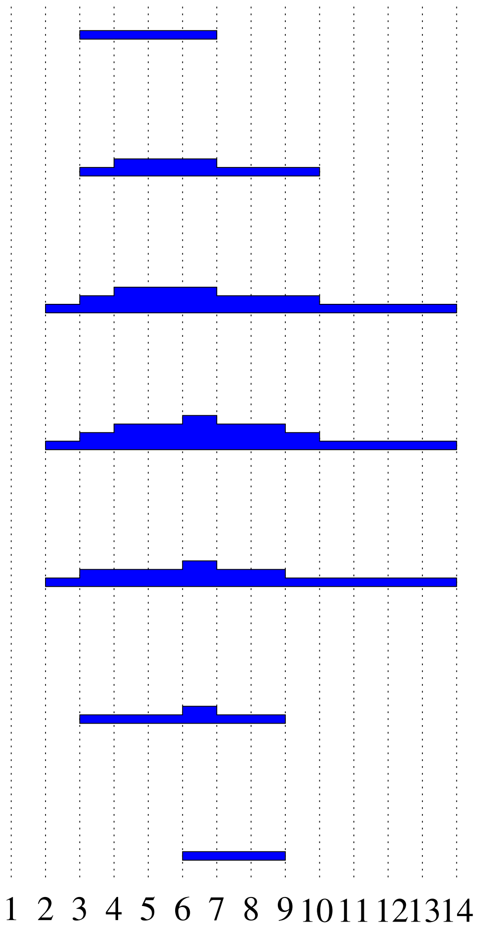
- ADD=Charge à rajouter à partir de ce noeud.
- MAX=Charge maximum sous son arborescence.

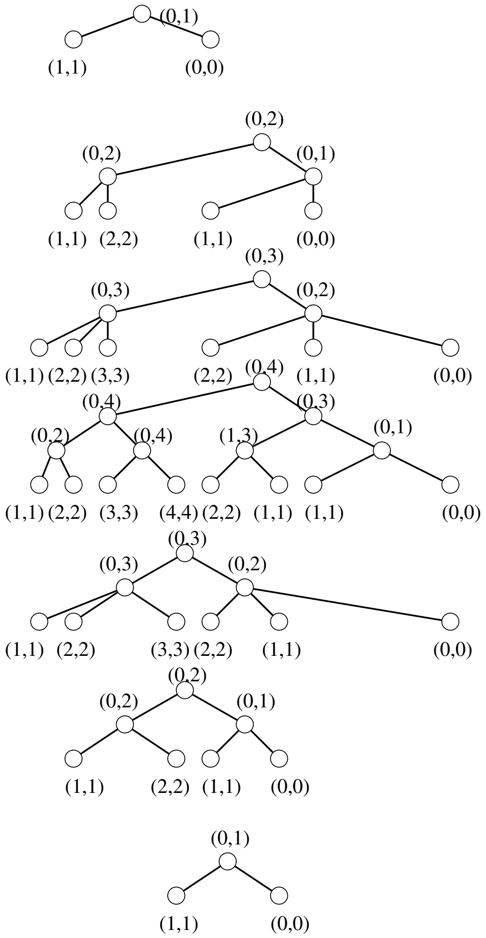
MAX:=ADD+{Max des fils}



Fonctionnement de l'algorithme

On ne descend que sur un nombre fini de niveaux pour mettre l'arbre à jour.





→ la complexité est en $O(n \log(n))$.

Limites de l'approche des 2/3 arbres

L'algorithme est une version incrémentale d'un algorithme 1D déployée en 2D.
Si l'algorithme incrémental a une compléxité de $n\alpha(n)$ en dimension d, alors on sait résoudre le problème global en dimension $d+1$ en $n\alpha(n)$ également.

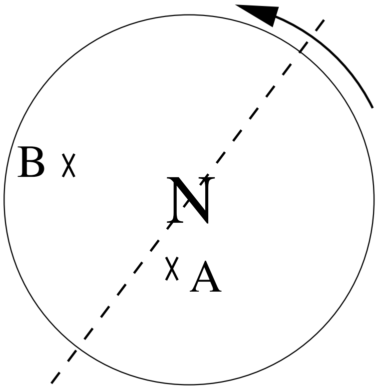
Or les demandes d'appel se font de manière spontanée, i.e., incrémentale.
→ on a besoin d'algorithmes en dimension supérieure à 2.

