Disponibilité et sécurité des réseaux (I)IoT

Antoine Gallais

Séminaire LAMIH - Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF)

Emplois :

MC (27ème section)	**2008-***, Univ. Strasbourg (UFR Math. Info. / ICube, UMR 7357)
	2017-19, Inria Lille - Nord Europe (délég. temps plein)
ATER	**2007-08**, Univ. Sc. & Techno. de Lille (IUT A / LIFL, UMR 8022)
Allocataire (MESR)*, moniteur*	**2004-07**, Univ. Sc. & Techno. de Lille (LIFL, UMR 8022)*, IUT A*

Coordonnées :

Web	http://antoine-gallais.github.io
Mails	gallais@unistra.fr / antoine.gallais@inria.fr

A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche

Région Alsace

cnrs

Résidence séniors,
Brumath, Alsace

2008 **2016**

A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche

Région Alsace

cnrs

Résidence séniors,
Brumath, Alsace

2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

Contrôle d'accès au medium
Routage

A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche

Région Alsace

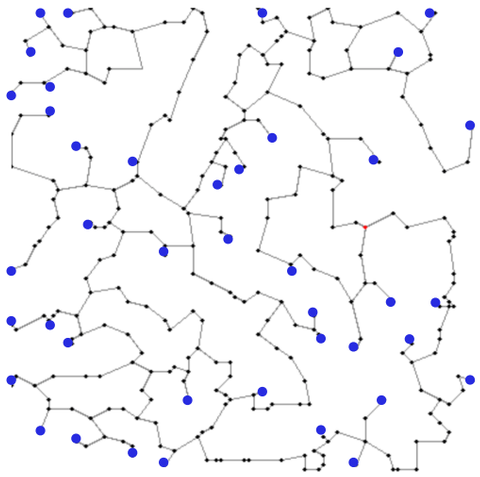
cnrs

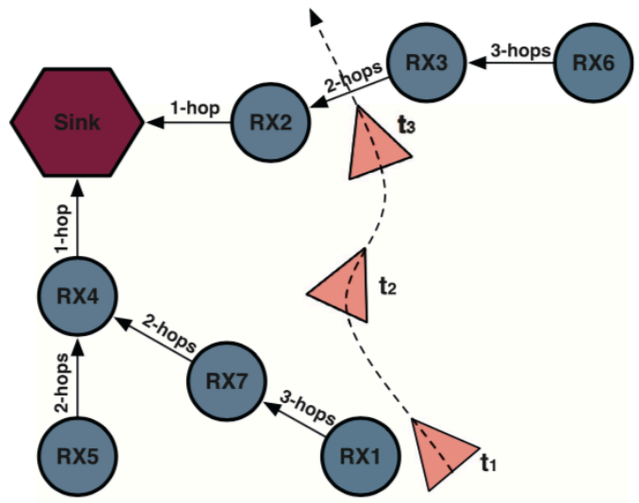
Résidence séniors,
Brumath, Alsace

2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

Contrôle d'accès au medium
Routage

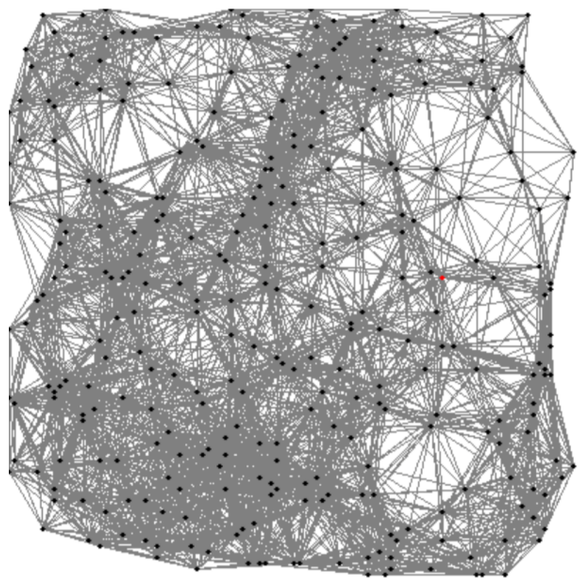
Auto-configuration / adaptation





2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

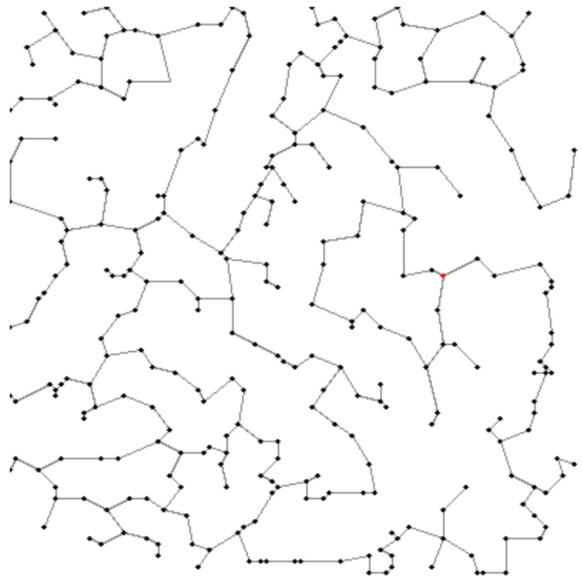
- **Périodes de sommeil et préambules ?**
  - i.e.,  ou 



2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

X.-Y. Li, Y. Wang, and W.-Z. Song, “Applications of k-local MST for topology control and broadcasting in wireless ad hoc networks,”
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), vol. 15, no. 12, pp. 1057–1069, 2004.

