

Analyse et conception d'algorithmes économes en énergie dans les réseaux de capteurs

Réalisé par

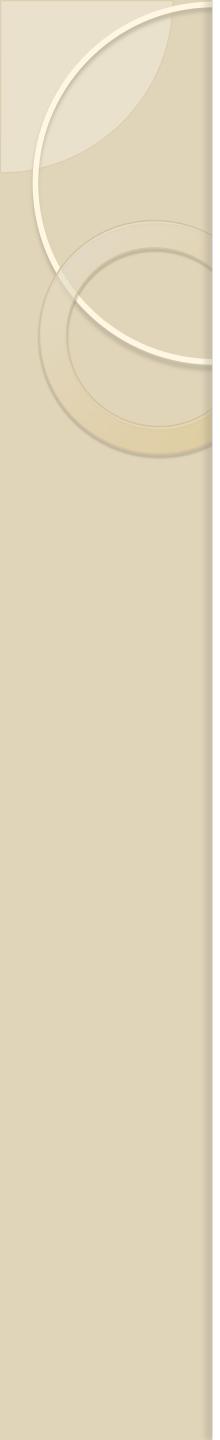
- Chloé Desdouits
- Zahir Kali
- Rabah Laouadi
- Samuel Rouquie

Encadrante

Anne-Élisabeth Baert

Plan

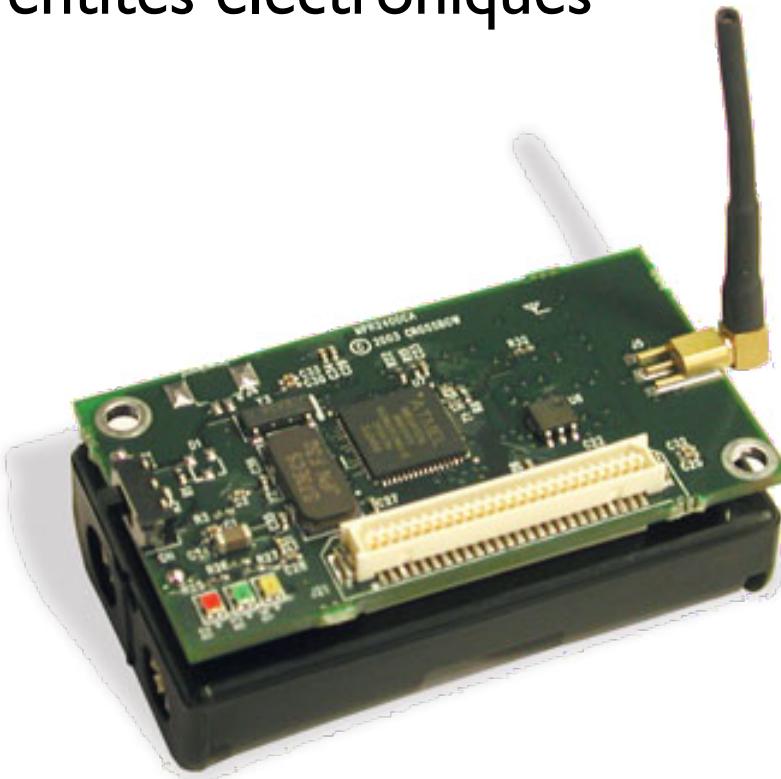
- Introduction aux réseaux de capteurs
- État de l'art
- Simulations et résultats
- Analyse et réflexion
- Conclusion



