

Les réseaux métropolitains sans f l

Présentation réalisée dans le cadre du
CAPAES (prof. Dufour).

Le concept.

- La libéralisation de la bande micro-ondes dite ISM a conduit au développement de cartes réseaux sans fil
- A l'origine ses cartes permettent des débits de quelques Mbits/s sur des distances de quelques dizaines de mètres pour des communications à l'intérieur de bâtiments, la législation existante est assez stricte
- Quelques pionniers vont tenter à partir du matériel existant et de matériel de fabrication artisanale de bâtir des réseaux de type IP couvrant de grandes distances correspondant à la taille d'une grande ville ou à la distance entre deux villages isolés.

- Premières initiatives aux Etats-Unis: Seattle, San Francisco, Boston ou New-York
- Les australiens ne sont pas en reste non plus, grandes distances!
- En Europe : Londres, Paris, Prague, Leiden, Lille,vBruxelles -> « Réseau Citoyen »



Le Réseau Citoyen.

- Pensé à l'origine par un groupe de personnes oeuvrant dans le domaine de projets citoyens à Bruxelles ou dans le développement de réseaux en Afrique pour le diagnostic médical à distance, cette initiative porte le nom de Bombolong (du nom évocateur d'un tam-tam africain),
- L'idée débouche sur le concept de Réseau Citoyen à la fois laboratoire de recherche pour les projets africains et réseau de type IP construit par les citoyens pour les citoyens de la ville
- Suite à plusieurs rencontres le projet fait des émules: Liège et Lille par exemple.

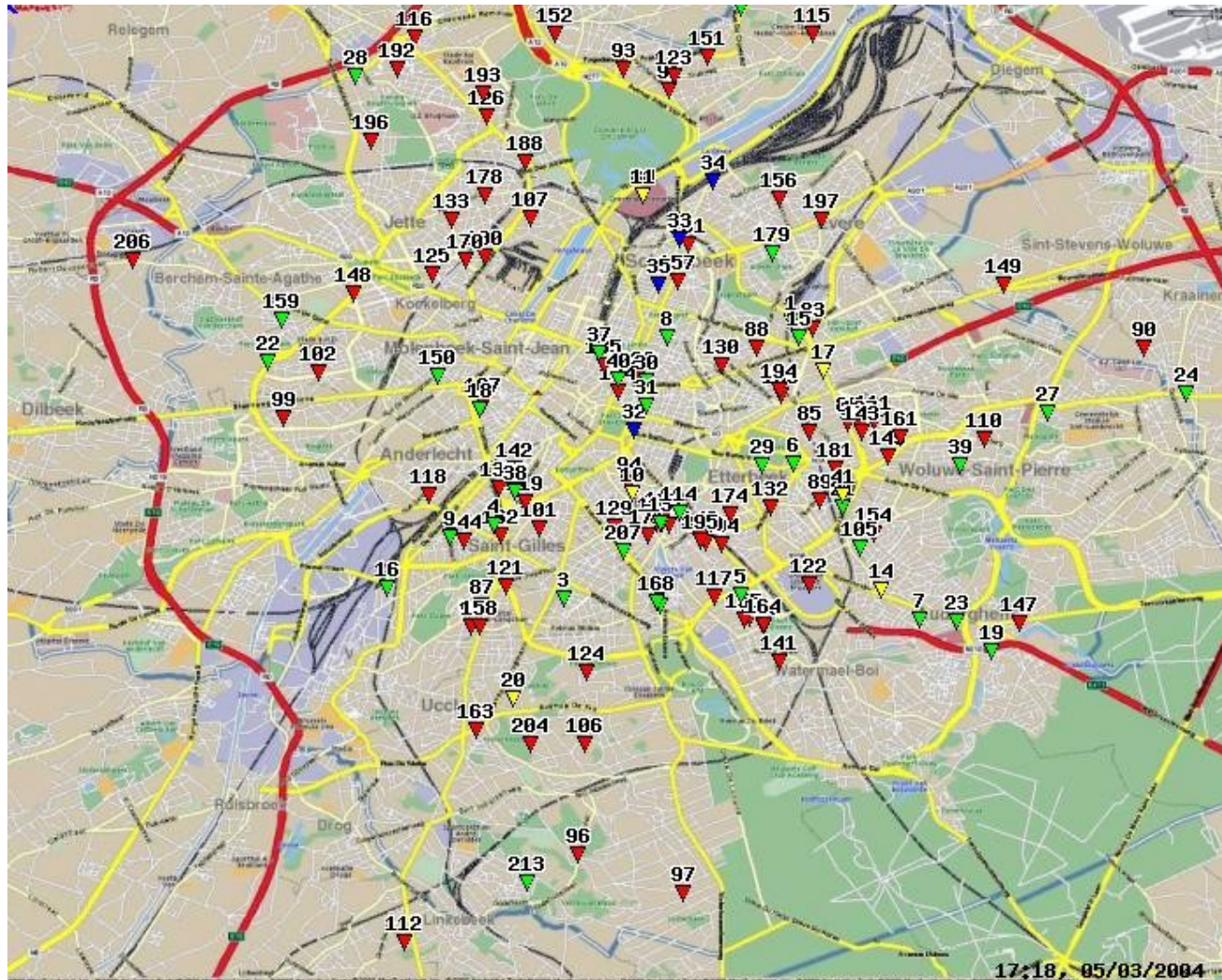
La philosophie et ses implications techniques.

- Les réseaux métropolitains existant possèdent de nombreux points communs (cartes réseaux, antennes), mais également des différences: architecture du réseau de type ad-hoc ou à point d'accès, routage utilisant un backbone ou pas.
- Ces différences techniques sont en fait la traduction de la philosophie résultant de la vision commune des participants à ces réseaux:
- Leiden Wireless (Pays Bas): routage assuré par le protocole Ospf, plusieurs points faisant également office de point d'accès
- Réseau Citoyen n'utilise pas de point d'accès, le routage est assuré par un protocole n'imposant pas de point privilégié (donc pas de backbone): Aodv, Olsr ou Zrp sont des bons candidats

L'infrastructure.

- A Bruxelles, réseau de relations: amis, voisins, institutions ou milieu associatif
- Idée de départ: la densité des nœuds permettra la connectivité et l'existence même du réseau
- Phase transitoire: points « bien en vue » tels que 20e étage d'une tour, toits d'hôpitaux, d'écoles supérieures, d'universités, de bâtiments de logement sociaux ou d'immeubles en copropriété
- Pour chaque point: hardware tournant un système d'exploitation et software fournissant les fonctionnalités de réseau nécessaires: routage et éventuellement services de type IP, carte émettrice-réceptrice, antenne adaptée au point, connectique, alimentation, fixation et protection physique nécessaires.

- Voici une carte représentant les points actuels constituant le réseau à Bruxelles, le code de couleur détaille l'avancement du projet:



Le hardware.

- Au niveau de la « carte mère », grande diversité de matériel :
 - PC de récup (486 ou PI), installé dans un bac/boîtier en plastique sanglé ou vissé: CitizenBac
 - système embarqué sans pièce mobile (CitizenBox, Soekris...) robuste et peu gourmand en énergie
 - Access Point ou Routeurs vendus dans le commerce: prix moyens, faibles (pas de pièce mobile) mais peu performants (processeur, pile IP), « refashés » (installation d'un Unix minimal avec fonctionnalités réseau)
- Carte émettrice-réceptrice: le choix s'est porté sur le matériel le plus performant: Cisco Aironet type CardBus et Senao, connecteurs Mmcx
- Antennes : le choix est le fruit de nombreux essais , nous utilisons des antennes omni, à polarisation verticale et de gain 5 à 10 dB

Le software.