- **Périodes de sommeil et préambules ?**
  - i.e.,  ou 
  - ➡Topologie physique
    - Trouver l’arbre couvrant minimal…
    - …de façon localisée.
  - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)

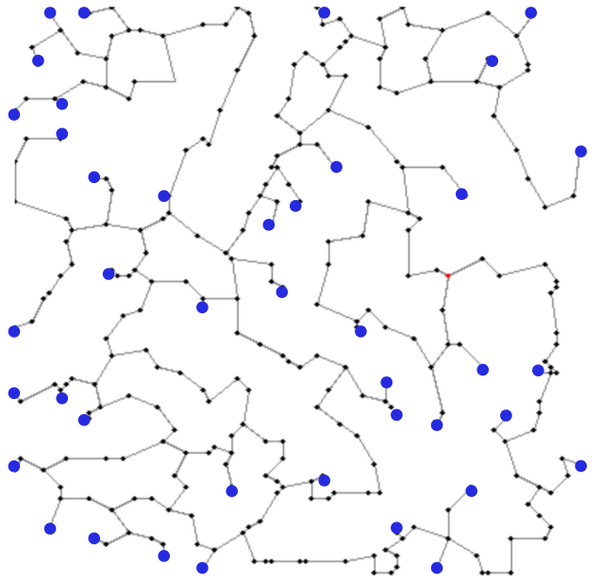


1. Every node u collects the location information of $N_2(u)$ based on an efficient method described in [32] (reviewed in detail later).
2. Every node u computes the Euclidean minimum spanning tree $MST(N_2(u))$ of its 2-hop neighbors $N_2(u)$, including u itself.
3. A node u proposes to add a directed edge $\overrightarrow{uv}$ if $uv \in MST(N_2(u))$ and $||uv|| \leq 1$.

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

X.-Y. Li, Y. Wang, and W.-Z. Song, “Applications of k-local MST for topology control and broadcasting in wireless ad hoc networks,”
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), vol. 15, no. 12, pp. 1057–1069, 2004.

- **Périodes de sommeil et préambules ?**
  - i.e.,  ou 
  - ➡Topologie physique
    - Trouver l’arbre couvrant minimal…
    - …de façon localisée.
  - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)

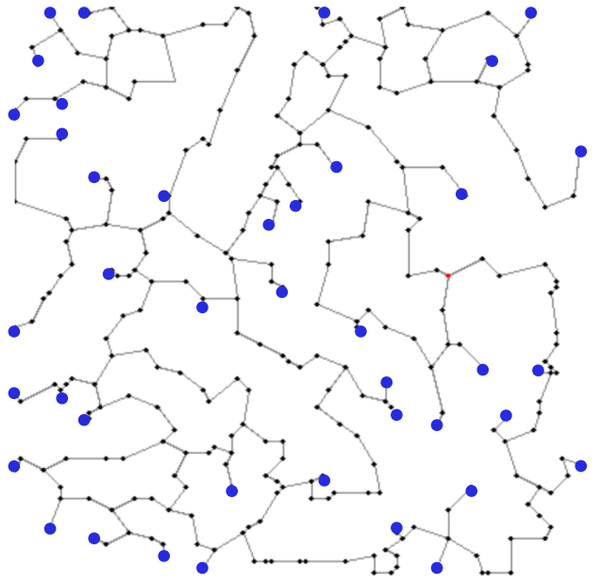


1. Every node u collects the location information of $N_2(u)$ based on an efficient method described in [32] (reviewed in detail later).
2. Every node u computes the Euclidean minimum spanning tree $MST(N_2(u))$ of its 2-hop neighbors $N_2(u)$, including u itself.
3. A node u proposes to add a directed edge $\overrightarrow{uv}$ if $uv \in MST(N_2(u))$ and $||uv|| \leq 1$.

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

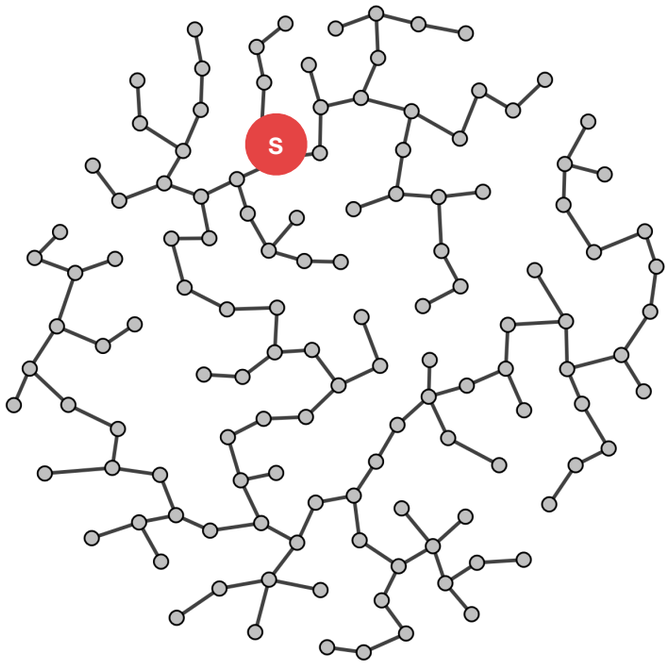
X.-Y. Li, Y. Wang, and W.-Z. Song, “Applications of k-local MST for topology control and broadcasting in wireless ad hoc networks,”
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), vol. 15, no. 12, pp. 1057–1069, 2004.

- **Périodes de sommeil et préambules ?**
  - i.e.,  ou 
  - ➡Topologie physique
    - Trouver l’arbre couvrant minimal…
    - …de façon localisée.
    - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)



1. Every node u collects the location information of $N_2(u)$ based on an efficient method described in [32] (reviewed in detail later).
2. Every node u computes the Euclidean minimum spanning tree $MST(N_2(u))$ of its 2-hop neighbors $N_2(u)$, including u itself.
3. A node u proposes to add a directed edge $\overrightarrow{uv}$ if $uv \in MST(N_2(u))$ and $||uv|| \leq 1$.