INTRODUCTION AUX RÉSEAUX DE CAPTEURS

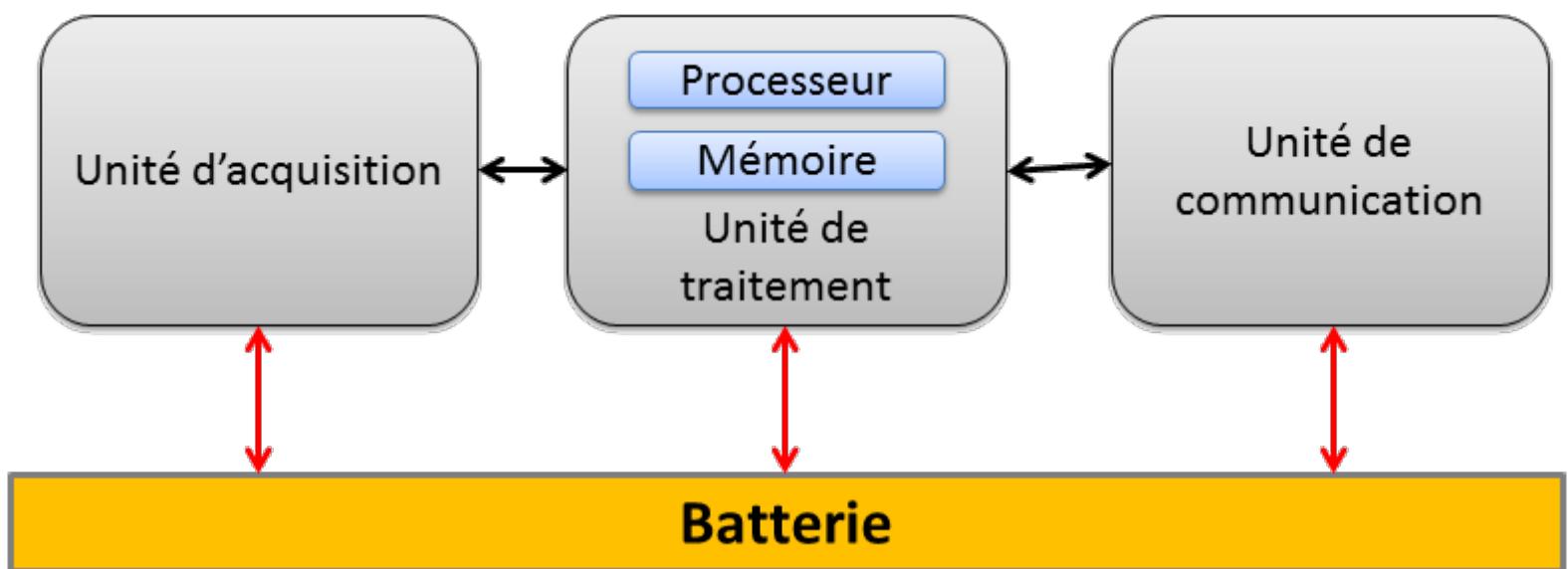
Capteurs

- Petites entités électroniques



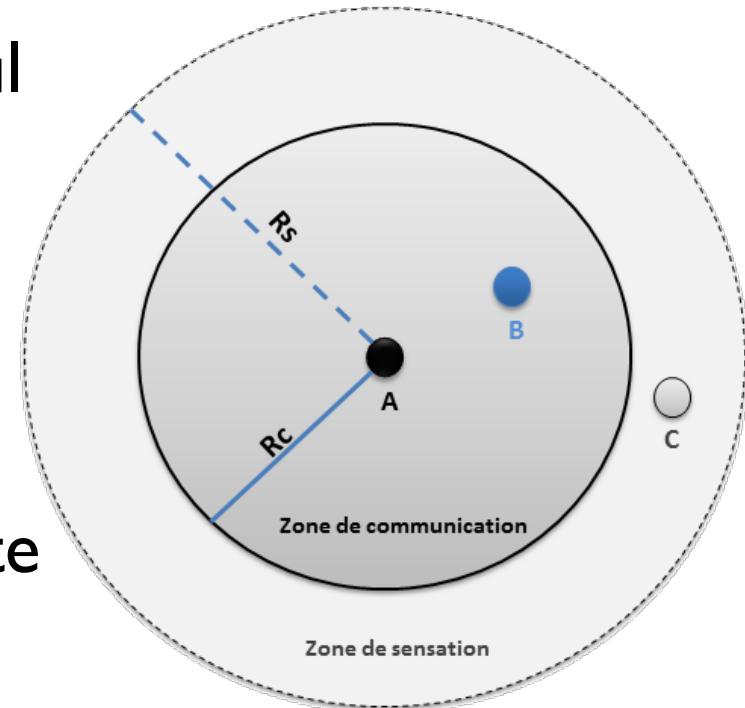
- Sans fil

Architecture

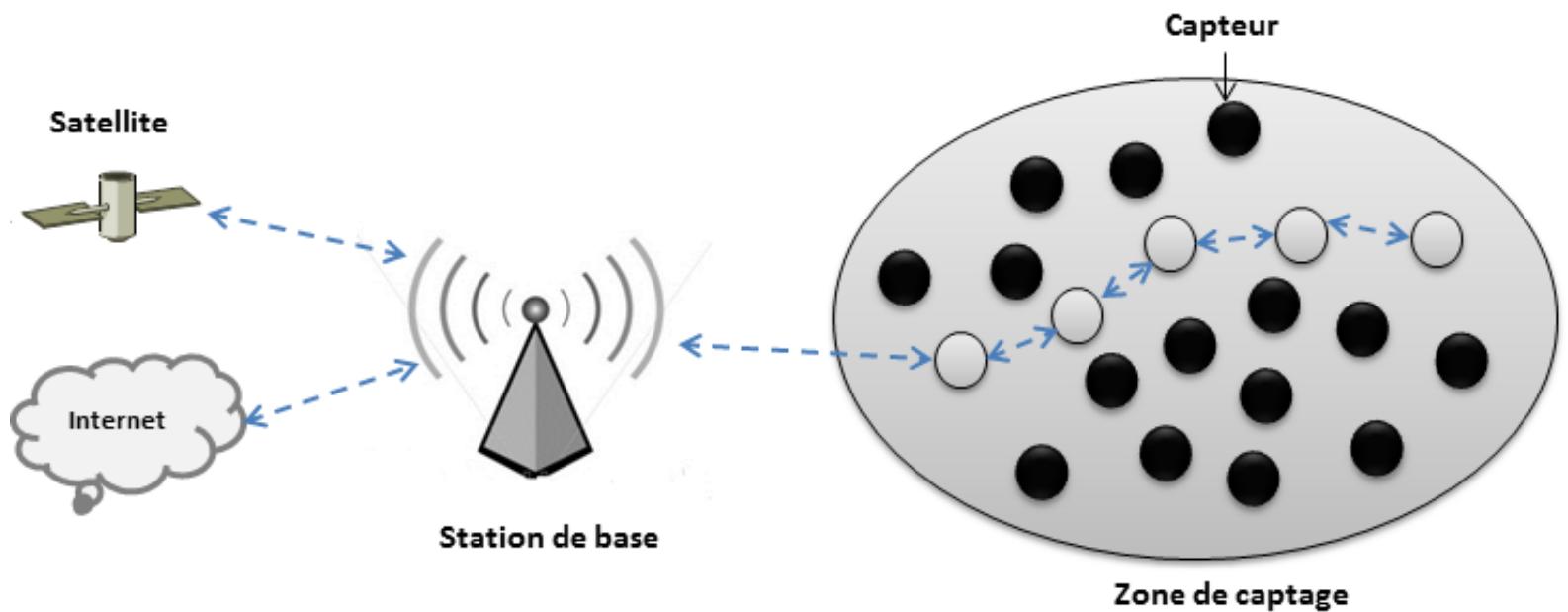


Capacités

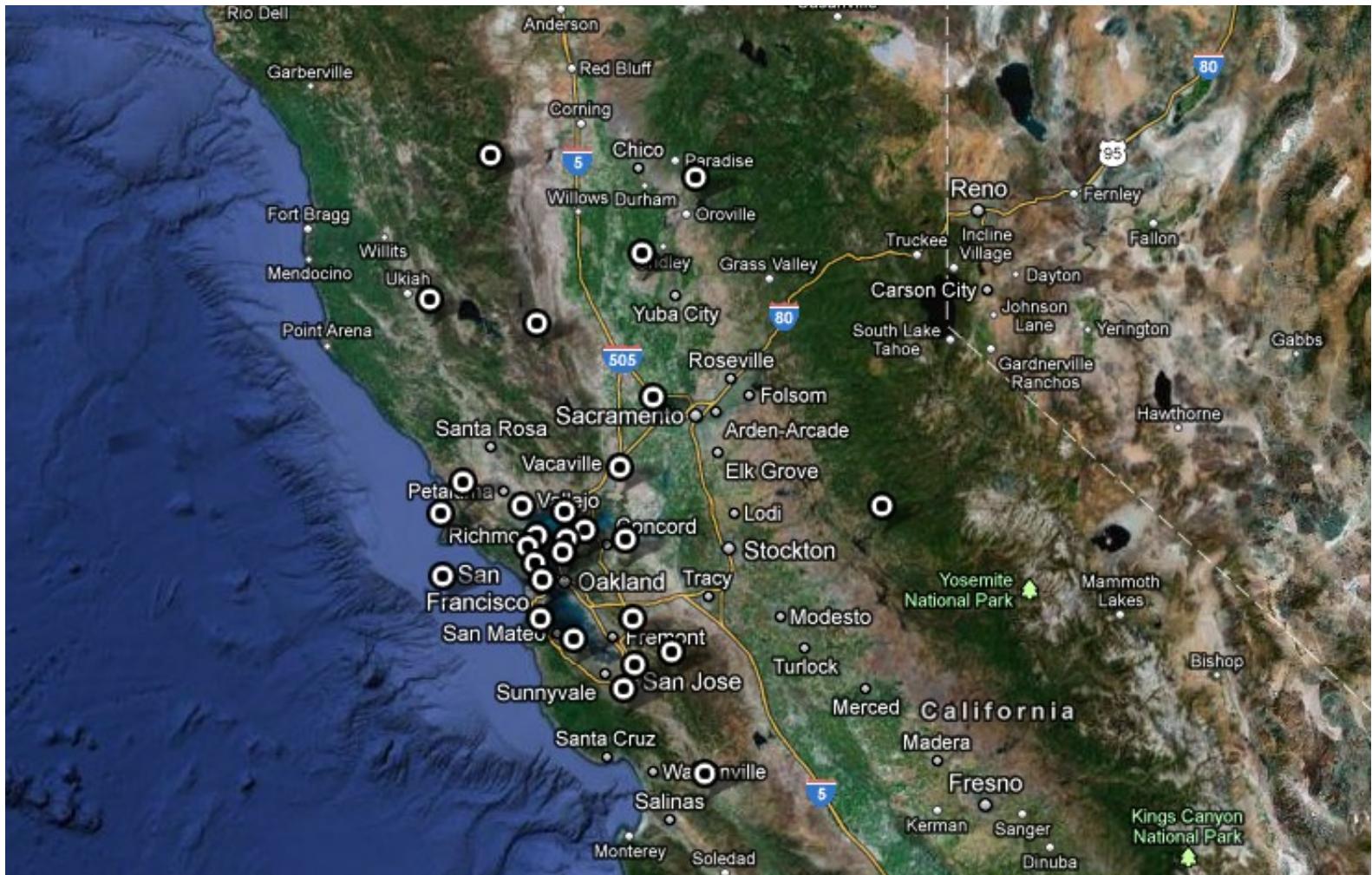
- Faible puissance de calcul
- Mémoire limitée
- Réserve d'énergie réduite
- Rayon de transmission maximum



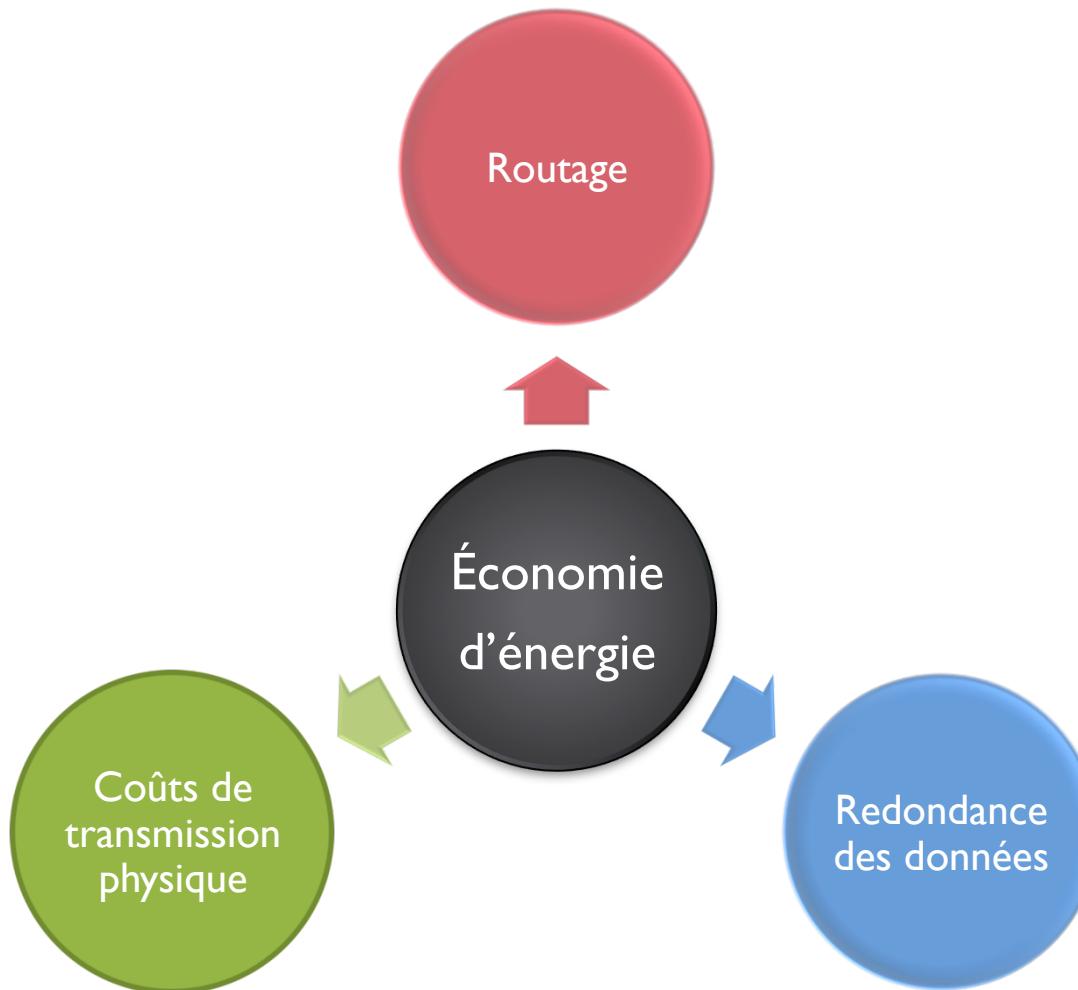
Réseaux



Exemple concret

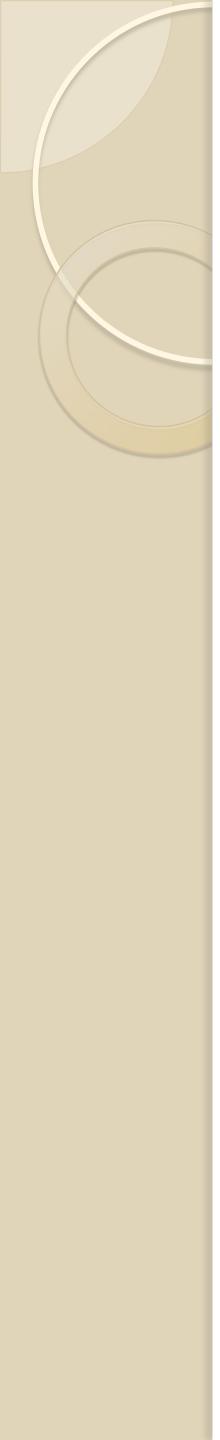


Problématiques



Nos objectifs

- Nous documenter sur les algorithmes existants
- Élaborer une classification
- Comparer leurs performances



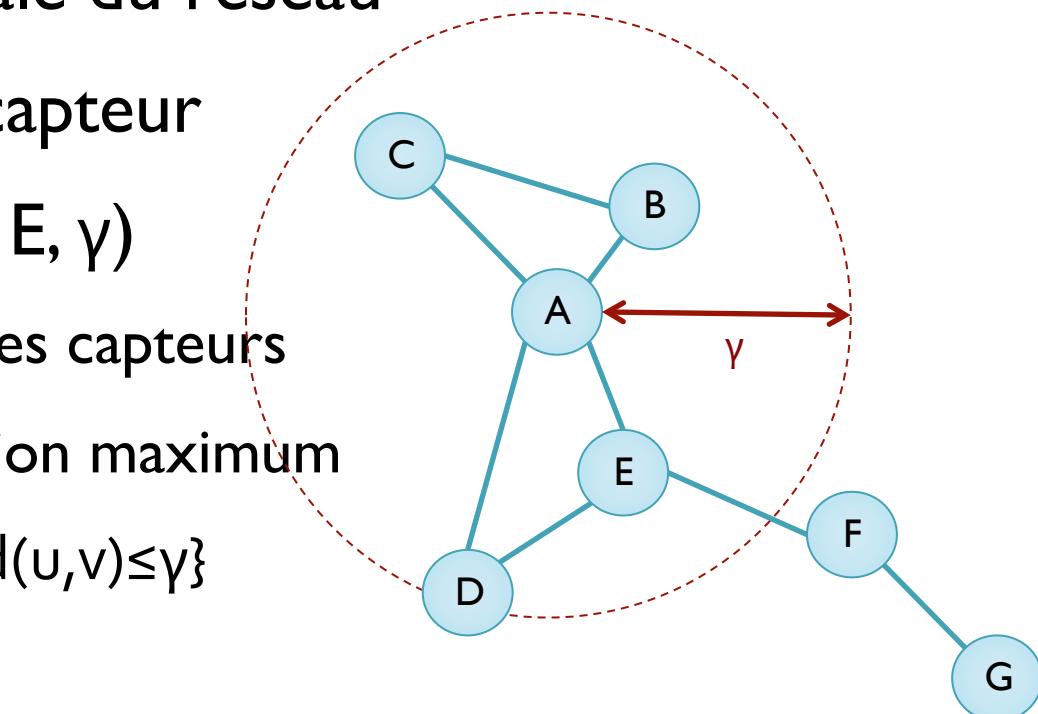
ÉTAT DE L'ART

Modélisation d'un capteur

- Nœud d'un graphe
- Capteurs identiques
- Pas de mobilité
- Pas de perte de message
- Quantité initiale d'énergie fixée
- Connaissance de sa propre position

Modélisation d'un réseau

- Connexité initiale du réseau
- Pas d'ajout de capteur
- Graphe $G = (V, E, \gamma)$
 - V : l'ensemble des capteurs
 - γ rayon d'émission maximum
 - $E = \{(u,v) \in V^2 \mid d(u,v) \leq \gamma\}$

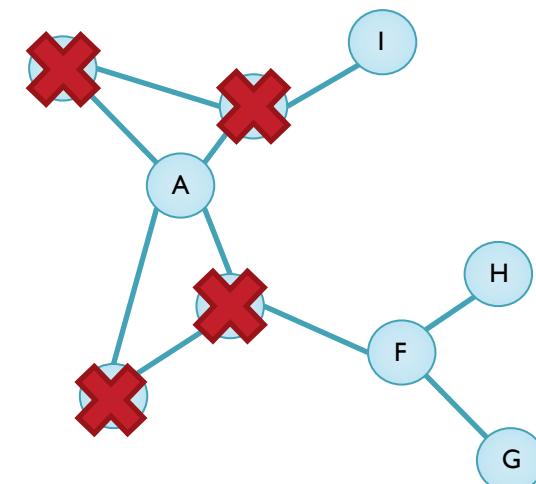


$$N_k(u_0) = \{u_i \in V \mid \exists c = (u_0, \dots, u_k), (u_{i-1}, u_i) \in E, \forall i \in \{1, \dots, k\}\}$$