- Problème de coût (Afrique), Windows ou MacOSX semblent être éliminés d'emblée, sauf si on dispose déjà d'un ordinateur fourni avec un de ces systèmes, si on part de « rien » autant se tourner vers un des Unix libre.
- Encore faut-il que le software nécessaire soit porté, sinon il faudra le développer soi-même
- Linux (et Debian est souvent privilégié par les acteurs du réseau) et Bsd (FreeBsd en particulier à la base de MacOSX) semblent être appropriés
- Tous les systèmes cités disposent des fonctionnalités réseaux de base y compris les services de type IP classiques, en ce qui concerne le routage dynamique, cela peut poser problème (voir plus loin)

Puissance et législation.

- La puissance est exprimée en Watts ou alors en décibels par rapport au milliwatt (dBm).
- Correspondance entre puissance en Watts (W) et puissance en « décibels milliwatts » (dBm):
 - $(\text{dBm} = 10 * \log_{10}(P / 0.001))$ avec P la puissance donnée en Watts
- Les cartes Orinoco ont une puissance d'émission de 30mW (15dBm)
- La puissance rayonnée (puissance émise par l'antenne) se calcule en dBm:
 - Puissance rayonnée [dBm] = puissance d'émetteur [dBm] - perte dans le cable [dB] + gain d'antenne [dBi]
- La limite légale de puissance rayonnée est de 100mW (20dBm)

Votre point RC.

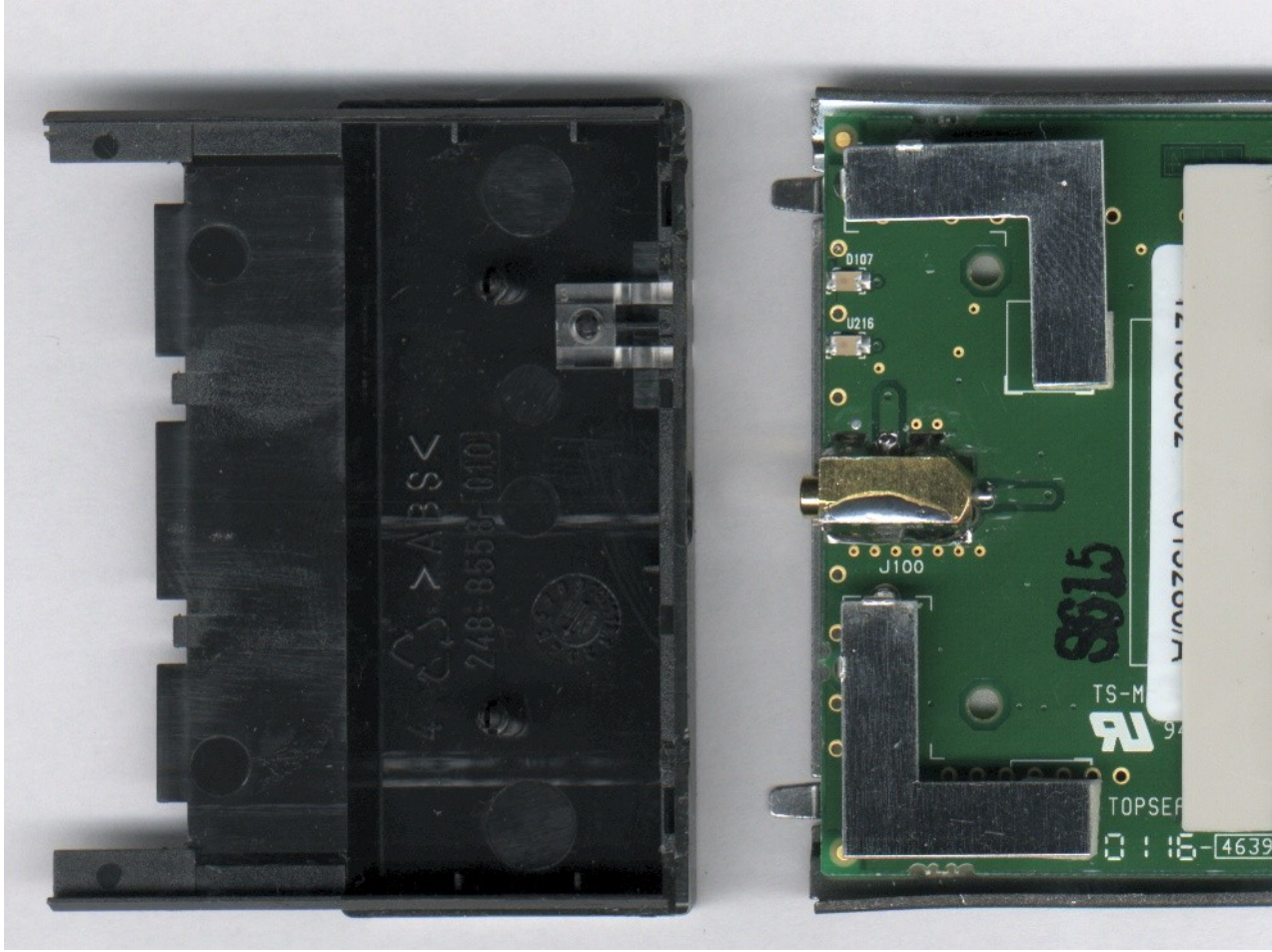
- From low-end to high-end.
- Wet11
- CitizenBac
- CitizenBox
- Soekris
- Le futur: systèmes embarqués

De l'émetteur jusqu'à l'antenne.

- Wet11
- Carte Usb
- Avaya, pigtail et colinéaire.
- Cisco et colinéaire, antenne sectorielle ou guide d'onde.
- Senao et parabolique