  - ➡Topologie logique
    - Exemple : topologie de routage (gradient)
    - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)



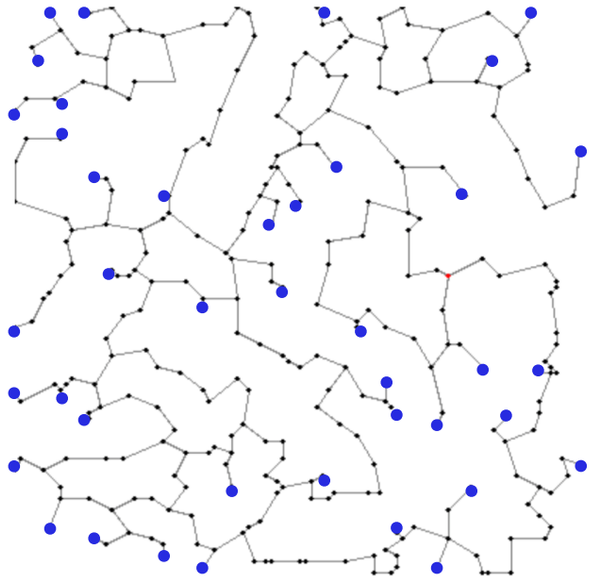
C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, “Directed diffusion for wireless sensor networking,”
IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), vol. 11, no. 1, pp. 2–16, 2003.

T. Winter, P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, J. Vasseur, and R. Alexander,
“**RPL**: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks,”
Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 6550, 2012.

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

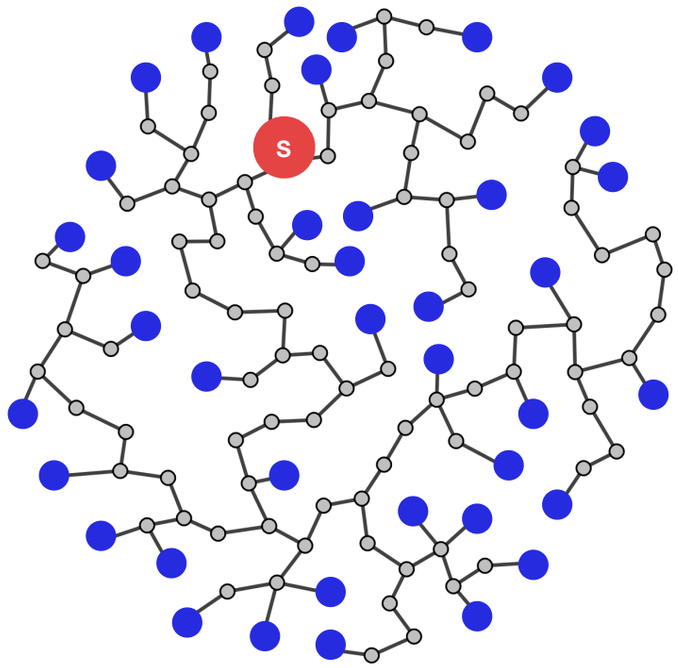
X.-Y. Li, Y. Wang, and W.-Z. Song, “Applications of k-local MST for topology control and broadcasting in wireless ad hoc networks,”
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), vol. 15, no. 12, pp. 1057–1069, 2004.

- **Périodes de sommeil et préambules ?**
  - i.e.,  ou 
  - ➡Topologie physique
    - Trouver l’arbre couvrant minimal…
    - …de façon localisée.
    - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)



1. Every node u collects the location information of $N_2(u)$ based on an efficient method described in [32] (reviewed in detail later).
2. Every node u computes the Euclidean minimum spanning tree $MST(N_2(u))$ of its 2-hop neighbors $N_2(u)$, including u itself.
3. A node u proposes to add a directed edge $\overrightarrow{uv}$ if $uv \in MST(N_2(u))$ and $||uv|| \leq 1$.

  - ➡Topologie logique
    - Exemple : topologie de routage (gradient)
    - ➡Feuilles non relais (*sensing-only*)



C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, “Directed diffusion for wireless sensor networking,”
IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), vol. 11, no. 1, pp. 2–16, 2003.

T. Winter, P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, J. Vasseur, and R. Alexander,
“**RPL**: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks,”
Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 6550, 2012.

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

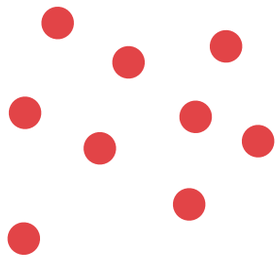
- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