Modèle énergétique

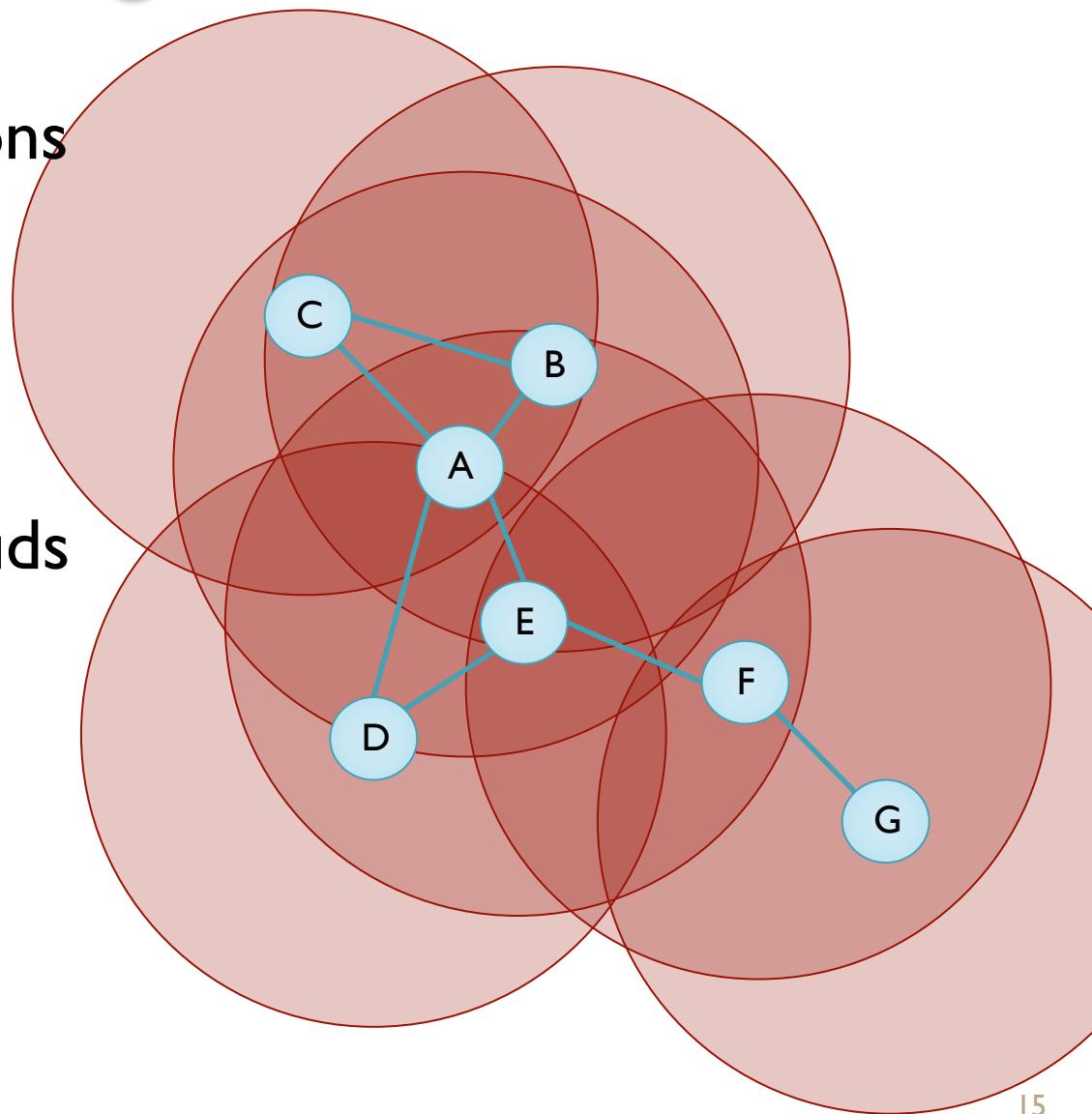
$$\bullet E_{ij}(r) = \begin{cases} r^\alpha + c & \text{si } i \neq j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Durée de vie du réseau
 - Time To First Fall
 - Loose Connectivity
 - PerCent Node



Blind flooding

- 4 transmissions superflues
- Tous les nœuds couverts



Probabilistic flooding

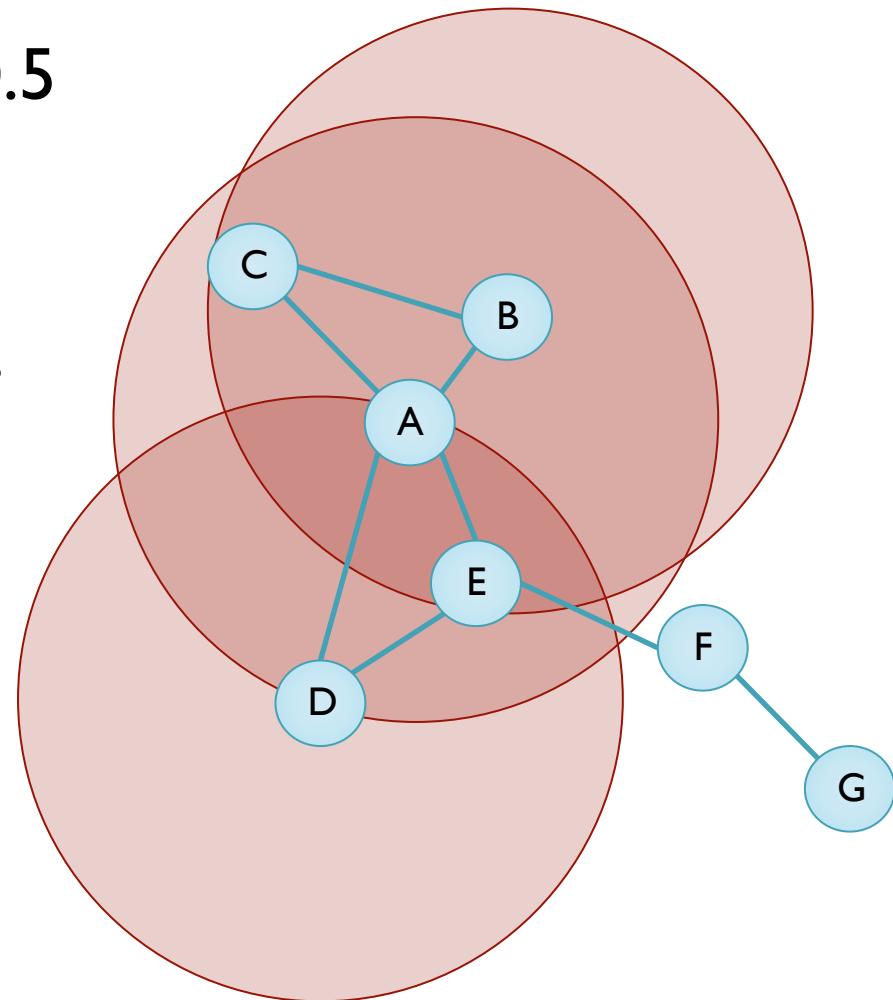
- exemple : $P = 0.5$

- 2 transmissions

superflues

- 2 nœuds non

couverts



Broadcast Incremental-power Protocol

- Basé sur l'algorithme

de Prim

- Coût d'une arête :

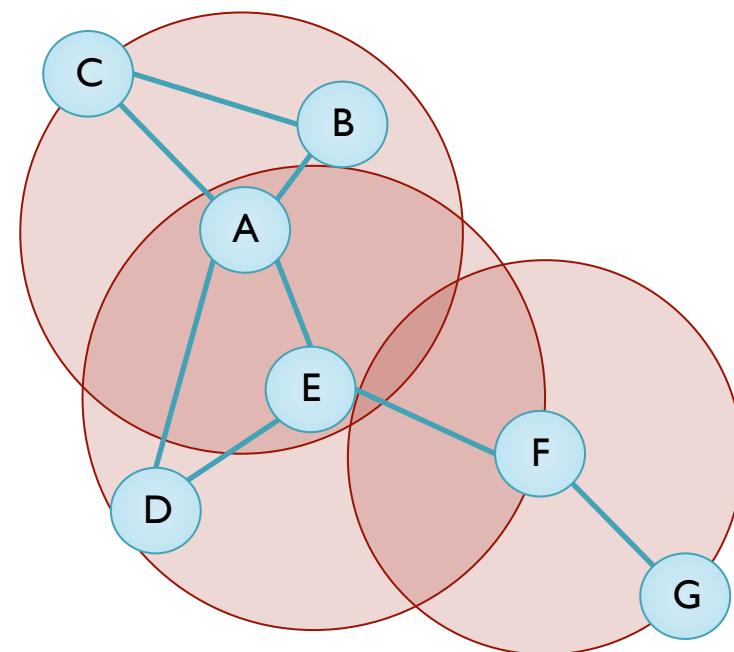
coût énergétique

- Pas de transmission

superflue

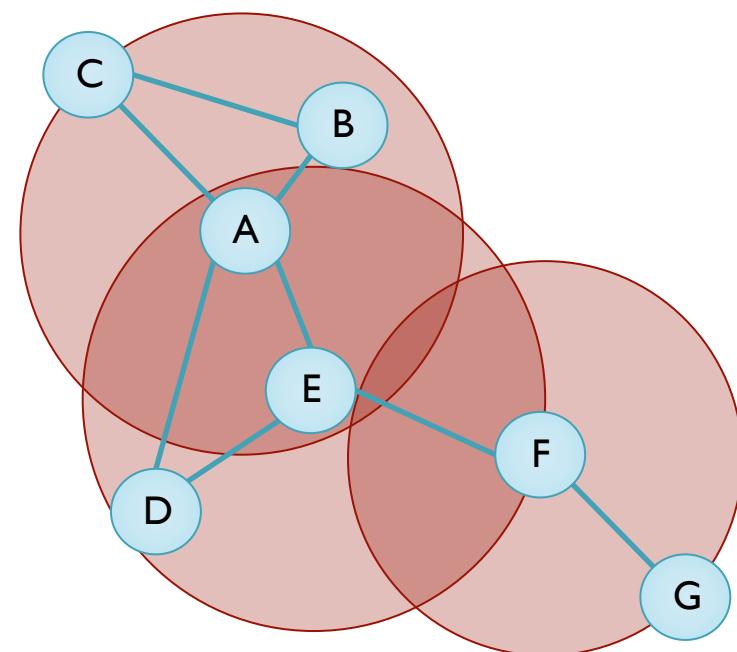
- Tous les nœuds

couverts



Localised BIP

- Similaire à BIP
- Connaissance locale
- Ajout de données minimales dans le paquet
- Tous les nœuds couverts