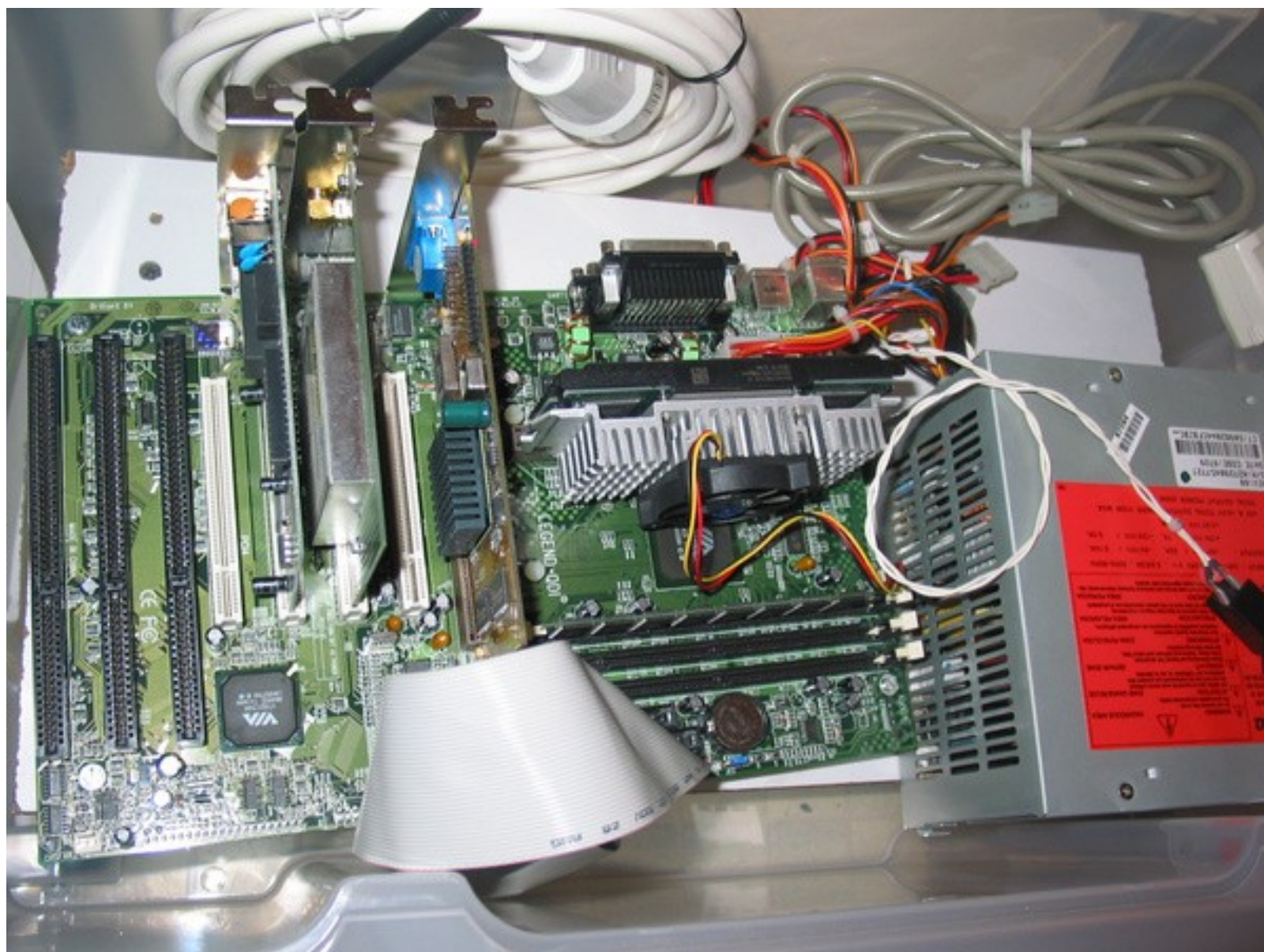
















Câbles.

- Perte dans un câble coaxial à 2.45 GHz: valeurs typiques pour quelques câbles coaxiaux courants:
 - RG 58 (utilisé pour les réseaux Ethernet): 1 dB/m
 - RG 213 (épais, noir, très courant): 0.6 dB par mètre
 - LMR-400: 0.22 dB/m