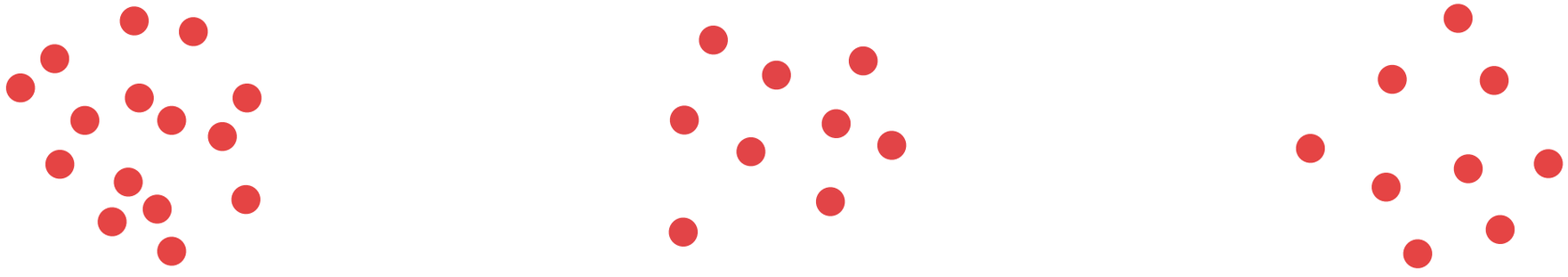


J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

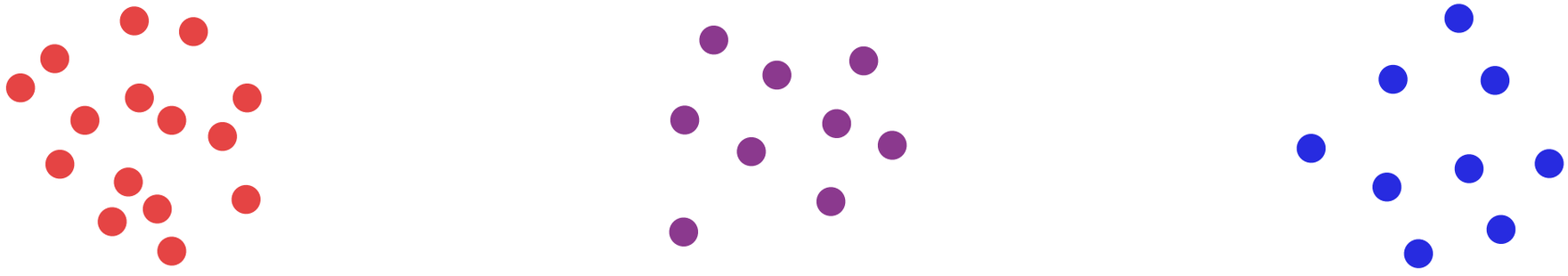


J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**



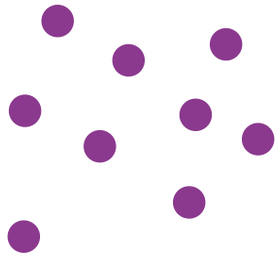
J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks. **ACM PE-WASUN** - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments. **Springer Networking Science** (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

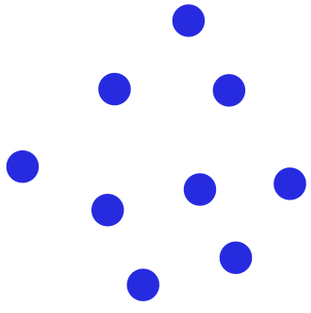
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

Configuration LPL 1
(ex : veille/préambule 125ms)



Configuration LPL 2
(ex : veille/préambule 250ms)



Configuration LPL 3
(ex : veille/préambule 500ms)

Profondeur de sommeil

- **Préambule noeud de couche *n+1* > période de veille noeud de couche *n***

  ➡Noeud de couche *n* peut communiquer avec noeud de couche *m* (où $m < n$)

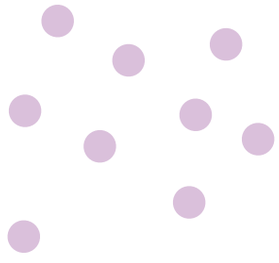
J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks. **ACM PE-WASUN** - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments. **Springer Networking Science** (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

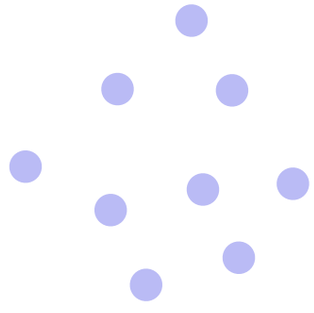
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

Configuration LPL 1
(ex : veille/préambule 125ms)



Configuration LPL 2
(ex : veille/préambule 250ms)



Configuration LPL 3
(ex : veille/préambule 500ms)

Profondeur de sommeil

Critère de partitionnement
=
contrôle de densité
(après un temps d'attente,
si x voisins à niveau i, alors niveau i++)

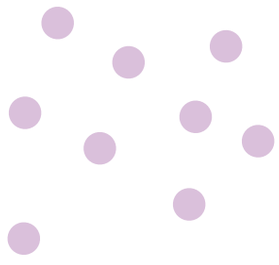
J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

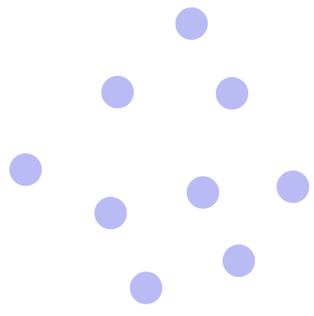
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

Configuration LPL 1
(ex : veille/préambule 125ms)

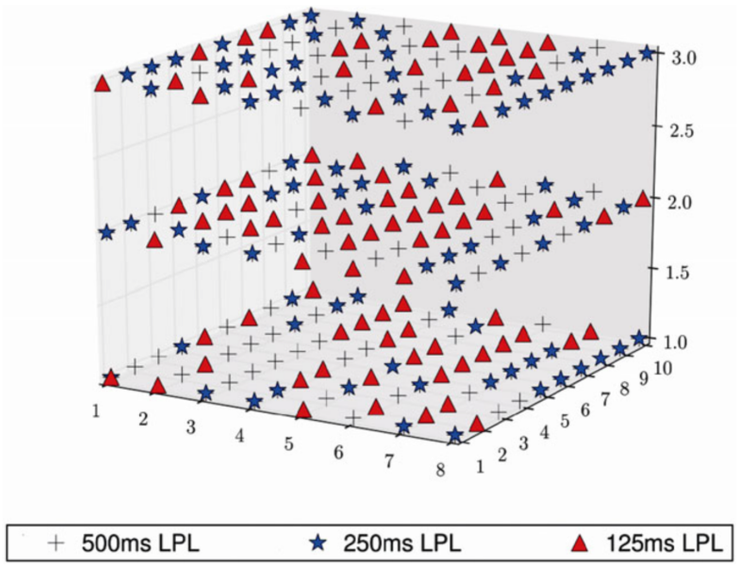


Configuration LPL 2
(ex : veille/préambule 250ms)



Configuration LPL 3
(ex : veille/préambule 500ms)

Profondeur de sommeil



Critère de partitionnement
=
contrôle de densité
(après un temps d'attente,
si x voisins à niveau i, alors niveau i++)

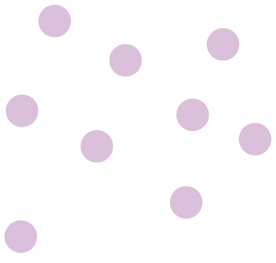
J. Beaudaux, A. Gallais and T. Razafindralambo. Multiple Coverage with Controlled Connectivity in Wireless Sensor Networks.
ACM PE-WASUN - Bodrum, Turquie, October **2010.**

J. Beaudaux, A. Gallais and T. Noel. Heterogeneous MAC Duty-Cycling for Energy-Efficient Internet of Things Deployments.
Springer Networking Science (SI on Internet of Things), Vol. 3:1-4, pp 54-62, December **2013.**