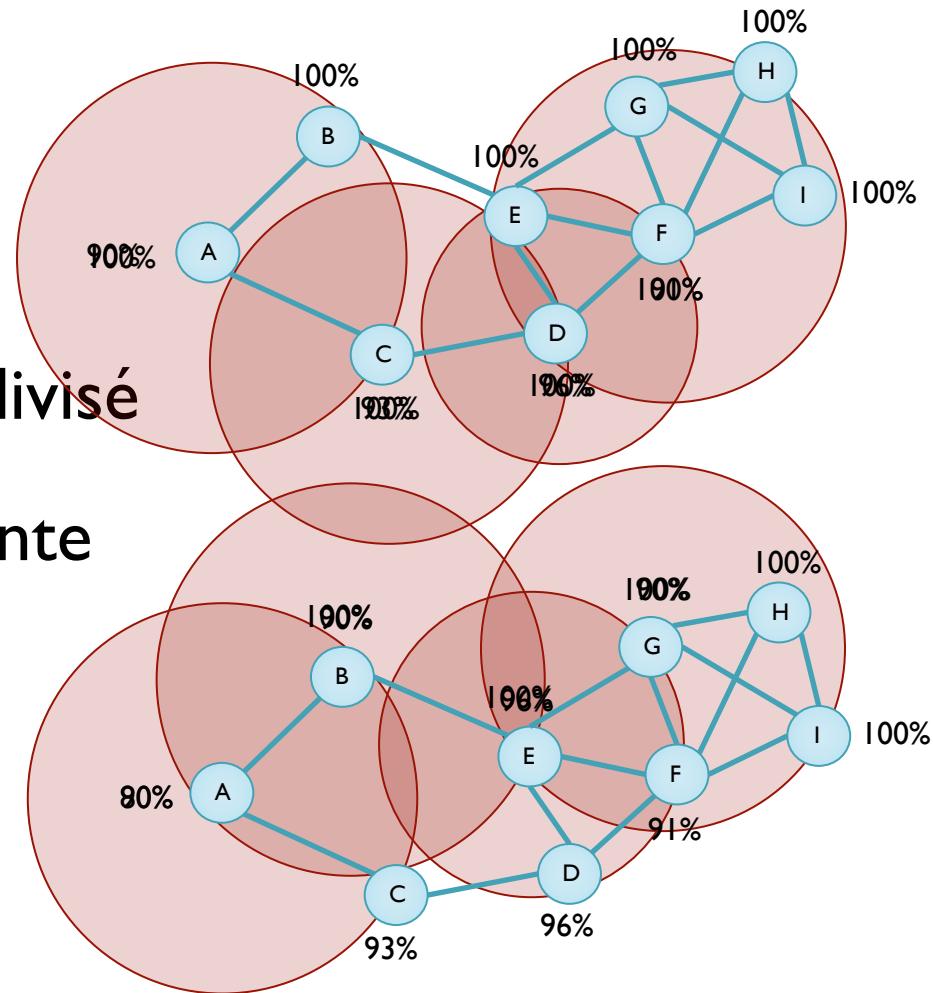


Dynamic Localised BIP

- Similaire à LBIP

- Poids des arcs divisé
par l'énergie restante

- Tous les nœuds
couverts



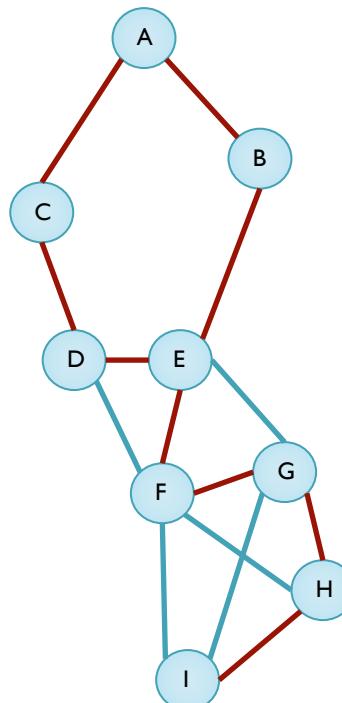
Broadcast Oriented Protocols

- LMST Broadcast Oriented Protocol (LBOP)
 - Local Minimum Spanning Tree
 - $\cap_{u \in G} [MST(u)]$
- RNG Broadcast Oriented Protocol (RBOP)
 - Relative Neighborhood Graph
 - $E_{rng} = \{(u,v) \in G \mid \nexists w \in V \ (u,w), (w,v) \in E \ \wedge \ d(u,w) < d(u,v) \ \wedge \ d(v,w) < d(u,v)\}$

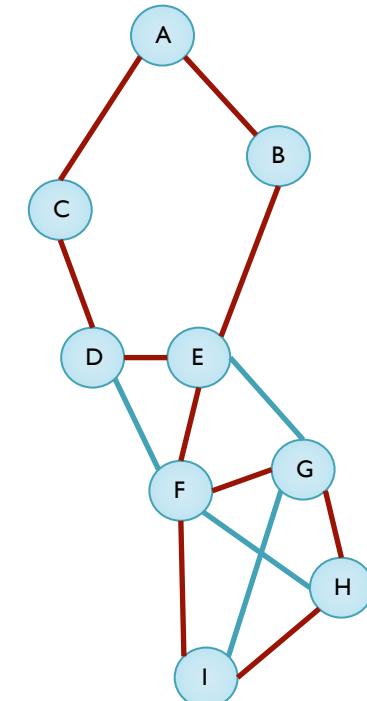
LBOP

RBOP

- Étapes d'initialisation :



LMST

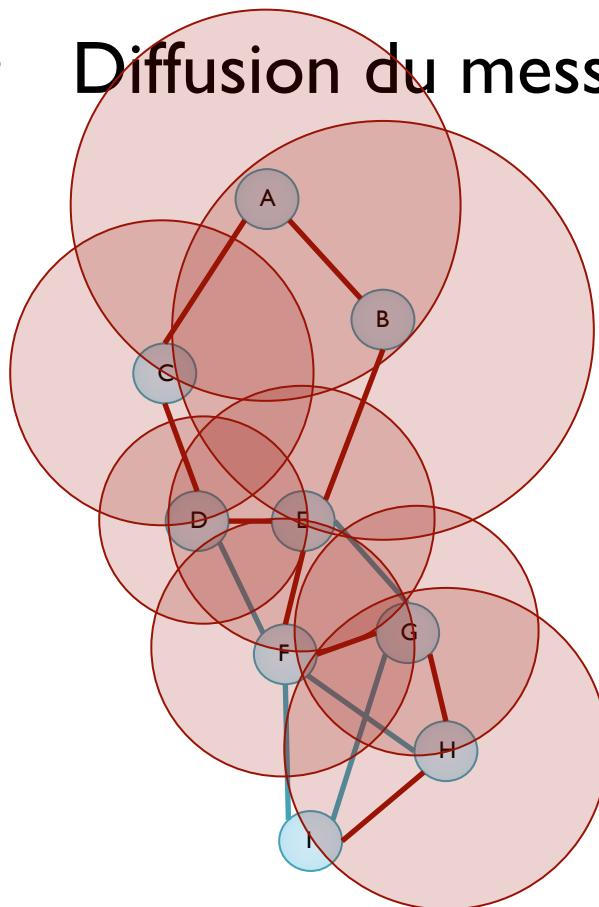


RNG

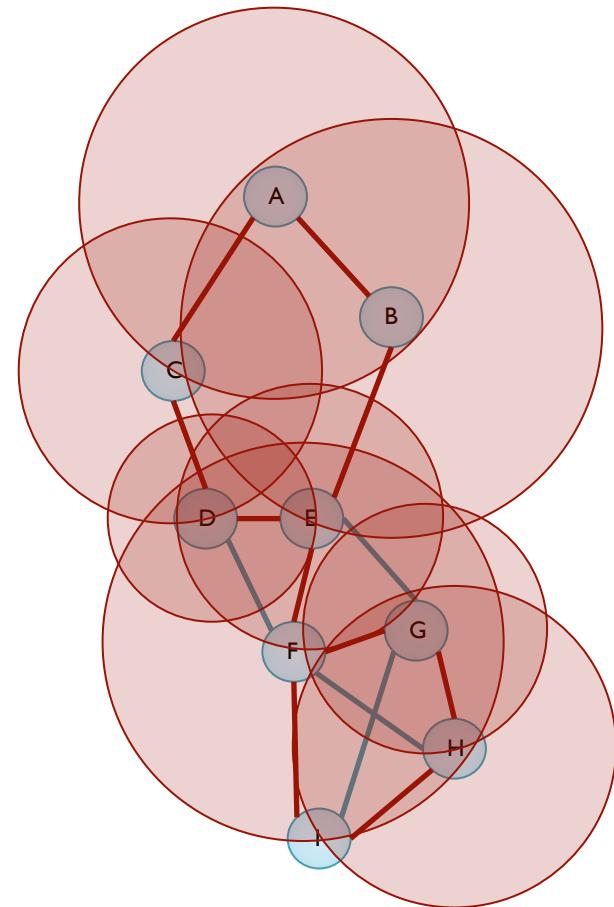
- LMST est un sous-graphe de RNG

LBOP

- Diffusion du message :



RBOP



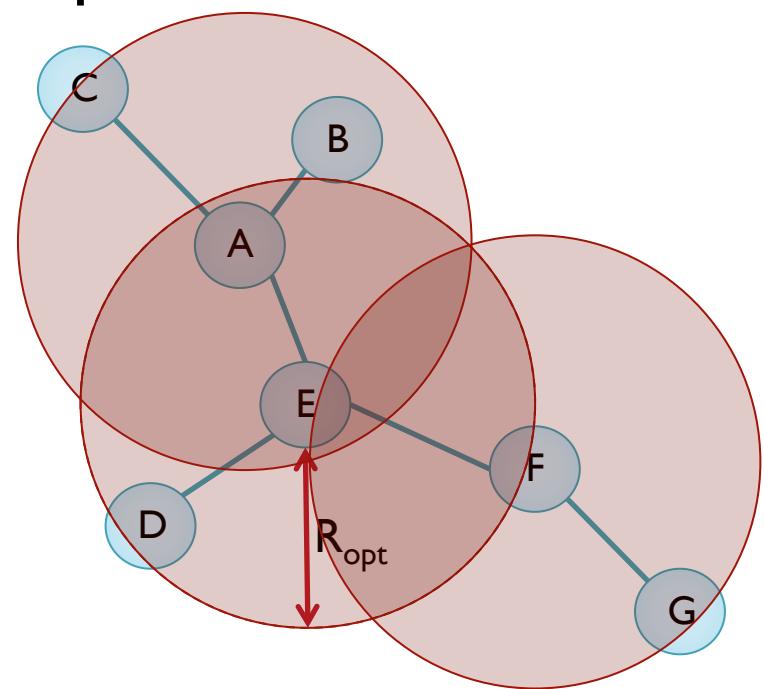
- Tous les nœuds couverts

TR-LBOP

- Basé sur LBOP
- Rayon de transmission optimal

$$R_{opt} = \left(\frac{2c}{\alpha - 2} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

- Diffusion du message



Classification

| | mode d'émission | |
|--|------------------------|-------------|
| algorithme | broadcast | single-cast |
| Flow augmentation [7] | ✗ | ✓ |
| Flow redirection [7] | ✗ | ✓ |
| Energy Aware Routing [20] | ✗ | ✓ |
| Blind Flooding | ✓ | ✗ |
| Probabilistic Flooding | ✓ | ✗ |
| Area-based Beaconless Broadcasting Algorithms [18] | ✓ | ✗ |
| Broadcast Incremental-power Protocol [22] | ✓ | ✗ |
| Localized Broadcast Incremental-power Protocol [15] | ✓ | ✗ |
| Dynamic Localized Broadcast Incremental-power Protocol [5] | ✓ | ✗ |
| LMST Broadcast Oriented Protocol [3] | ✓ | ✗ |
| RNG Broadcast Oriented Protocol [3] | ✓ | ✗ |
| Target Radius LMST Broadcast Oriented Protocol [13] | ✓ | ✗ |