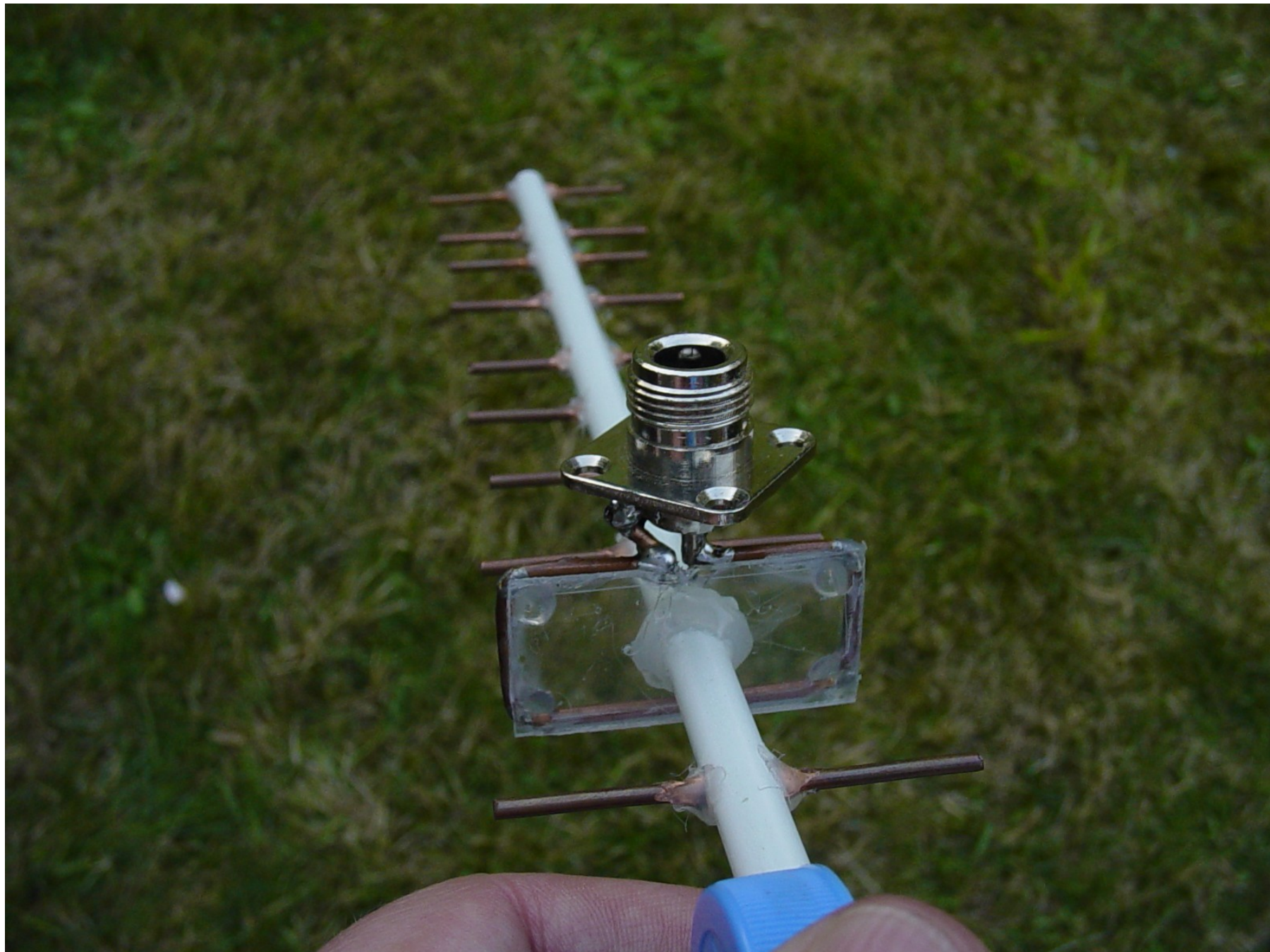




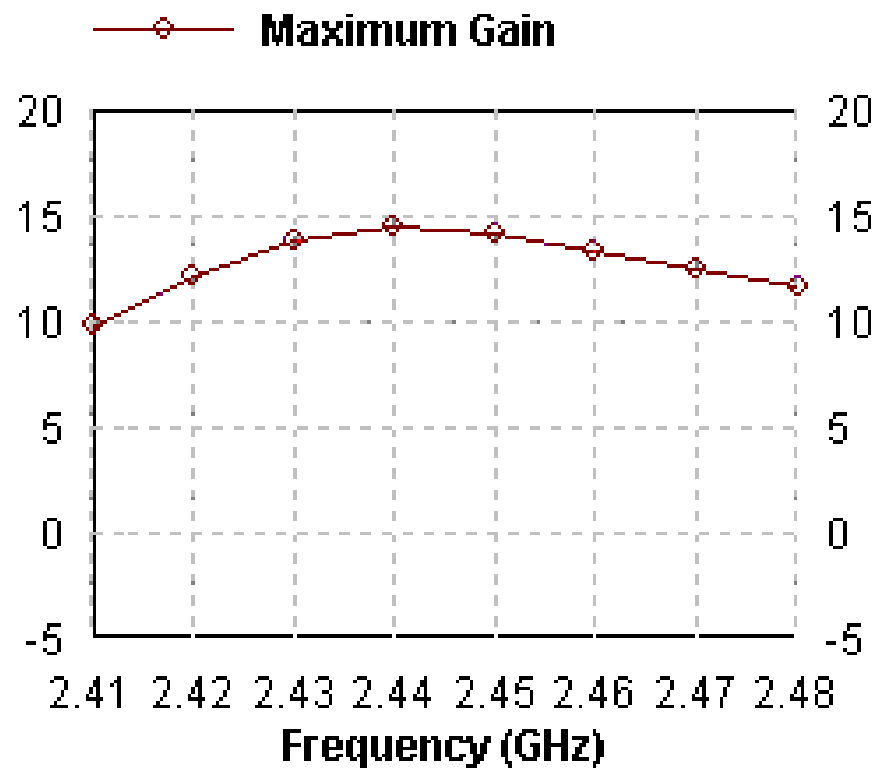
Antennes

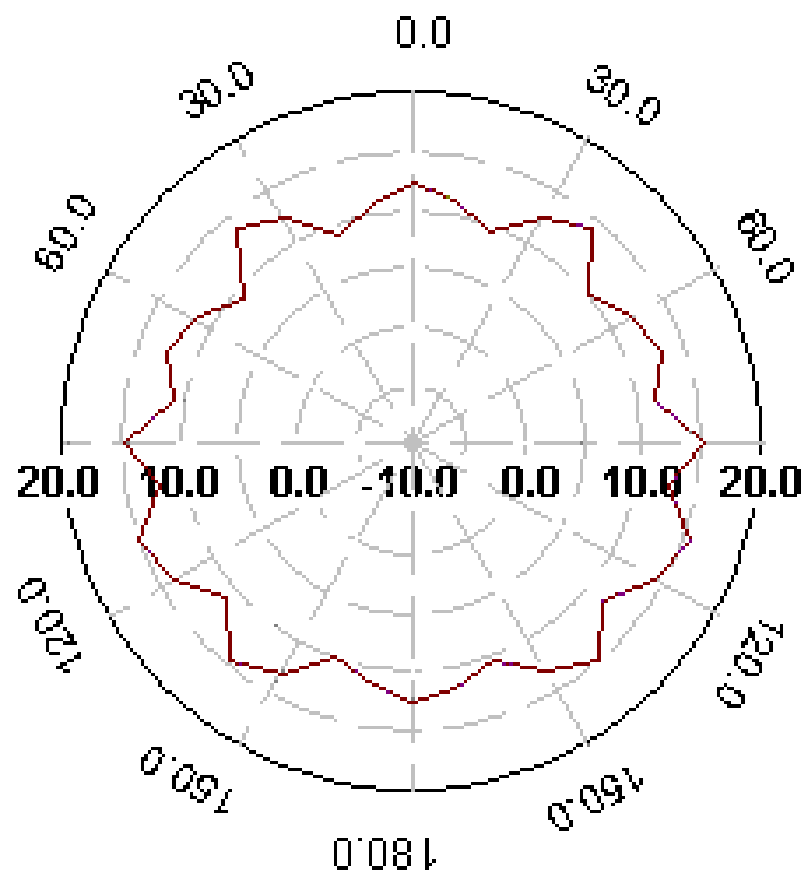




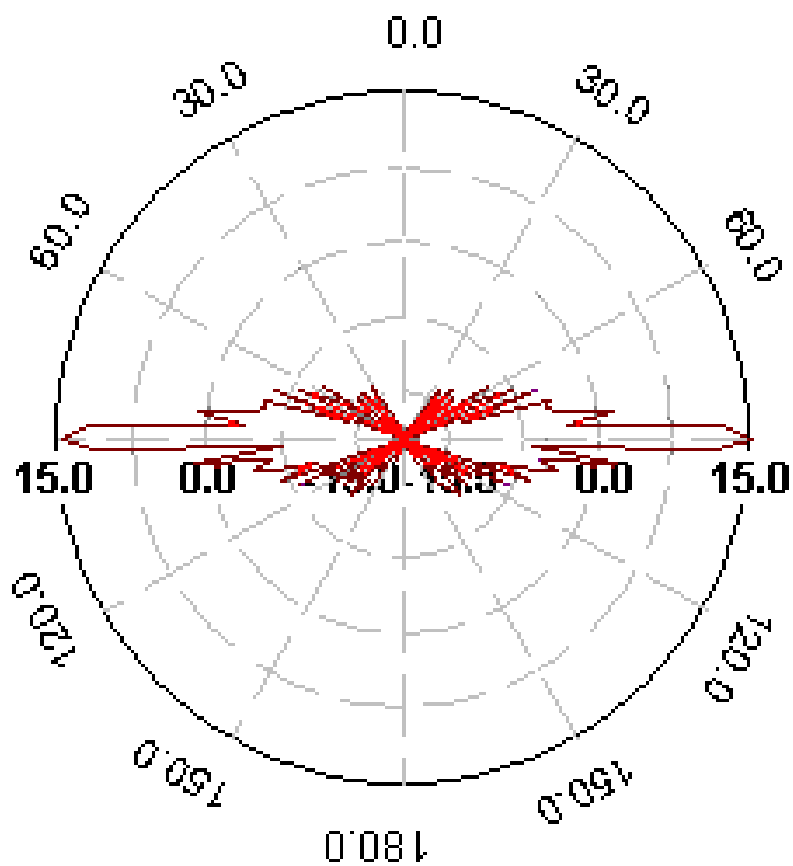


Gain Vs. Frequency





**Azimuth Pattern Gain Display
(dBi)**



**Elevation Pattern Gain Display
(dBi)**

Le bilan de liaison.

- Tient compte des différents éléments:
 - Cartes
 - Câbles
 - Antennes
 - Distance
 - Environnement

Bilan de liaison: détails

- $P_{\text{carte}} - \text{perte cable émetteur} + \text{gain antenne émetteur} - \text{perte due à distance} + \text{gain antenne récepteur} - \text{perte cable récepteur} = \text{valeur en dB}$
- Comparer cette valeur avec les caractéristiques gain/sensibilité de la carte pour voir si échange de paquets possible et débit possible
- Si distance d en mètres
 - > $\text{perte en dB} = -41 \text{ dB} - 20 \log d$ (approximation)
 - 121 dB de perte pour 10 kms
 - 101 dB de perte pour 1 km
 - 107 dB de perte pour 2 kms

- Sensibilité de réception: exemple: 802.11b
 - 11 Mbps: -85 dBm
 - 5.5 Mbps: -89 dBm
 - 2 Mbps: -91 dBm
 - 1 Mbps: -94 dBm

Les micro-ondes en environnement urbain.