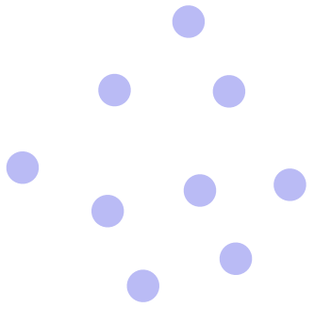
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Partitionnement : utilité d'un noeud pour l'application => niveau d'activité ?**

Configuration LPL 1
(ex : veille/préambule 125ms)

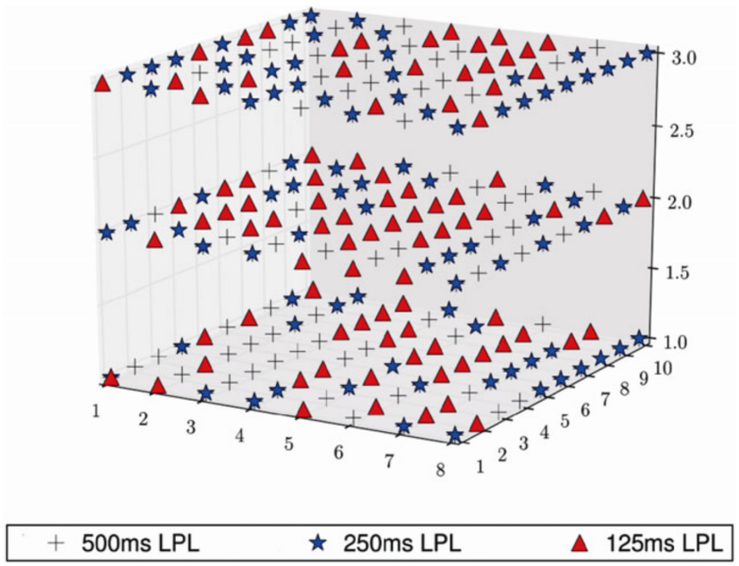


Configuration LPL 2
(ex : veille/préambule 250ms)

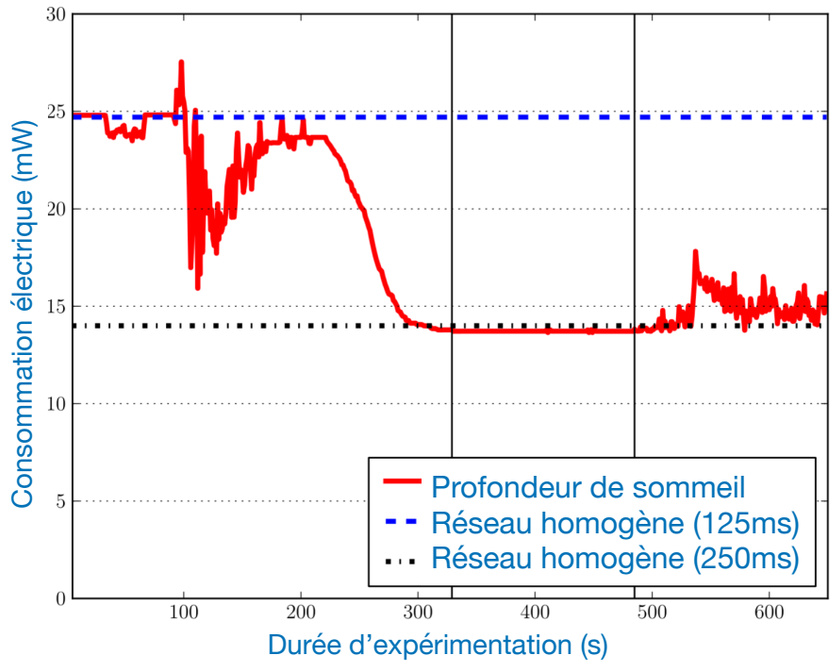


Configuration LPL 3
(ex : veille/préambule 500ms)

Profondeur de sommeil



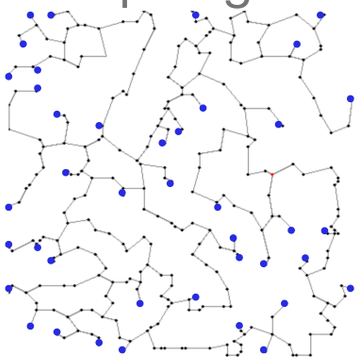
Critère de partitionnement
=
contrôle de densité
(après un temps d'attente,
si x voisins à niveau i, alors niveau i++)



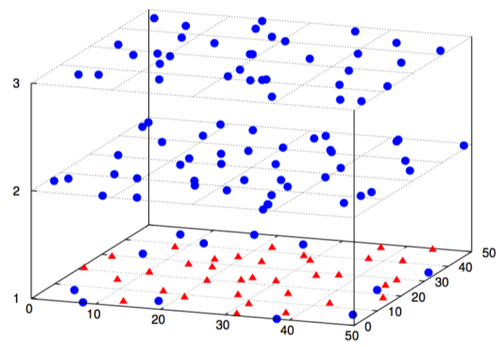
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Périodes de sommeil et préambules ? (i.e., ▬ ou ▬▬▬▬)**

Topologie



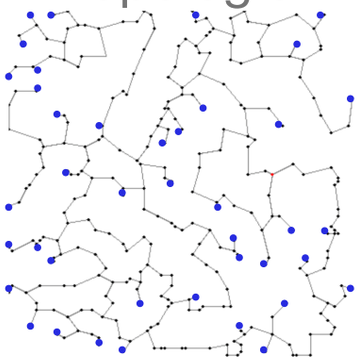
Application



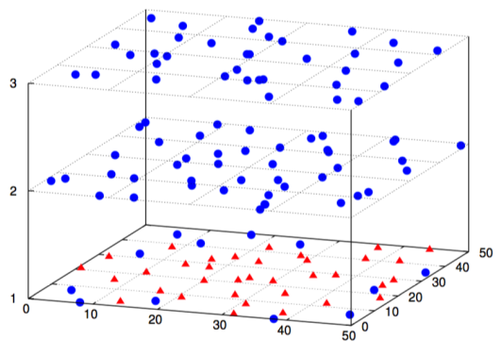
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Périodes de sommeil et préambules ? (i.e., ▬ ou ▬▬▬▬)**