Classification

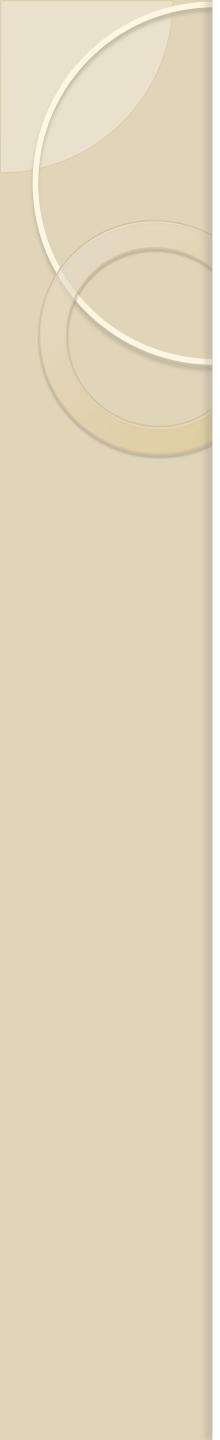
| | connaissance | |
|------------|---------------------|--------|
| algorithme | globale | locale |
| FA | ✗ | ✓ |
| FR | ✓ | ✗ |
| EAR | ✗ | ✓ |
| BF | ✗ | ✓ |
| PF | ✗ | ✓ |
| ABBA | ✗ | ✓ |
| BIP | ✓ | ✗ |
| LBIP | ✗ | ✓ |
| DLBIP | ✗ | ✓ |
| LBOP | ✗ | ✓ |
| RBOP | ✗ | ✓ |
| TR-LBOP | ✗ | ✓ |

| | rayon d'émission | |
|------------|-------------------------|----------|
| algorithme | fixe | variable |
| FA | ✗ | ✓ |
| FR | ✗ | ✓ |
| EAR | ✗ | ✓ |
| BF | ✓ | ✗ |
| PF | ✓ | ✗ |
| ABBA | ✓ | ✗ |
| BIP | ✗ | ✓ |
| LBIP | ✗ | ✓ |
| DLBIP | ✗ | ✓ |
| LBOP | ✗ | ✓ |
| RBOP | ✗ | ✓ |
| TR-LBOP | ✗ | ✓ |

Classification

| | balisage | |
|------------|-----------------|------|
| algorithme | avec | sans |
| FA | ✗ | ✓ |
| FR | ✗ | ✓ |
| EAR | ✓ | ✗ |
| BF | ✗ | ✓ |
| PF | ✗ | ✓ |
| ABBA | ✗ | ✓ |
| BIP | ✓ | ✗ |
| LBIP | ✓ | ✗ |
| DLBIP | ✓ | ✗ |
| LBOP | ✓ | ✗ |
| RBOP | ✓ | ✗ |
| TR-LBOP | ✓ | ✗ |

| | décision | |
|------------|-----------------|--------------|
| algorithme | déterministe | probabiliste |
| FA | ✓ | ✗ |
| FR | ✓ | ✗ |
| EAR | ✗ | ✓ |
| BF | ✓ | ✗ |
| PF | ✗ | ✓ |
| ABBA | ✓ | ✗ |
| BIP | ✓ | ✗ |
| LBIP | ✓ | ✗ |
| DLBIP | ✓ | ✗ |
| LBOP | ✓ | ✗ |
| RBOP | ✓ | ✗ |
| TR-LBOP | ✓ | ✗ |



SIMULATIONS ET RÉSULTATS

Choix des outils

- Simulateur de réseau : WSNET
- Visualisateur de graphes avec C++ / Qt
- Scripts de traitement des données Bash et C++

WSNET

- simulateur évènementiel pour les grands réseaux de capteurs sans fils
- langage C
- Implémenté par des chercheurs lyonnais
- Composé de modules (couches réseau)

Nos modules WSNET

APPLICATION

- Une simple application de broadcast multi-sources

ROUTAGE

- FLOOD • FA
- RBOP • LBOP
- BIP • LBIP • DLBIP

LIAISON

- Protocole MAC sans interférences gérant la modification du rayon de transmission

ENERGIE

- Module gérant la consommation d'énergie pendant l'envoi

STRUCTURE

- Structures de données utilitaires

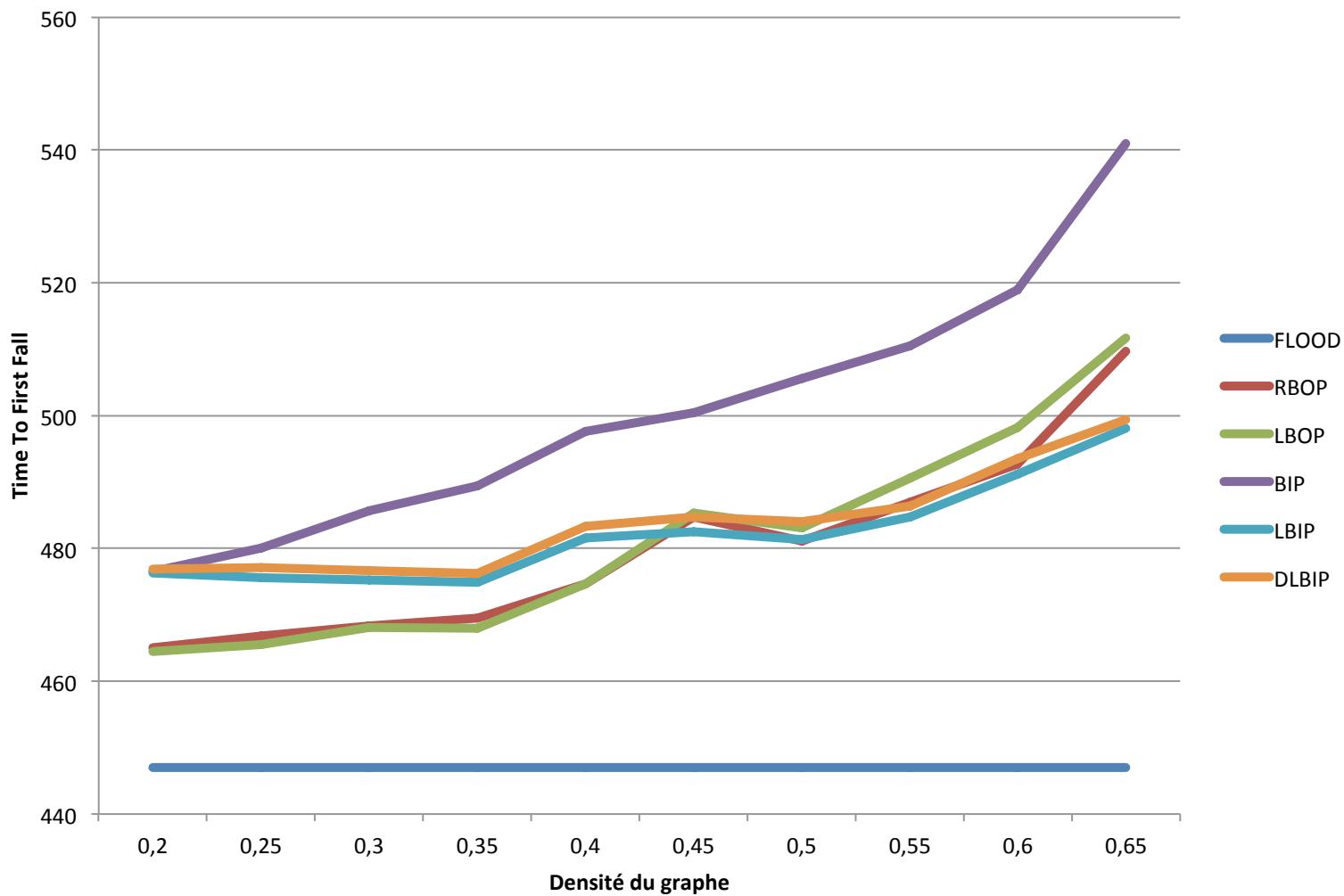
Paramètres de simulations

- fixés pour toutes les simulations :
 - temps de simulation : 10 000s
 - période de diffusion : 2s
 - portée d'un nœud : 30m
 - taille de la zone de simulation : 1 000 000 m²
- résultats moyens sur plus de 1000 simulations
- Courbes : {densités} → {durées de vie}
 - Densité = degré moyen / diamètre

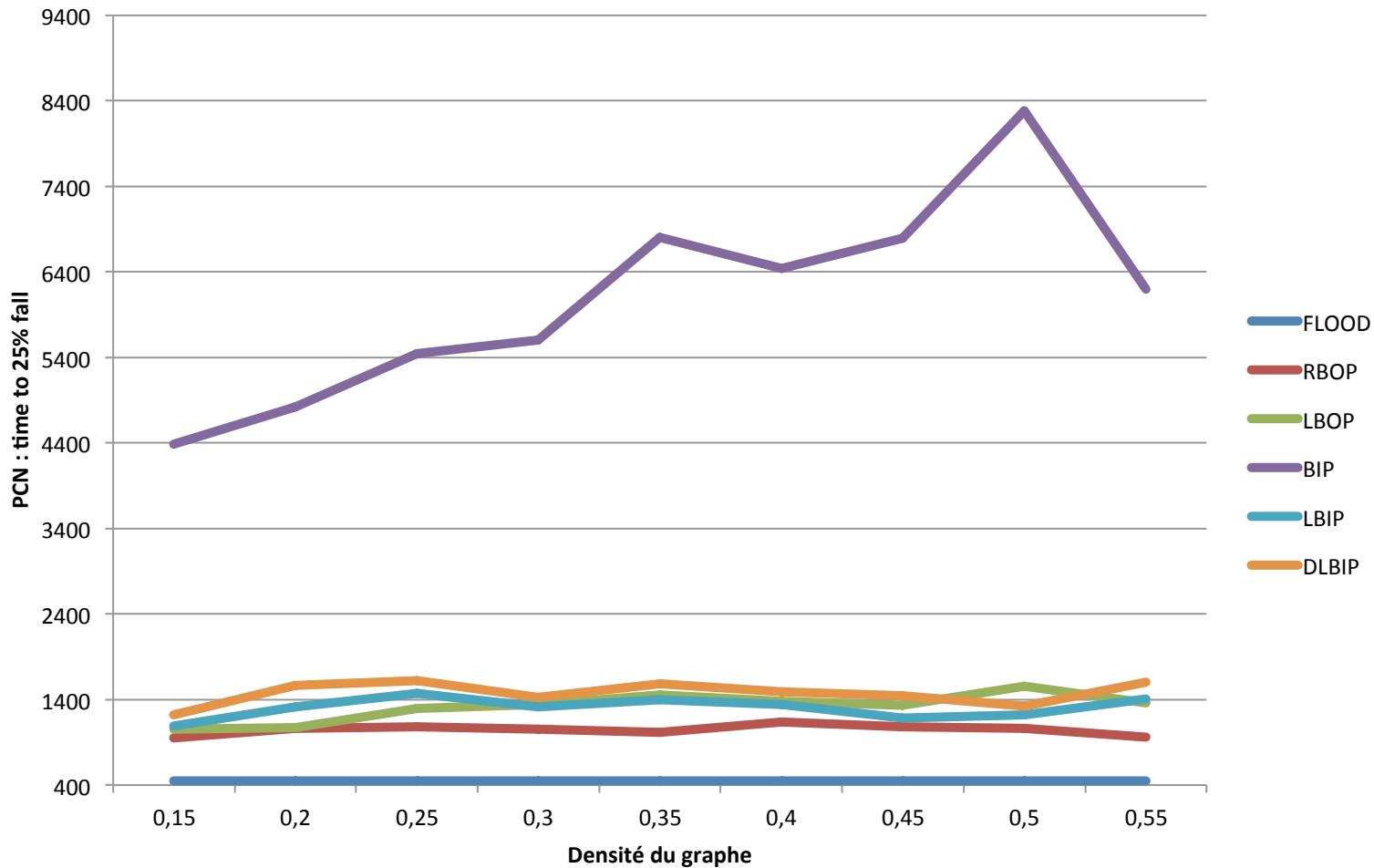
Première phase de simulations

- Constantes énergétiques
 - $\alpha = 2$
 - $c = 0$
- Énergie initiale : 200 000
- Topologie aléatoire