Ce qui est connu aujourd'hui:

[Overmars,Yap 1991] Algorithme en $O(n^{d/2}\log(n))$.
→ Cela augure d'un algorithme incrémental en $(O(\sqrt{n}\log(n)))$.

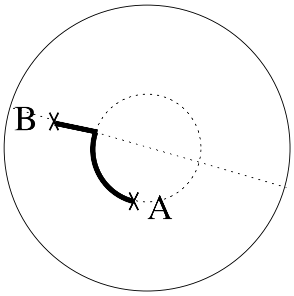
Le problème de la couture

La couture a un mouvement apparent d'une période de un jour.

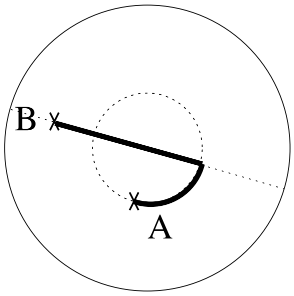


Le problème est résolu en:

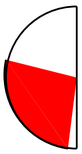
- passant à trois dimensions (le temps est maintenant une dimension)
- réservant deux routes.

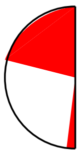


A et B du même coté

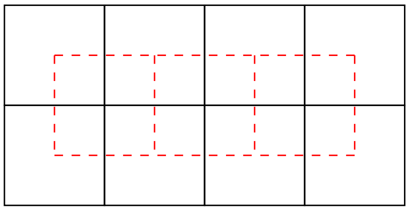


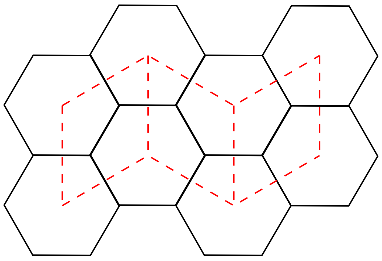
A et B de coté opposé



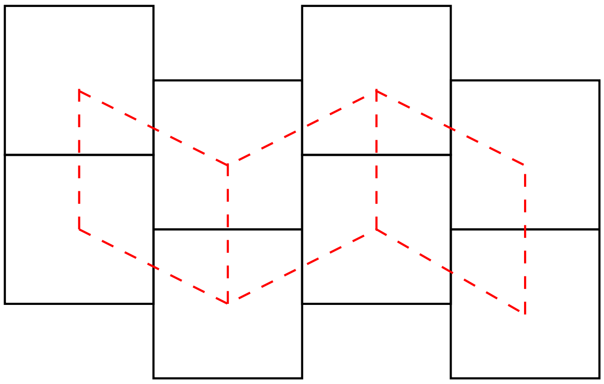


Le problème des cellules hexagonales


Modèle

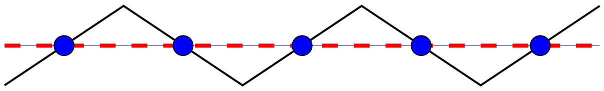

Réalité

On étudie pour cela un modèle intermédiaire:

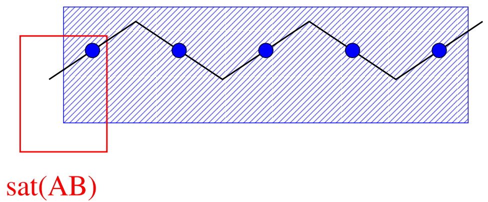


Le modèle intermédiaire

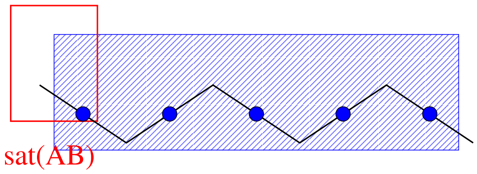
- Ce qui se passe bien: les milieux des liens restent alignés.