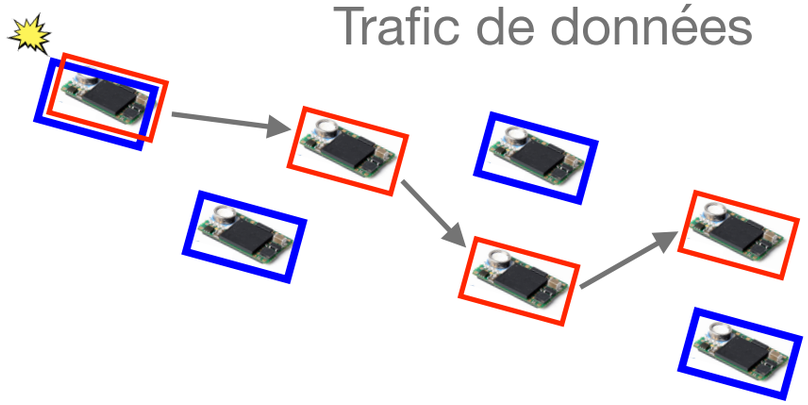
Topologie



Application



Trafic de données

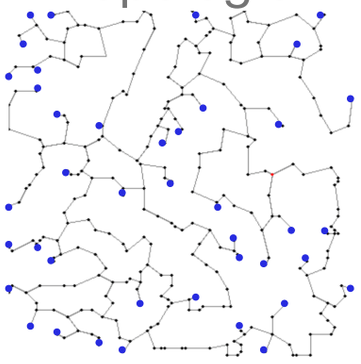


- ➡ ACM PE-WASUN'10
- ➡ IEEE WCNC'11
- ➡ **Elsevier JPDC 2011**
- ➡ **Springer Networking Science 2013**
- ➡ IEEE ISCC'13
- ➡ **Inderscience IJAHUC 2014**
- ➡ IFIP/IEEE Med-Hoc-Net'14 **[Best Paper Award]**

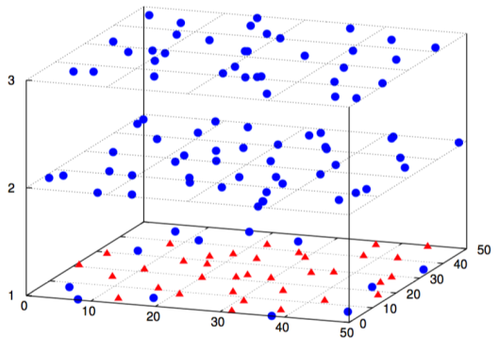
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Périodes de sommeil et préambules ? (i.e., ▬ ou ▬▬▬▬▬▬)**

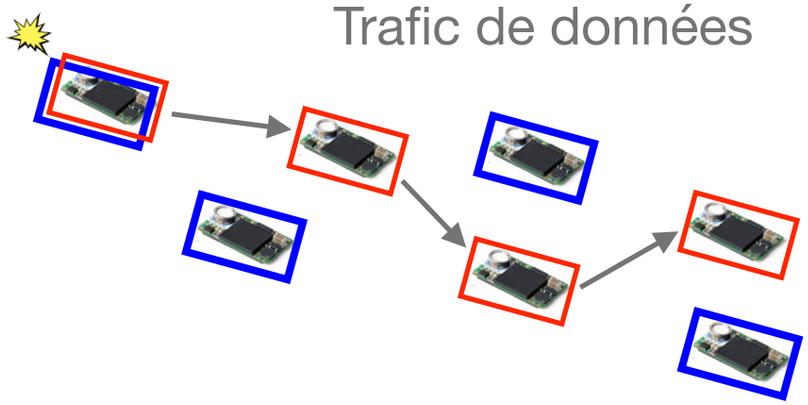
Topologie



Application

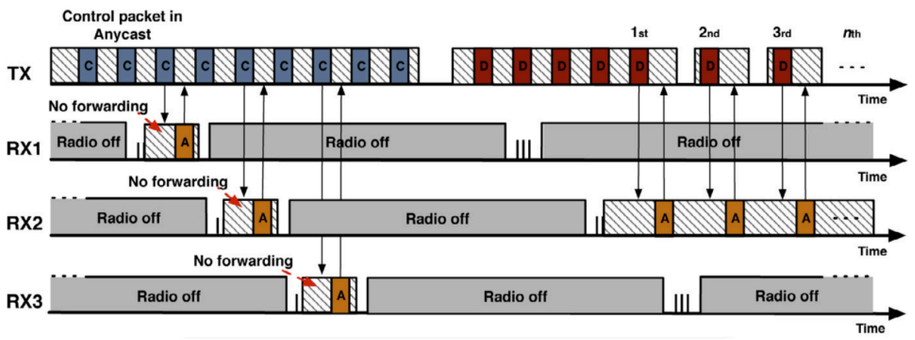


Trafic de données

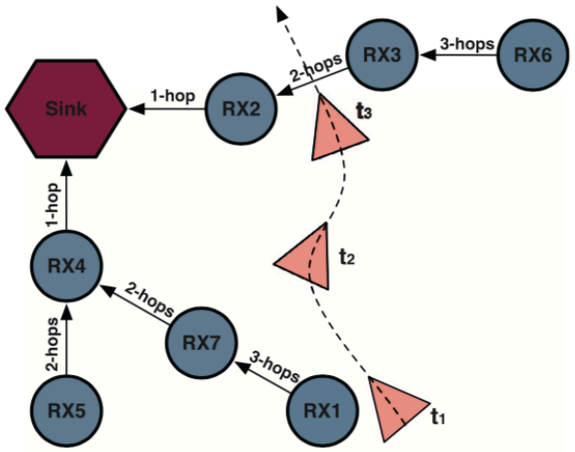


- ➡ ACM PE-WASUN'10
- ➡ IEEE WCNC'11
- ➡ **Elsevier JPDC 2011**
- ➡ **Springer Networking Science 2013**
- ➡ IEEE ISCC'13
- ➡ **Inderscience IJAHUC 2014**
- ➡ IFIP/IEEE Med-Hoc-Net'14 **[Best Paper Award]**