- Nous ne sommes pas seuls
- Des miroirs pour les micro-ondes

#	Ch	SSID	BSSID	Enc	Type	Signal	Avg	Max	Packets	Data	Last Seen
0	10	bombolong	02:00:3F:E9:8F:B9	NO	ad-hoc	69	69	69	0	0B	2004-05-03 18:06:44 +02
1	1	bombolong	02:06:A3:43:36:BA	NO	ad-hoc	0	0	35	0	0B	2004-05-03 18:04:33 +02
2	9	SANTIS50-4D02B	00:90:96:4D:02:B2	WEP	managed	0	0	29	0	0B	2004-05-03 18:04:13 +02
3	1	Apple Network 3c	00:02:2D:3D:24:98	NO	managed	0	0	22	0	0B	2004-05-03 18:04:25 +02
4	1	AC102	00:04:76:A7:A8:AF	NO	managed	0	0	34	0	0B	2004-05-03 18:04:24 +02
5	11	eurospot	00:A0:F8:52:DA:D7	NO	managed	0	0	21	0	0B	2004-05-03 18:04:07 +02
6	6	61076661	00:00:C5:C4:7D:75	NO	managed	0	0	26	0	0B	2004-05-03 18:04:22 +02
7	10	Apple Network f7i	00:0A:95:F7:09:2D	WEP	managed	0	0	18	0	0B	2004-05-03 18:01:46 +02
8	1	eurospot	00:A0:F8:52:E2:5E	NO	managed	0	0	21	0	0B	2004-05-03 18:03:26 +02
9	7	REGIEDG	00:10:E7:F5:DD:D2	WEP	managed	0	13	19	0	0B	2004-05-03 18:06:04 +02
10	1	eurospot	00:A0:F8:52:E2:96	NO	managed	0	0	18	0	0B	2004-05-03 18:03:24 +02
11	1	bombolong	02:02:2D:22:2B:9B	NO	ad-hoc	0	21	69	0	0B	2004-05-03 18:06:11 +02
12	1	bombolong	02:06:CD:74:36:BA	NO	ad-hoc	0	0	26	0	0B	2004-05-03 18:04:46 +02
13	1	bombolong	02:06:DE:72:36:BA	NO	ad-hoc	0	23	25	0	0B	2004-05-03 18:05:56 +02
14	1	bombolong	02:06:1A:17:36:BA	NO	ad-hoc	0	21	25	0	0B	2004-05-03 18:06:22 +02



La config. de l'interface sans fil.

- ESSID
- Canal
- Cellule...

Les utilitaires réseaux.

- *Stumbler et consorts
- Ping et Traceroute
- Tcpdump

Le routage.

- Pas de routage multi hop avec les protocoles classiques
- Choix de protocoles du groupe MANET
- Aodv et Olsr à l'essai, Zrp en développement,
- Ospf est un protocole imposant une hiérarchie: on définit une Zone0 (backbone)

La sécurité sur le réseau.

- Le Wep et le futur.
- La philosophie du réseau à ce sujet.
- La loi.
- Le partage de connexion
- L'accès au LAN et à Internet
- Ssh, Scp: mes amis!

Les applications.

- VoIP
- Web/Wiki
- Jeux en réseau
- Cluster
- Streaming audio (radios libres)
- P2PDns



Le routage dynamique

- Aodv: Ad-hoc On demand Distance Vector routing protocol (réactif)
- Olsr: Optimised Link State Routing(proactif)
- Zrp: Zone Routing Protocol (hybride, en développement)

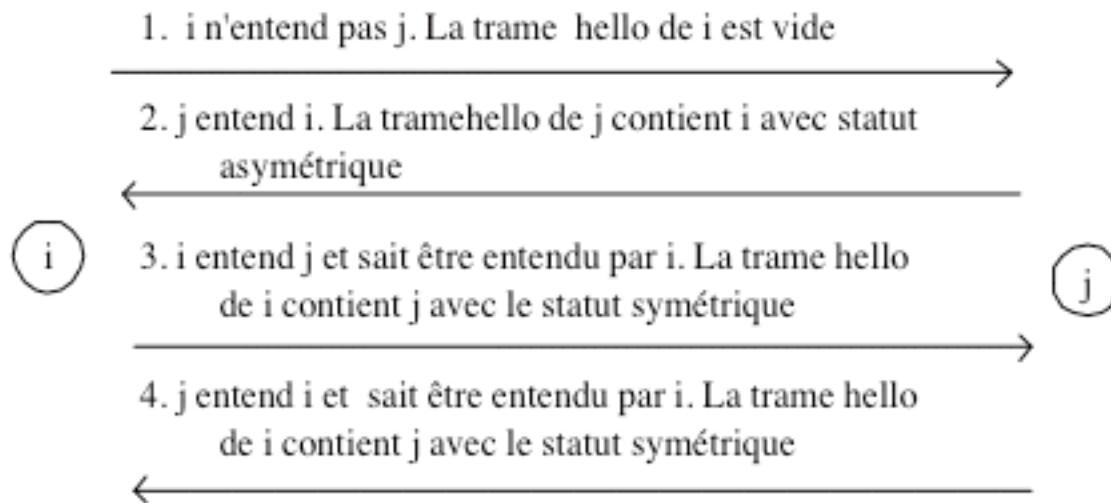
OLSR

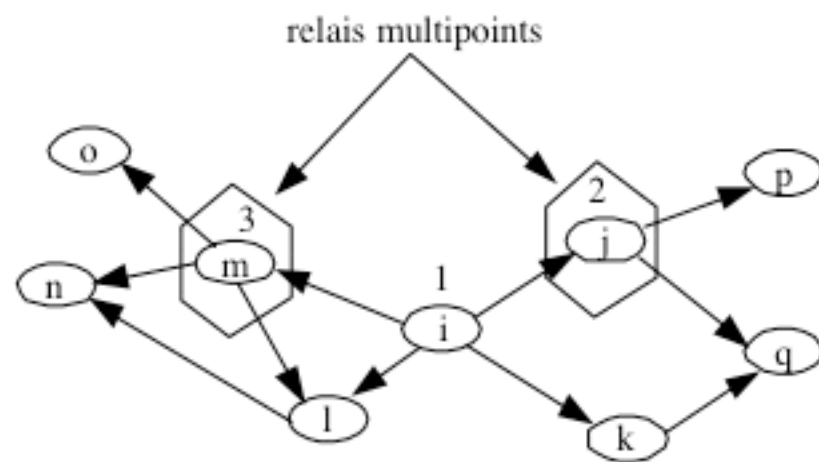
- Optimised Link State Routing
- Proactif: les routes sont systématiquement cherchées et stockées
- Neighbour sensing: chaque nœud cherche à entrer en contact avec ses voisins, envoi périodique de paquets «Hello » entre voisins immédiats avec info de Link State (état de lien)
- MPRs: élection de MultiPoint Relays (relais multipoints) afin d'optimiser le trafic
- Envoi de paquets TC (Topology Control)

- Inconvénient:
 - Génère à priori plus de trafic que Aodv
- Avantages:
 - Ne monopolise pas le réseau (point de vue interface et masque IP)
 - Propagation HNA (Host Network Announce) d'un gateway par exemple
 - Existe pour Linux, MacOSX et Windows

OLSR

- Etablissement d'une route:



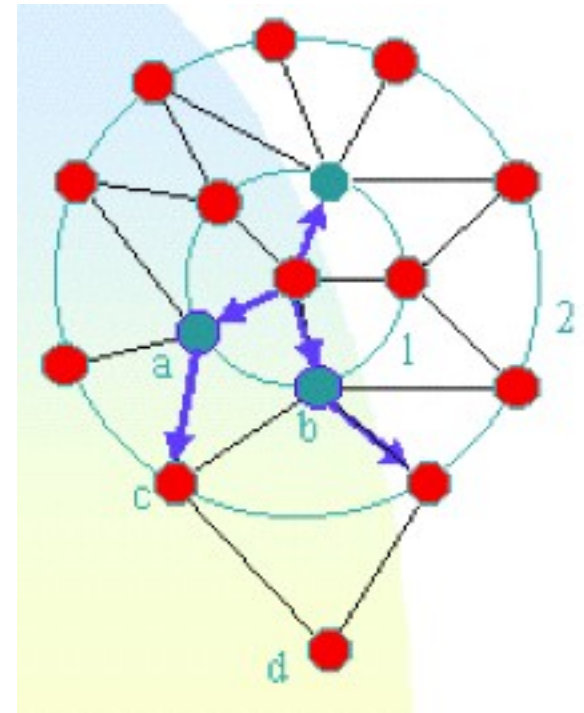


MPRs

- Élus
- Situés dans un rayon de 2 hops maximum
- Utilisés pour la réémission

MPRs

- Réémission: exemple:
 - c relaie a pour d
 - c ne relaie pas b pour d
 - un autre noeud s'en chargera