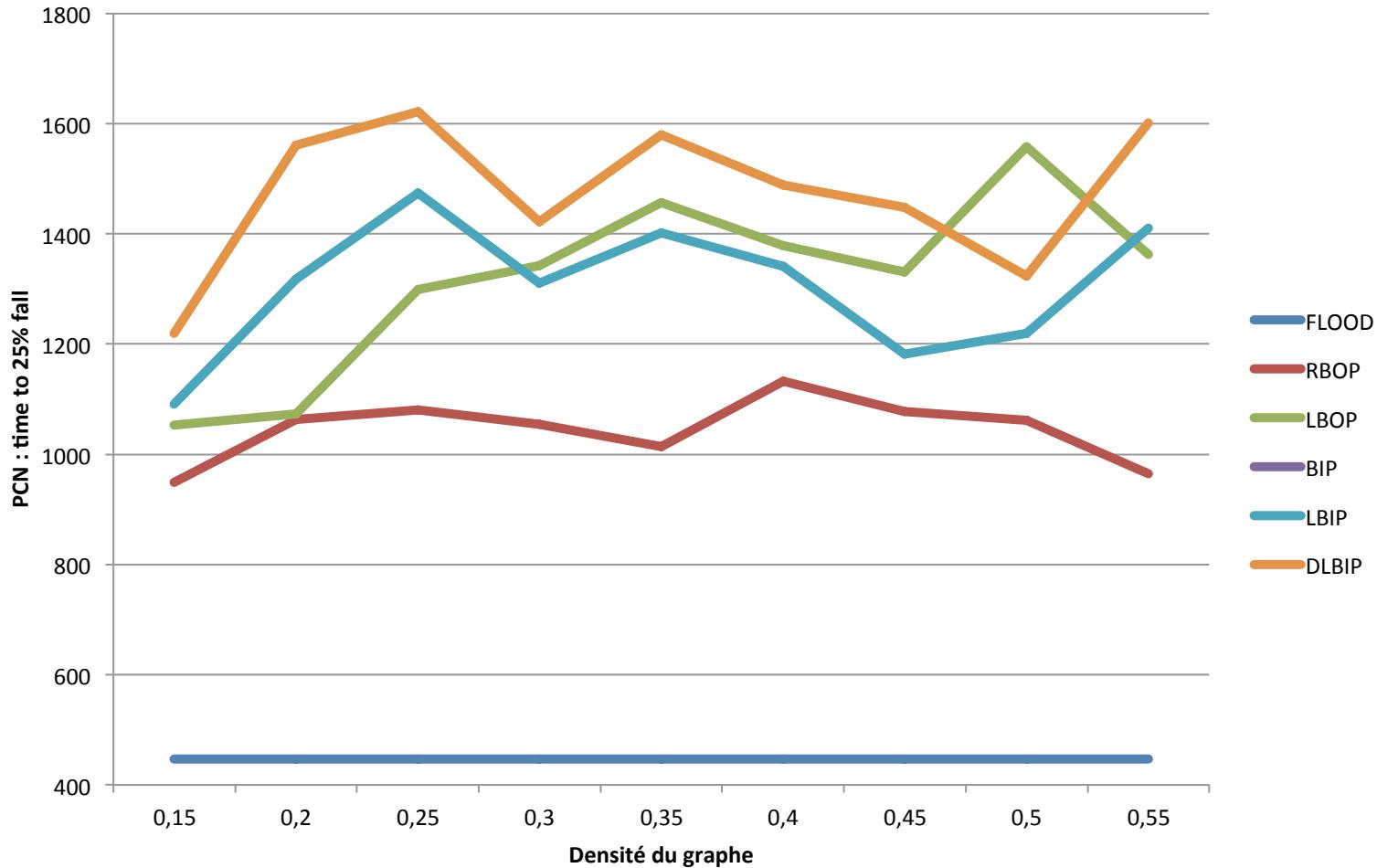
Time To First Fall



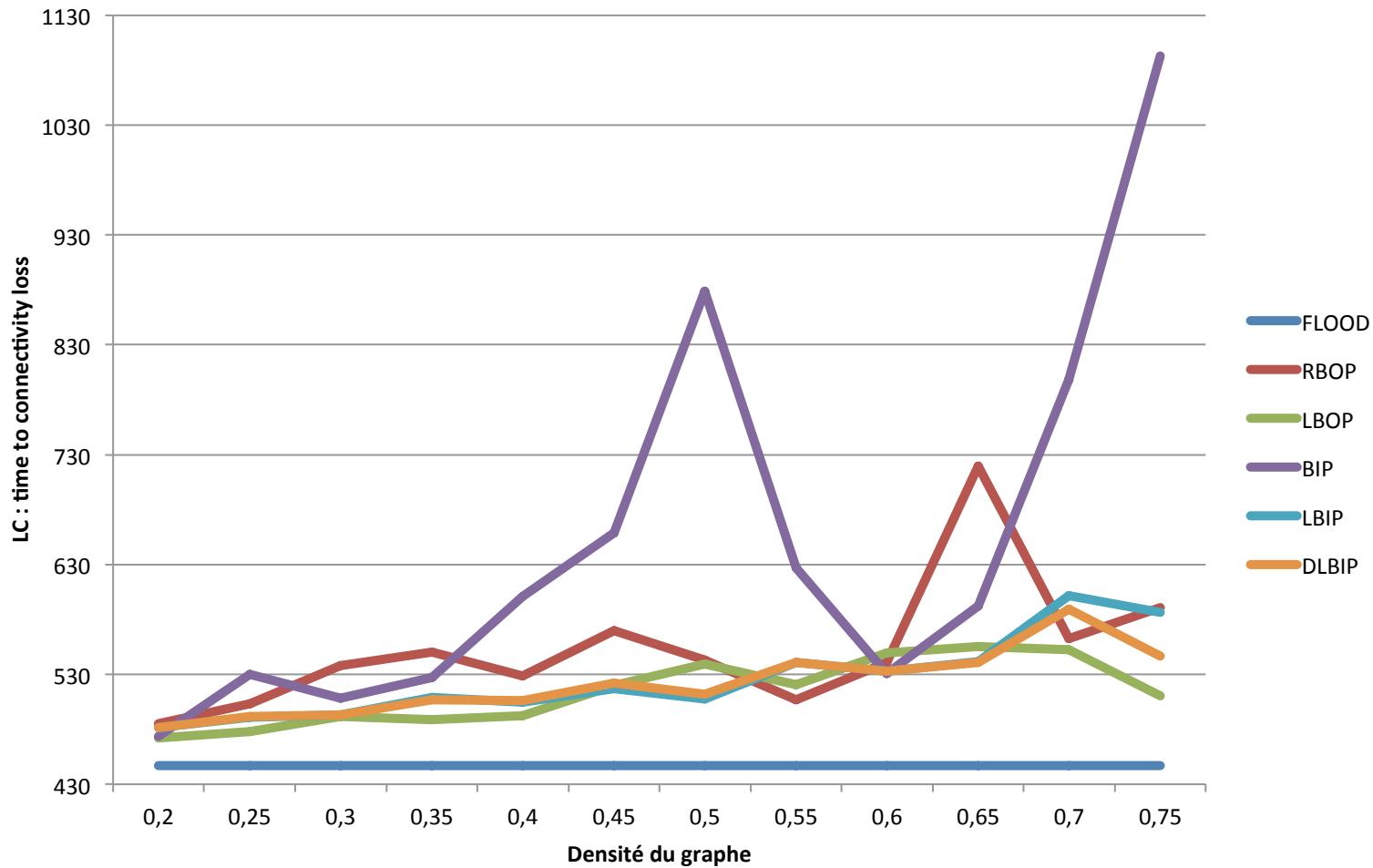
Time to 25% fall



Time to 25% fall



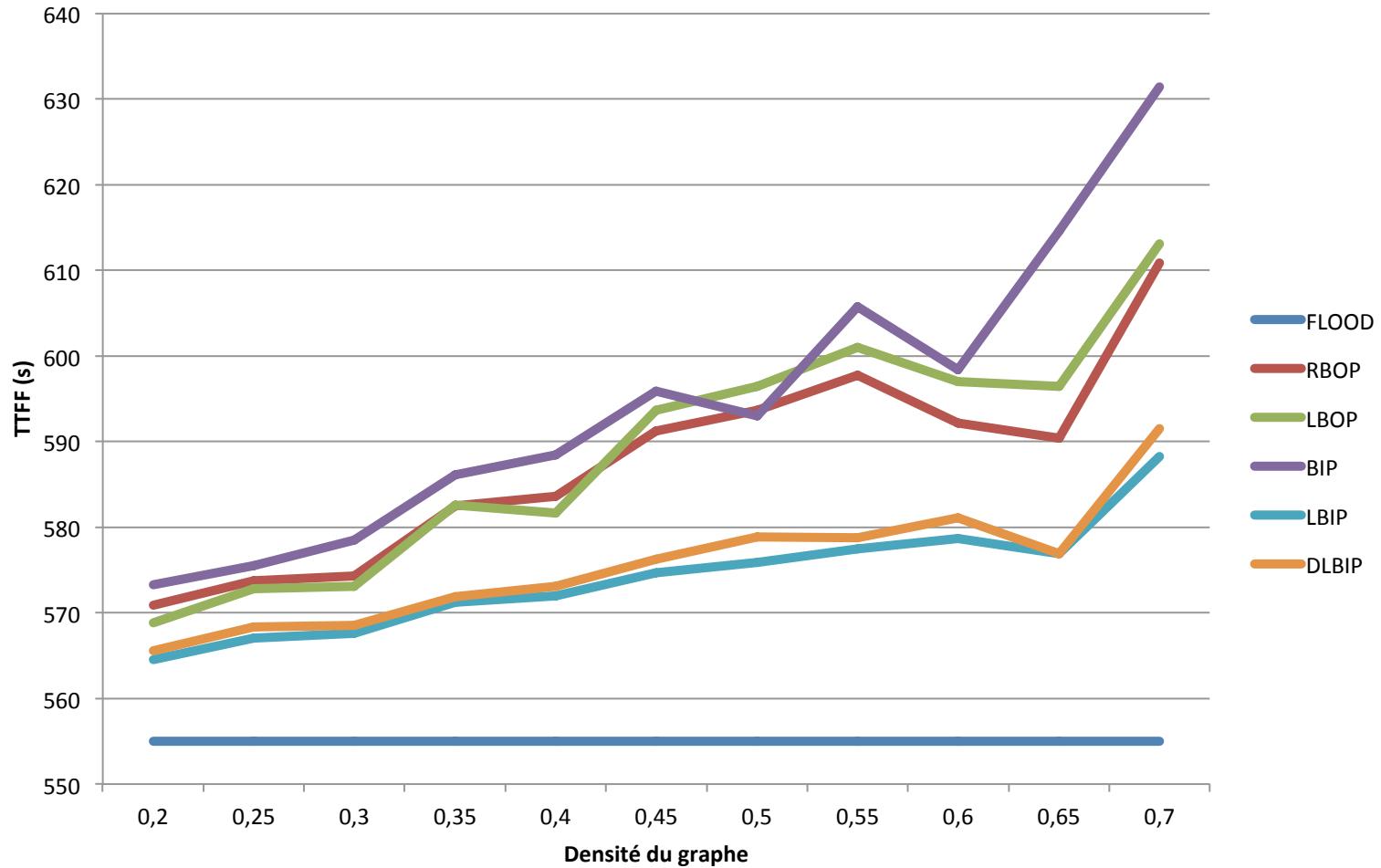
Time to connectivity loss



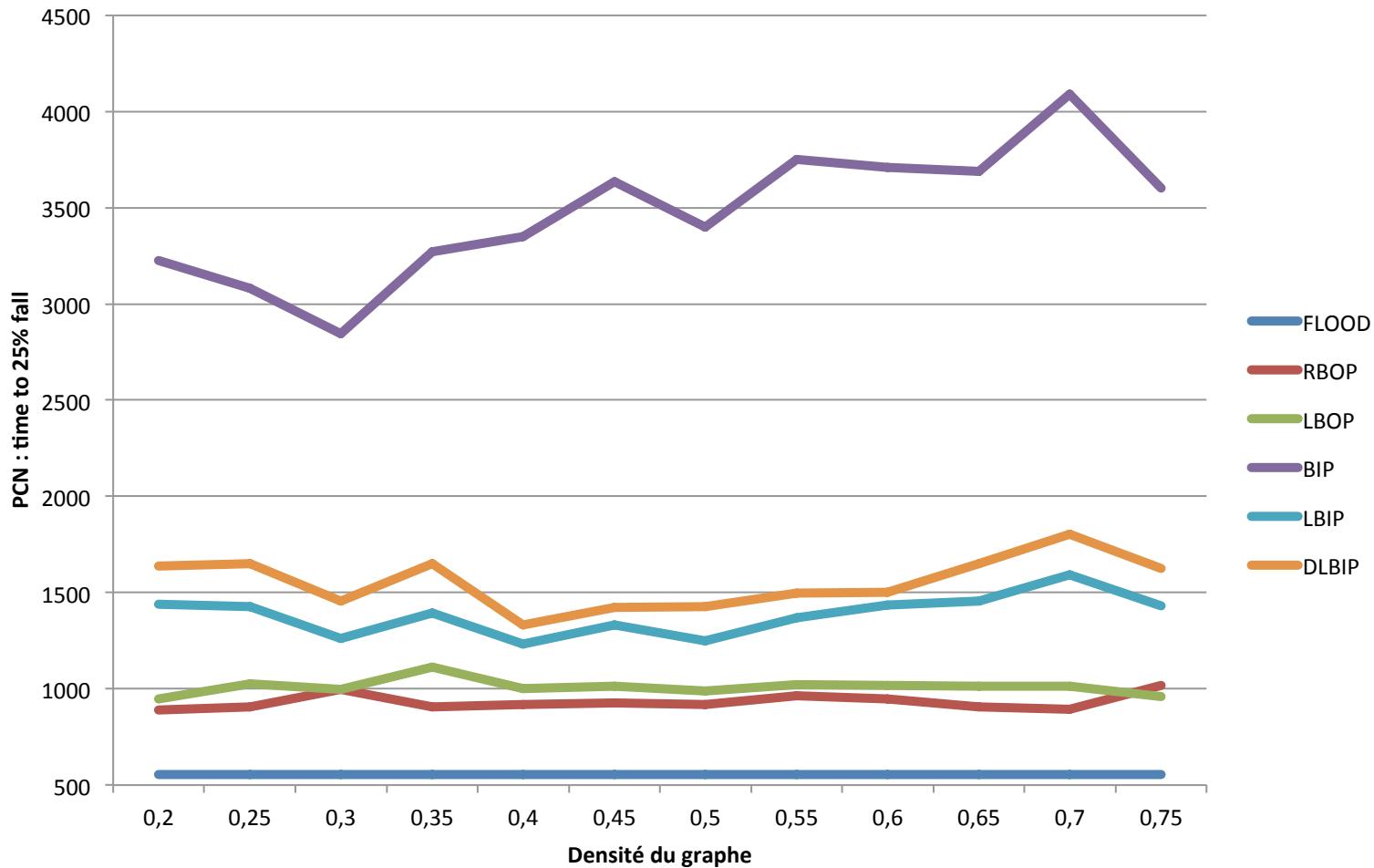
Deuxième phase de simulations

- Constantes énergétiques
 - $\alpha = 4$
 - $c = 10^6$
- Énergie initiale : 500 000 000
- Topologie aléatoire

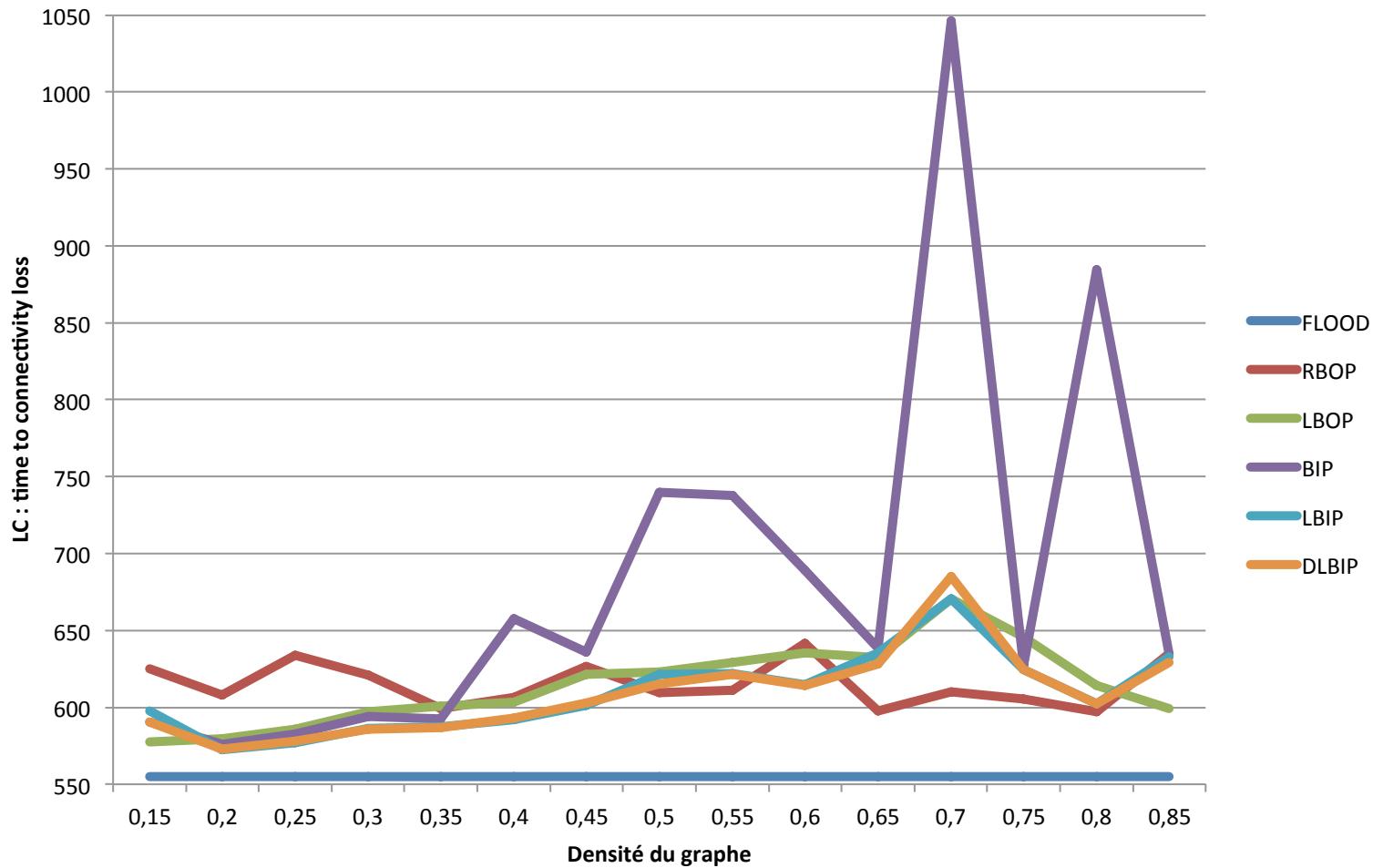
Time To First Fall



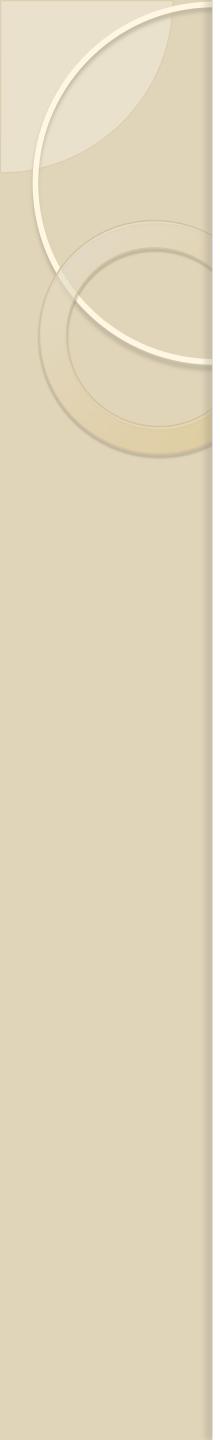
Time to 25% fall



Time to connectivity loss



DEMONSTRATION



ANALYSE ET RÉFLEXION

Consommation énergétique

- Modèles peu réalistes
- Pas de prise en compte
 - des types de capteurs existants
 - de l'énergie de capture
 - de l'énergie de traitement
 - de l'énergie de réception

Nos idées

- Algorithme préservant la connexité du réseau
- Etablir un modèle énergétique plus réaliste
- Algorithmes de prétraitement
- TR-DLBIP
- Topologies différentes pour les simulations
 - Meilleur des cas : topologie régulière hexagonale
 - Pire des cas : topologie en banane

CONCLUSION

Travail de groupe

- Travail collaboratif grâce à git / github
- Communications régulières par mails
- Réunions une à deux fois par semaine
- Complémentarité des compétences

Problèmes rencontrés

- Disparités dans la modélisation du problème
- Domaine de recherche très étendu
- Manque de documentation sur WSNET

Contributions

- Définition d'un cadre rigoureux
- Classification des algorithmes
- Développement de :
 - 11 modules pour WSNET
 - plusieurs scripts de collecte des données
 - un visualisateur de réseaux
- Comparaison des performances des algorithmes



Merci de votre attention !

Avez-vous des questions ?