- Ce qui se passe mal: on ne sait plus reconnaître l'intersection d'une route XY



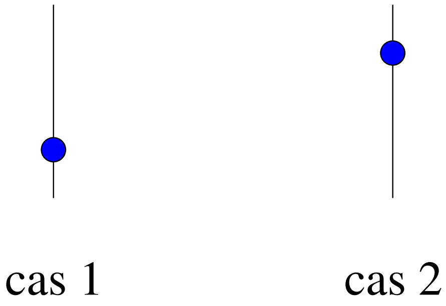
Cas 1

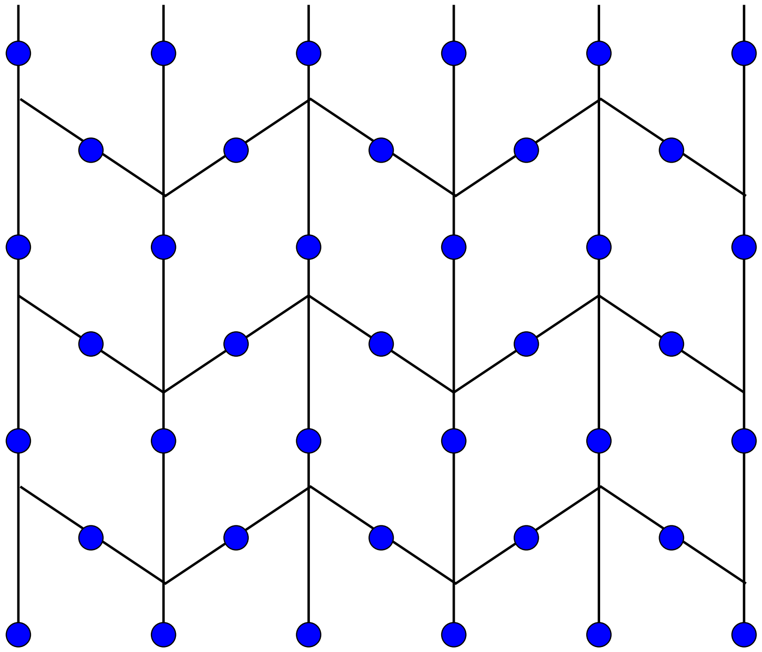


Cas 2

Une approche pour le modèle intermédiaire (1/2)

Une idée consiste à changer la localisation des liens verticaux.

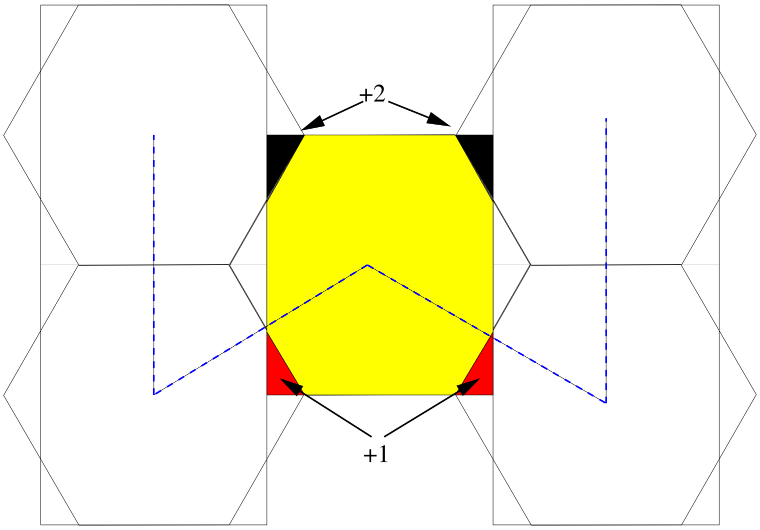




→ reste à régler un problème de localisation à l'arrivée.

Une approche pour le modèle intermédiaire (2/2)

- Pour retomber dans le carré, on réserve en moyenne $1/4$ lien en plus
- On repasse à l'hexagone au cas par cas:



Une petite aire fait $\frac{1}{4}\left(1-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2$.

On perd en tout $\frac{3}{2}\left(1-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 \approx 0,268$ liens pour retrouver la cellule hexagonale.

→ et de nombreuses petites optimisations si on y regarde de plus près...

Directions de recherche futures

- Amélioration de la complexité du problème algorithmique
- Résolution plus propre du cas “cellules hexagonales”
- Utilisation de chemins non-rectangles
- Fusion pour les 2π-constellations et multicast