La mienne en OLSR sur la soekris (avec lien sur Internet)

LEAF Bering-uClibc soekris 2.4.24 #4 Sat Feb 28 16:46:09 CET 2004

```
soekris# ip route sh
10.117.115.77 via 10.222.131.109 dev wlan0 metric 2
10.222.131.109 dev wlan0 scope link metric 1
192.168.10.0/24 dev eth0 proto kernel scope link src 192.168.10.69
10.0.0.0/8 dev wlan0 proto kernel scope link src 10.25.45.32
default via 192.168.10.10 dev eth0
```

La même sur le portable (OLSR) en ayant reçu un message HNA (Host and Network Announce)

Avec IProute2

```
[root@localhost root]# ip route sh
10.222.131.109 dev eth1 scope link metric 1
10.25.45.32 via 10.222.131.109 dev eth1 metric 2
10.0.0.0/8 dev eth1 scope link
127.0.0.0/8 dev lo scope link
default via 10.222.131.109 dev eth1 metric 2 (comme la soekris doit passer
par 10.22.131.109 la route par défaut est directement adaptée sur le
portable :-)
```

Avec la commande route

```
[root@localhost root]# route -n
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use
iface
10.222.131.109 0.0.0.0 255.255.255.255 UH 1 0 0 eth1
10.25.45.32 10.222.131.109 255.255.255.255 UGH 2 0 0 eth1
10.0.0.0 0.0.0.0 255.0.0.0 U 0 0 0 eth1
127.0.0.0 0.0.0.0 255.0.0.0 U 0 0 0 lo
0.0.0.0 10.222.131.109 0.0.0.0 UG 2 0 0 eth1
```


Bering LEAF Firewall

::Interfaces::

```
1: lo: mtu 16436 qdisc noqueue
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
    inet 127.0.0.1/8 scope host lo
2: dummy0: mtu 1500 qdisc noop
    link/ether 00:00:00:00:00:00 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
3: eth0: mtu 1500 qdisc pfifo_fast qlen 1000
    link/ether 00:00:24:c1:12:38 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 192.168.10.69/24 brd 192.168.10.255 scope global eth0
4: eth1: mtu 1500 qdisc noop qlen 1000
    link/ether 00:00:24:c1:12:39 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
5: eth2: mtu 1500 qdisc noop qlen 1000
    link/ether 00:00:24:c1:12:3a brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
6: wlan0: mtu 1500 qdisc pfifo_fast qlen 1000
    link/ether 00:90:4b:19:2d:20 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 10.25.45.32/8 brd 10.255.255.255 scope global wlan0
```

::Routes::

```
10.117.115.77 dev wlan0 scope link metric 1
10.222.131.109 dev wlan0 scope link metric 1
10.96.113.1 via 10.117.115.77 dev wlan0 metric 2
192.168.10.0/24 dev eth0 proto kernel scope link src 192.168.10.69
10.0.0.0/8 dev wlan0 proto kernel scope link src 10.25.45.32
default via 192.168.10.10 dev eth0
```



iBookG4:~ eg\$ ssh root@10.10.10.2

root@10.10.10.2's password:

LEAF Bering-uClibc soekris 2.4.24 #4 Sat Feb 28 16:46:09 CET 2004

Type in help if you are really lost

soekris# ip route sh

10.154.65.209 dev eth2 scope link metric 1

10.17.222.47 via 10.154.65.209 dev eth2 metric 2

192.168.1.0/24 dev eth0 proto kernel scope link src 192.168.1.69

10.0.0.0/8 dev eth2 proto kernel scope link src 10.10.10.2

default via 192.168.1.1 dev eth0

soekris# ls

olsrd olsrquery olsrtrace routes

soekris#

```

root      6683  0.0  3.2  1276  472 ?      S   07:39  0:06 /usr/sbin/pppoe -
root      6769  0.6 10.6  5640 1536 ?      S   16:00  0:00 /usr/sbin/sshd
root      6771  0.1  8.6  2224 1248 pts/1   S   16:00  0:00 -bash
root      6777  0.2  4.9  3624  716 ?      S   16:01  0:00 ./olsrd -i eth0 -
root      6778  0.0  4.9  3624  716 ?      S   16:01  0:00 ./olsrd -i eth0 -
root      6779  0.0  4.9  3624  716 ?      S   16:01  0:00 ./olsrd -i eth0 -
root      6780  0.0  9.8  3296 1420 pts/1   R   16:01  0:00 ps -axu

```

potagere:~# exit

logout

Connection to 10.17.222.47 closed.

madou:~# route -n

Kernel IP routing table

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
10.10.10.2	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	1	0	0	eth0
10.17.222.47	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	1	0	0	eth0
10.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	U	0	0	0	eth0

madou:~# exit

logout

Connection to 10.154.65.209 closed.

soekris# exitConnection to 10.10.10.2 closed.

iBookG4:~ eg\$

```

potagere:~# route -n
Kernel IP routing table

```

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
10.10.10.2	10.154.65.209	255.255.255.255	UGH	2	0	0	eth0
81.240.20.1	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	0	0	0	ppp0
10.34.43.34	10.154.65.209	255.255.255.255	UGH	0	0	0	eth0
10.244.71.173	10.154.65.209	255.255.255.255	UGH	0	0	0	eth0
10.154.65.209	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	1	0	0	eth0
10.136.181.213	10.154.65.209	255.255.255.255	UGH	0	0	0	eth0
10.107.89.21	10.154.65.209	255.255.255.255	UGH	0	0	0	eth0
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
10.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	U	0	0	0	eth0
0.0.0.0	81.240.20.1	0.0.0.0	UG	0	0	0	ppp0

```

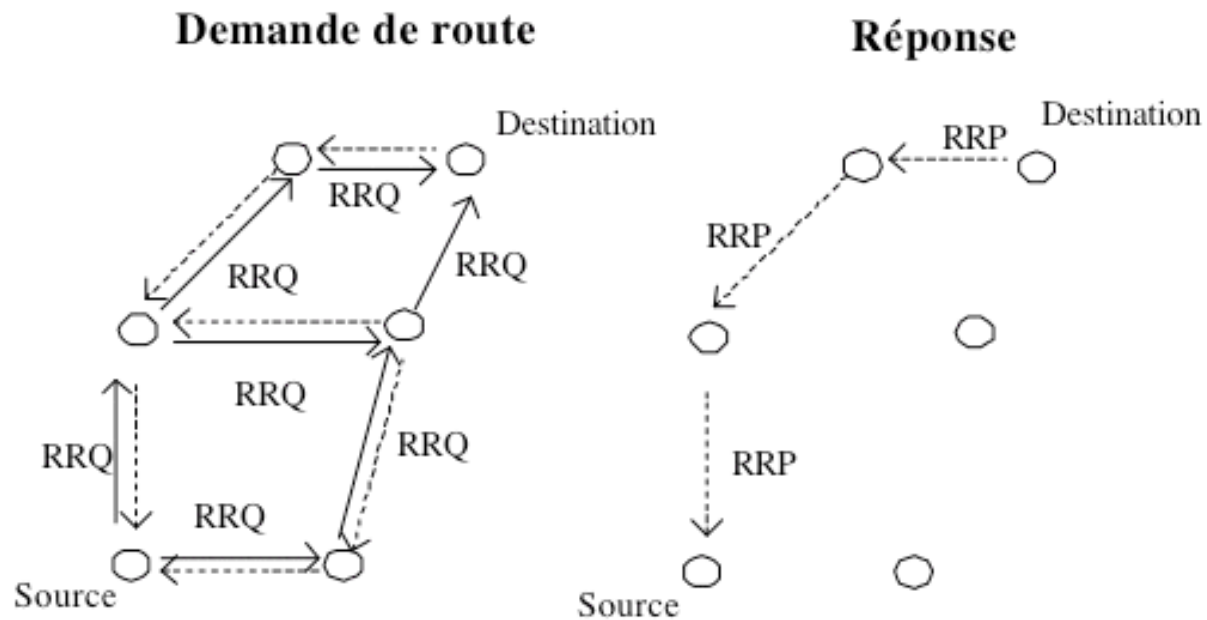
potagere:~# 