- **Prise en compte de la mobilité**



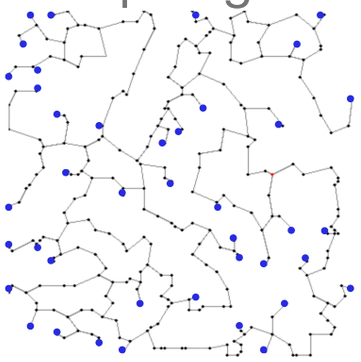
- ➡ **IEEE Sensors'14 [Best student paper award]**
- ➡ IEEE WF-IoT'15
- ➡ **Springer Mobile Net. and App. 2015**
- ➡ IEEE GLOBECOM'16
- ➡ **Elsevier Ad Hoc Nets 2016**



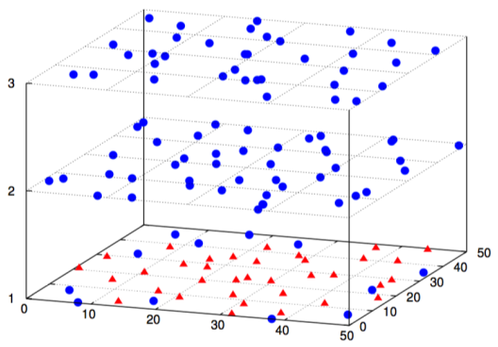
2008-16 : MAC asynchrone (*Low-Power Listening*, LPL)

- **Périodes de sommeil et préambules ? (i.e., ▬ ou ▬▬▬▬▬▬)**

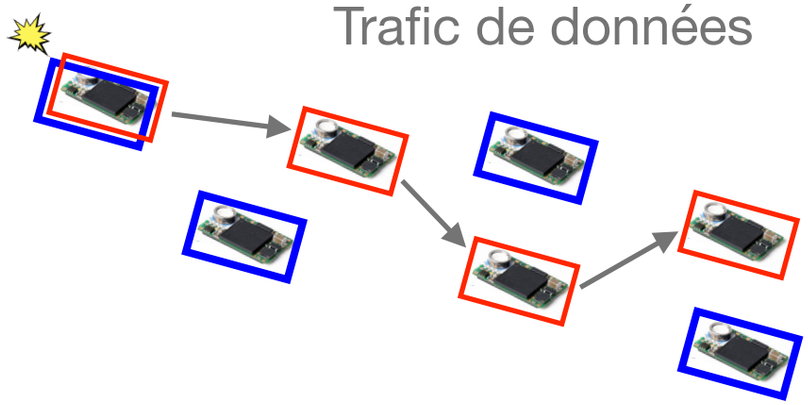
Topologie



Application

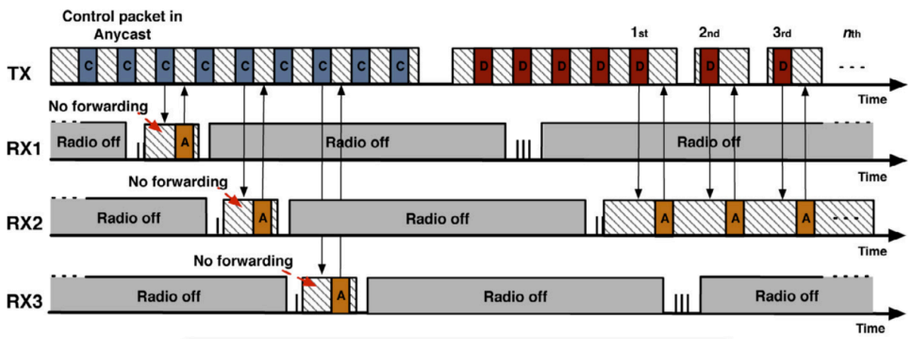


Trafic de données

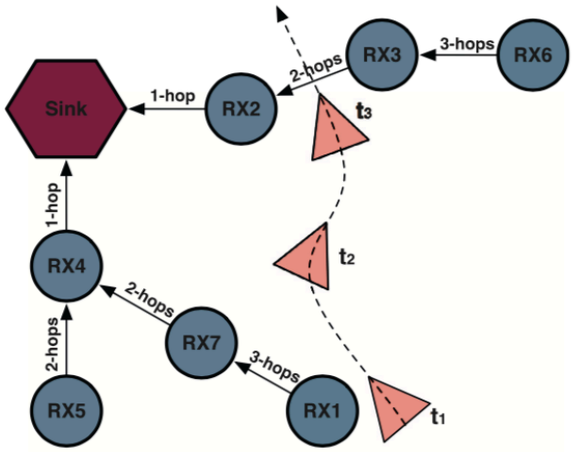


- ➡ ACM PE-WASUN'10
- ➡ IEEE WCNC'11
- ➡ **Elsevier JPDC 2011**
- ➡ **Springer Networking Science 2013**
- ➡ IEEE ISCC'13
- ➡ **Inderscience IJAHUC 2014**
- ➡ IFIP/IEEE Med-Hoc-Net'14 **[Best Paper Award]**

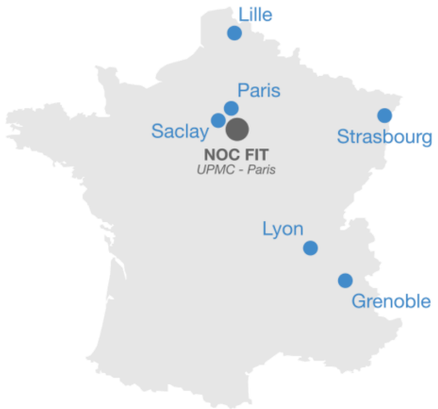
- **Prise en compte de la mobilité**



- ➡ **IEEE Sensors'14 [Best student paper award]**
- ➡ IEEE WF-IoT'15
- ➡ **Springer Mobile Net. and App. 2015**
- ➡ IEEE GLOBECOM'16
- ➡ **Elsevier Ad Hoc Nets 2016**



- **Evaluation de performances**
  - ➡Reproductibilité des résultats ?