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Manish Agarwal, Lixin Gao, Joon Ho Cho, and Jie Wu. Energy Efficient Broadcast in Wireless Ad hoc Networks with Hitch-hiking. *MONET*, 10(6) : 897–910, 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks : a survey. *Computer Networks*, 4(38) :393–422, 2002.
- [3] J. Cartigny, F. Ingelrest, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenovic. Localized LMST and RNG based minimum-energy broadcast protocols in ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 3(1) :1–16, 2005.
- [4] J. Cartigny, D. Simplot, and I. Stojmenovic. Localized minimum-energy broadcasting in ad-hoc networks. In *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies*, volume 3, pages 2210–2217. IEEE, 2003.
- [5] J. Champ, A.E. Baert, and V. Boudet. Dynamic localized broadcast incremental power protocol and lifetime in wireless ad hoc and sensor networks. *Wireless and Mobile Networking*, pages 286–296, 2009.

- [6] J. Champ, C. Saad, and A.E. Baert. Lifetime in wireless sensor networks. In Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2009. CISIS'09. International Conference on, pages 293–298. IEEE, 2009.
- [7] Jae-Hwan Chang and Leandros Tassiulas. Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks. INFOCOM, pages 22–31, 2000.
- [8] J. Deng, Y. S. Han, W. B. Heinzelman, and P. K. Varshney. Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks. ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET), Special Issue on “Energy Constraints and Lifetime Performance in Wireless Sensor Networks”, 2005.
- [9] Isabel Dietrich and Falko Dressler. On the lifetime of wireless sensor networks. TOSN, 5(1), 2009.
- [10] Q. Dong. Maximizing system lifetime in wireless sensor networks. IPSN '05 : Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks, page 3, 2005.