```

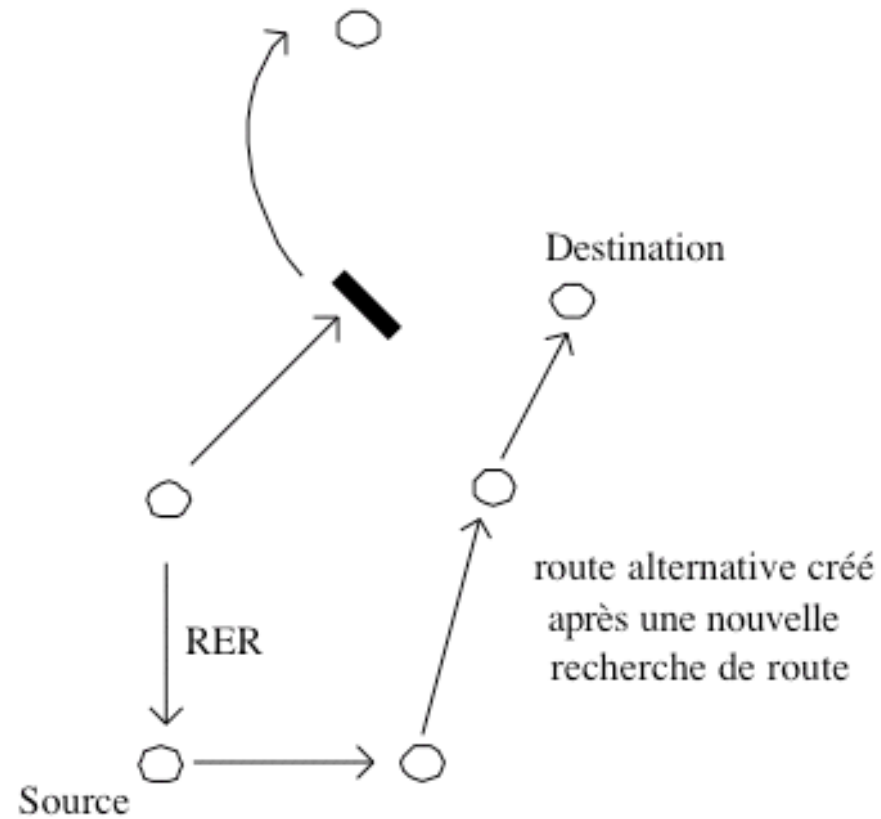
AODV

- Ad-hoc On demand Distance Vector routing protocol
- Réactif: les routes sont établies sur demande
- Basé sur algorithme de type vecteur de distance
- Utilisation de « nombres de séquence » pour éviter les boucles
- Avantages:
 - Génère relativement peu de trafic
 - Met le réseau à plat (toute adresse IP convient)
- Inconvénients:
 - Monopolise le réseau et les interfaces (mais options/patches selon les versions)
 - Peut entraîner des anomalies de routage en cas de lien asymétrique au niveau radio

Etablissement des routes



RER



Aodv: problèmes

- Le nœud coulé:
 - A envoie une information de routage à B
 - B met cette info dans sa table, B va donc vouloir passer par A pour atteindre le réseau
 - B ne peut pas atteindre A car par exemple B est moins puissant (asymétrie couche radio)

Aodv: problèmes

- Présence de lien asymétrique sur le trajet:
 - A envoie une information de routage à Z
 - Z met cette info dans sa table, Z va donc vouloir utiliser cette route et passer par tous les points intermédiaires pour atteindre le réseau
 - Z ne peut pas atteindre A car par exemple le lien entre C et D est asymétrique

Aodv: solution

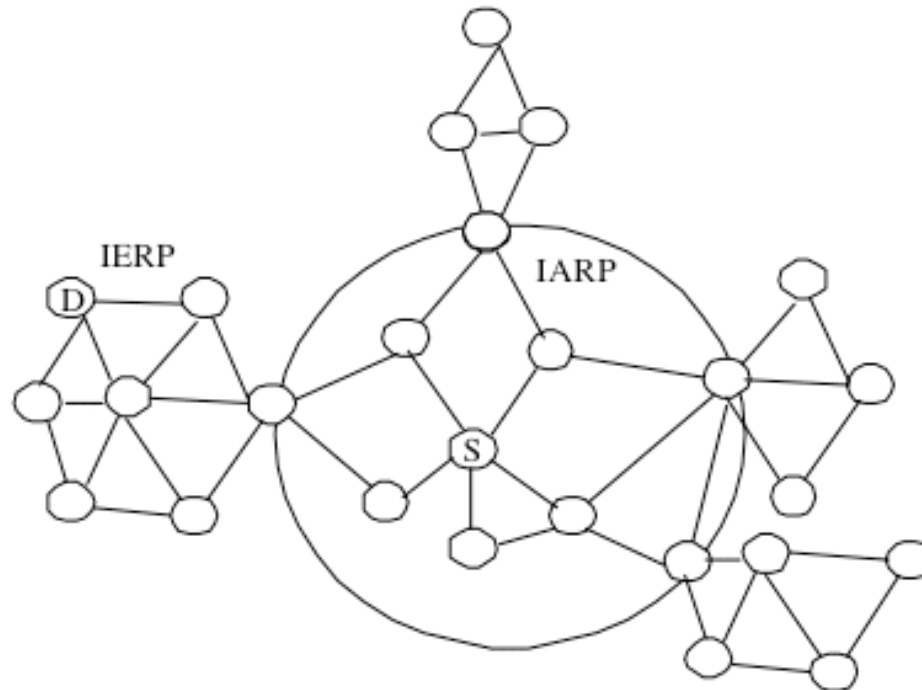
- Forcer le rejet des liens asymétriques
 - Option `-u` pour AodvUU
 - On perd alors l'avantage en terme de trafic généré

ZRP

- Zone Routing Protocol
- En développement (étudiant en stage en entreprise)
- Hybride
- Olsr dans la zone de taille (= nombre de hops) paramétrable
- Aodv pour atteindre les points hors de la zone pour un point donné

ZRP: principe

- IERP (InterA-domain Routing Protocol)
- IARP (IntraA-domain Routing Protocol)