- [11] Abdelrahman Elleithy and Gonhsin Liu. A simulation model for the lifetime of wireless sensor networks. CoRR, abs/1201.2237, 2012.
- [12] S. Giordano, I. Stojmenovic, and L. Blazevic. Position based routing algorithms for ad hoc networks : a taxonomy. *Ad Hoc Wireless Networking*, pages 103–136, 2003.
- [13] F. Ingelrest, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenovic. Target transmission radius over LMST for energy- efficient broadcast protocol in ad hoc networks. In *Communications, 2004 IEEE International Conference on*, volume 7, pages 4044–4049. IEEE, 2004.
- [14] F. Ingelrest, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenović. Energy-efficient broadcasting in wireless mobile ad hoc networks. *Resource Management in Wireless Networking*, pages 543–582, 2005.
- [15] François Ingelrest and David Simplot-Ryl. Localized broadcast incremental power protocol for wi- reless ad hoc networks. *Wirel. Netw.*, 14 : 309–319, June 2008.

- [16] O. Kasten. Energy consumption, 2001.
- [17] W. Liang. Constructing minimum-energy broadcast trees in wireless ad hoc networks. In Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, pages 112–122. ACM, 2002.
- [18] Francisco Javier Ovalle-Martínez, Amiya Nayak, Ivan Stojmenovic, Jean Carle, and David Simplot-Ryl. Area-based beaconless reliable broadcasting in sensor networks. IJSNet, 1(1/2) :20–33, 2006.
- [19] R.C. Prim. Shortest connection networks and some generalizations. Bell system technical journal, 36(6) :1389–1401, 1957.

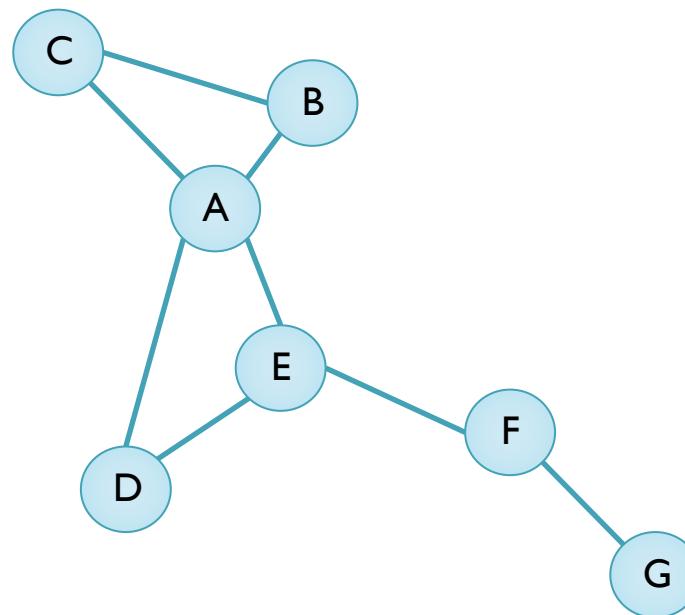
44

- [20] R. C. Shah and J. M. Rabaey. Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks. Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks, 1 :350–355, 2002.

- [21] I. Stojmenovic and J. Wu. Broadcasting and activity scheduling in ad hoc networks. *Mobile Ad Hoc Networking*, pages 205–229, 2004.
- [22] Jeffrey E. Wieselthier, Gam D. Nguyen, and Anthony Ephremides. On the Construction of Energy- Efficient Broadcast and Multicast Trees in Wireless Networks. In *INFOCOM*, pages 585–594, 2000.
- [23] J. Wu and W. Lou. Forward-node-set-based broadcast in clustered mobile ad hoc networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 3(2) : 155–173, 2003.

k-voisinage

$$N_k(u_0) = \{u_i \in V \mid \exists c = (u_0, \dots, u_k), (u_{i-1}, u_i) \in E, \forall i \in \{1, \dots, k\}\}$$



Modélisation réaliste d'un réseau

- Singularité des capteurs [2]
- 3 dimensions
- Mobilité des capteurs [12]
- Ajout de capteurs
- Panne des capteurs (loi de probabilité)
- Interférences [1]

Modèles énergétiques [10]

- The Packet based model

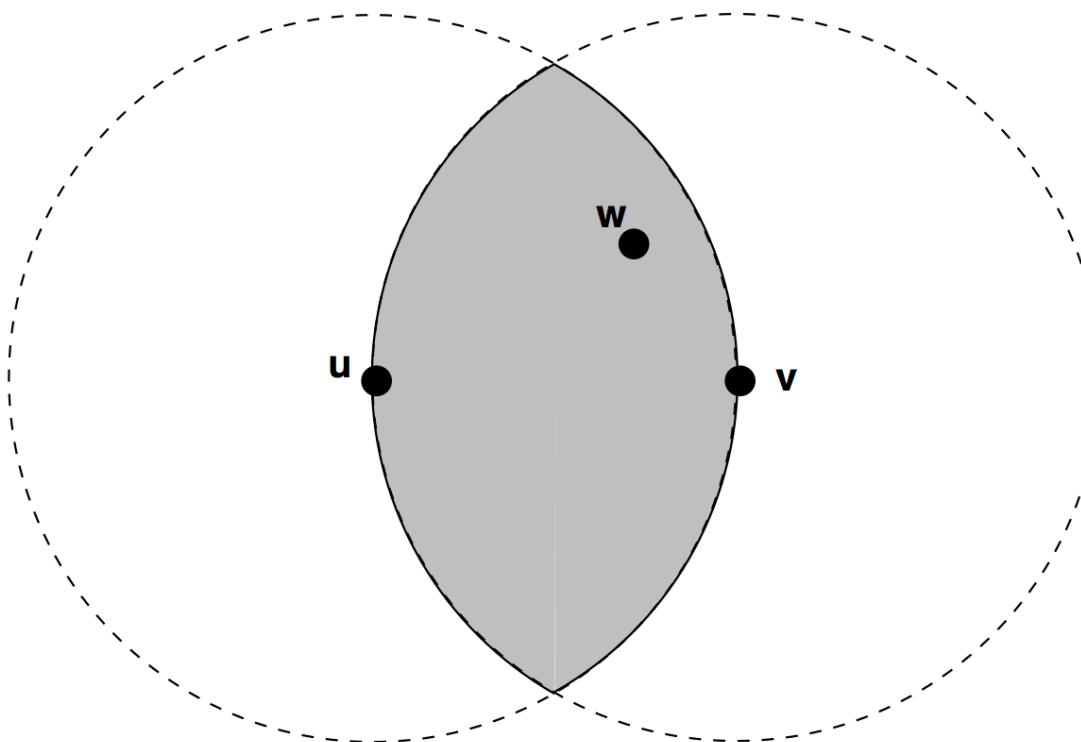
- Envoi d'un message

$$E_{ij}(r) = \begin{cases} r^\alpha + c & \text{si } i \neq j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- The Time based model

- Mode veille / traitement
 - Réception
 - Écoute

RNG



$$E_{rng} = \{(u, v) \in G \mid \nexists w \in V \ (u, w), (w, v) \in E \ \wedge \ d(u, w) < d(u, v) \ \wedge \ d(v, w) < d(u, v)\}$$

TR-LBOP

- Topologie optimale : hexagones

- Consommation d'un broadcast : $PC(r) = (r^\alpha + c) \frac{k}{r^2}$

- Rayon optimal : $R_{opt} = \left(\frac{2c}{\alpha - 2} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$

- Rayon choisi : $r(u) = \max\{D_L, D_{L'}\}$

- avec : $D_L = \max\{d(u, v) \mid v \in L(u)\}$

- et : $D_{L'} = \{d(u, v) \mid v \in L(u) \cup L'(u) \wedge \delta_{uv} = \min\{\delta_{uw} \mid w \in L(u) \cup L'(u)\}\}$

TR-DLBIP

- Appliquer l'idée de TR-LBOP (rayon optimal) à DLBIP

Organisation du groupe

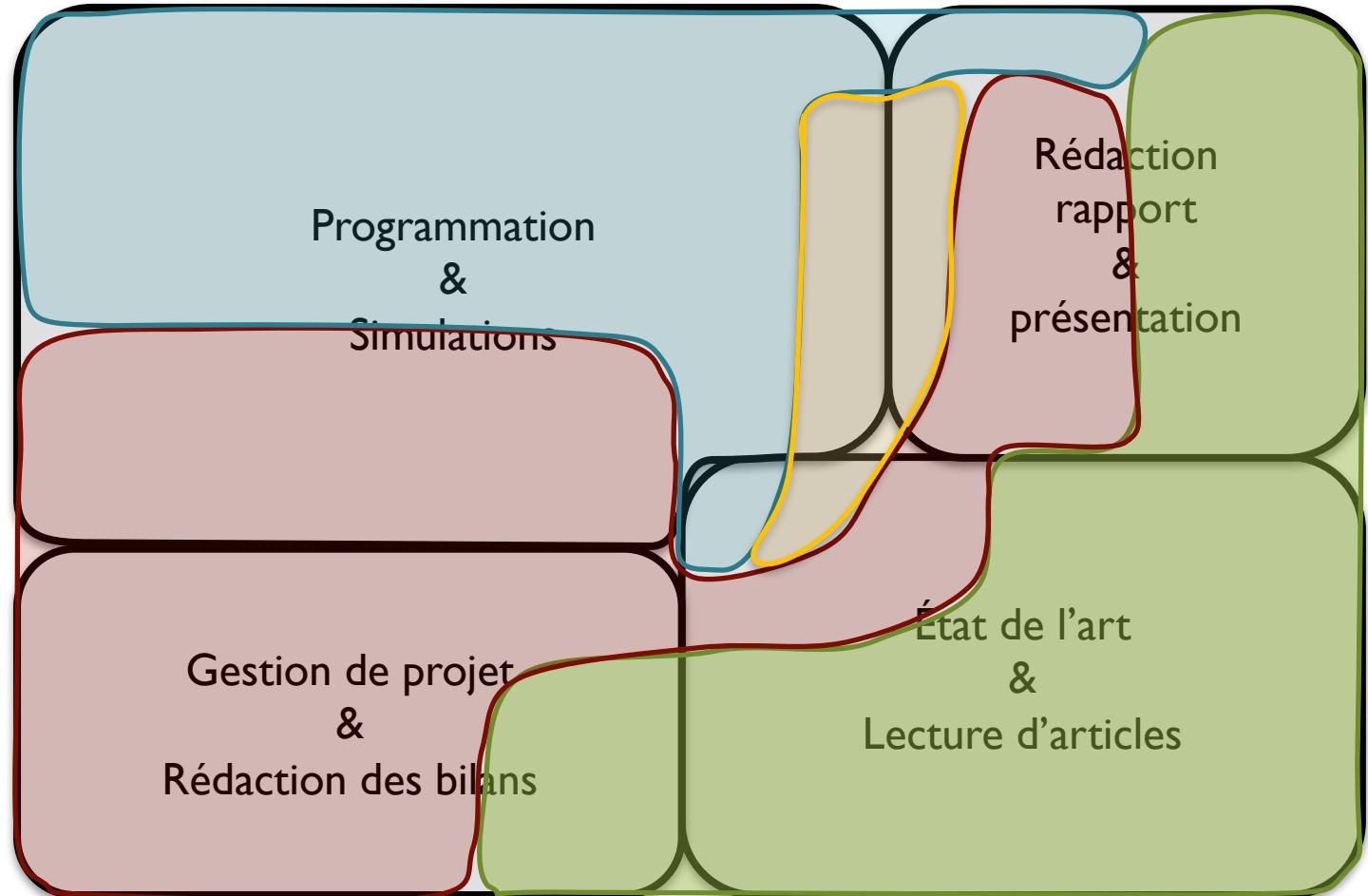


Diagramme de GANTT