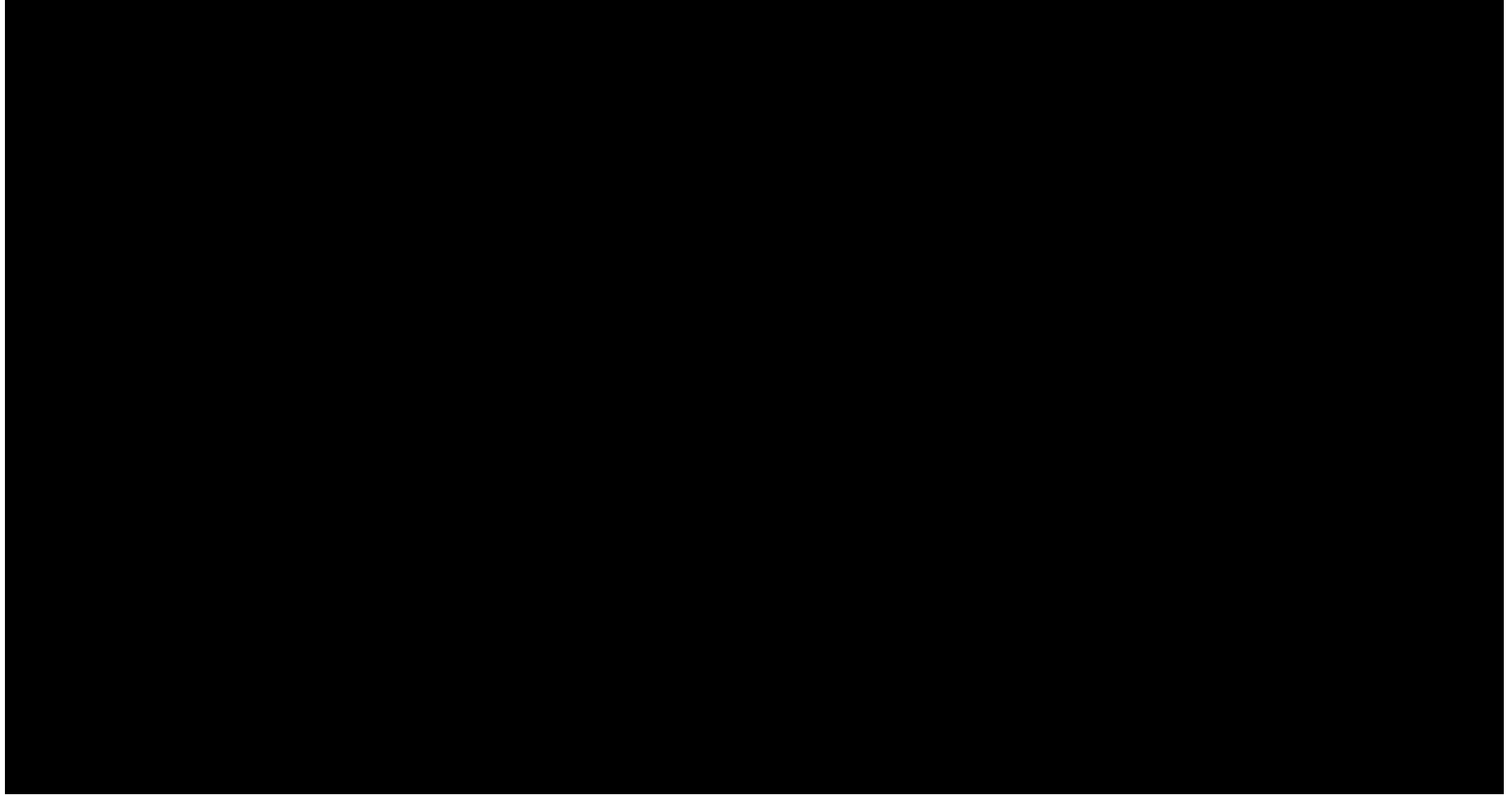
Le futur!

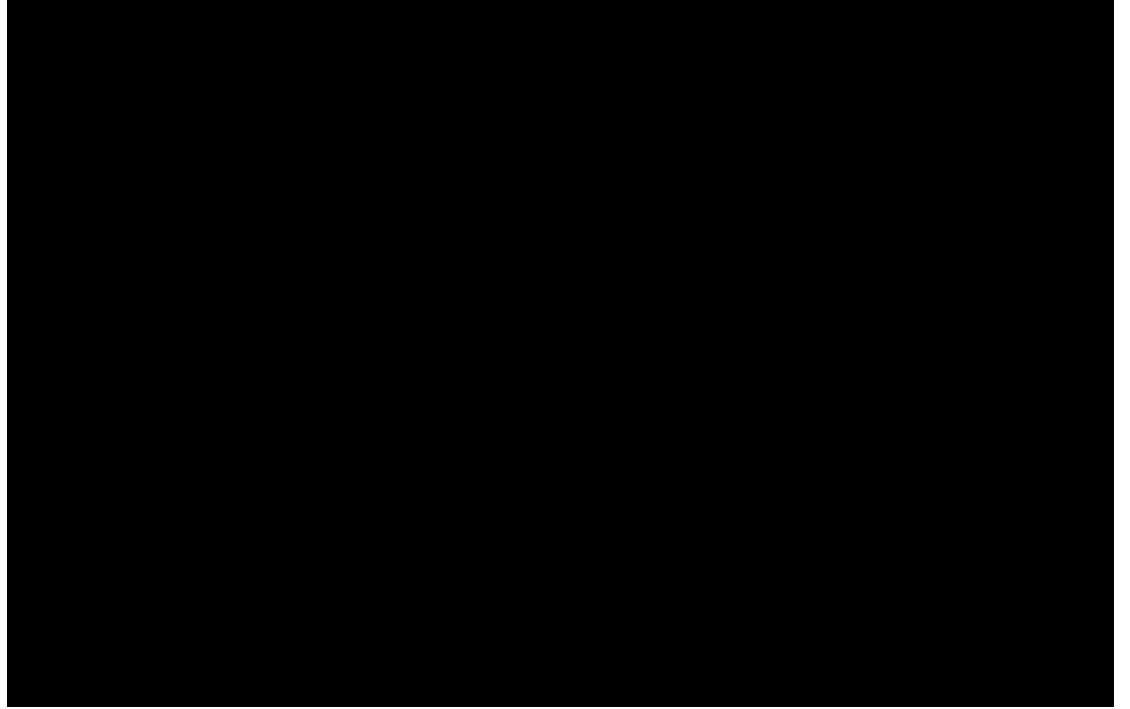
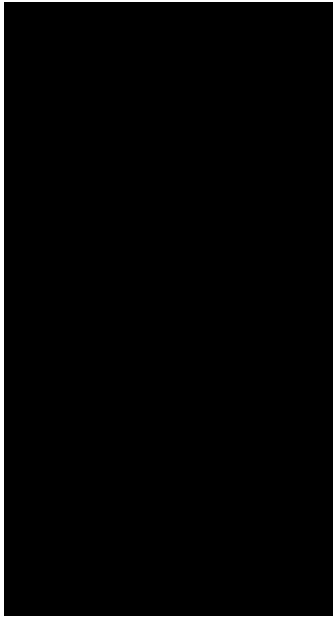
- La norme 802.16

802.16.

- A l'origine: 802.16: fréquences 10–66 Ghz
- Portée: échelle d'une grande ville
- PHY: Physical layer polyvalent
- MAC: Medium Access Control layer
- Largeur des canaux: 20, 25 ou 28 Mhz
- Codages: QAM64, QAM16, QPSK
- Cryptage: DES

- 802.16a: 2–11 Ghz (amendement)
- 802.16b: bande des 5 Ghz (pas de licence nécessaire: US):
High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network:
« HUMAN »
- pour ces deux normes:
 - Support OFDM
 - Topologie « Mesh »
- Exemple: Redline (sort en 2004) un équipement 802.16a:
(bande 3.5GHz) 70Mbps jusqu'à 30 kms





On part à l'aventure...



















eBibliographie

- Wiki <http://reseaucitoyen.be>
- « Unidirectional Links Prove Costly in Wireless Ad Hoc Networks »
R.Prakash
- « Analysis of the Zone Routing Protocol » J. Schaumann (dec 2002)
- « An Implementation Study of the AODV Routing Protocol »
Elizabeth Royer and Charles Perkins
- « 802.11 et les réseaux sans fil »
P. Mülethaler Ed. Eyrolles (livre)