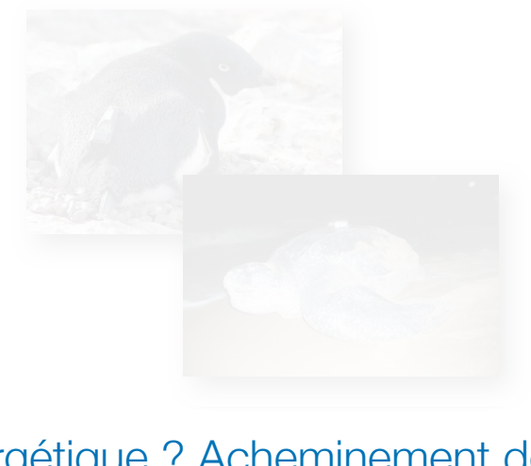


- ➡ ICST TRIDENTCOM '11
- ➡ IFIP Networking'11
- ➡ **IEEE Sensors Journal 2013**
- ➡ IEEE WiMob'13
- ➡ ACM PE-WASUN'14
- ➡ **IEEE Comm. Mag. 2016**
- ➡ **Elsevier Computer Networks 2017**

A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things,*
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

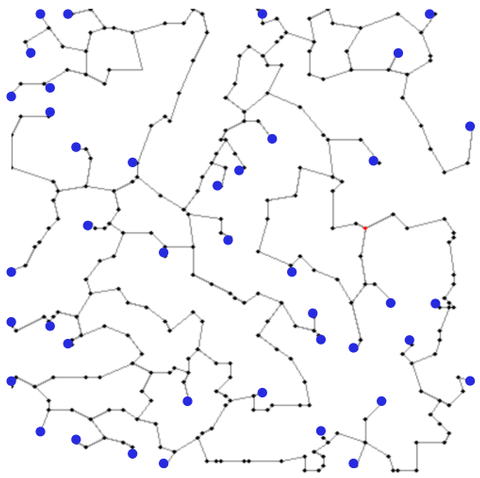
Activités de recherche

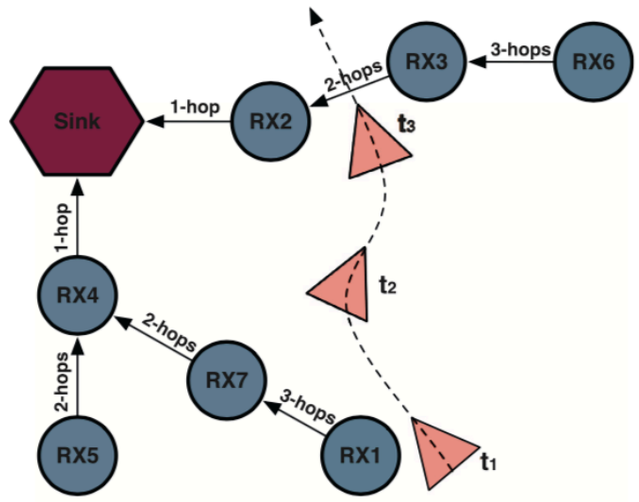


2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

Contrôle d'accès au medium
Routage

Auto-configuration / adaptation





A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

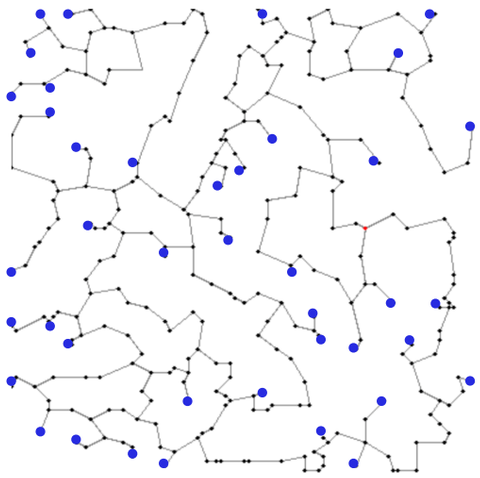
A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

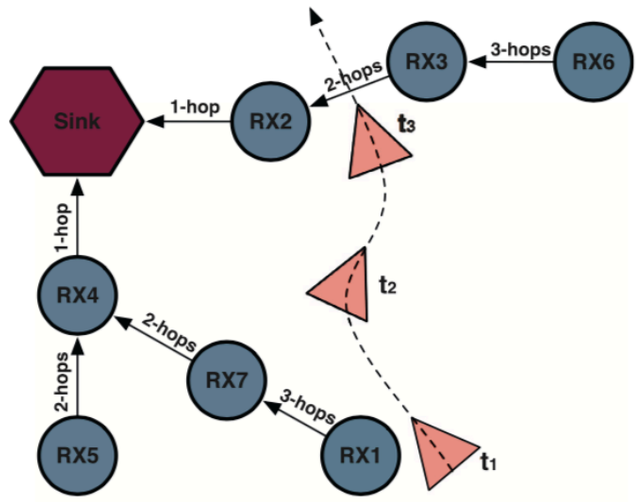
Activités de recherche

2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

Contrôle d'accès au medium
Routage

Auto-configuration / adaptation

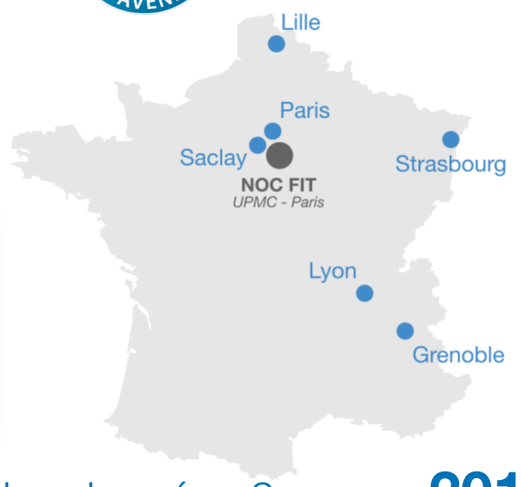




A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things,*
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche



Usine du futur

2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

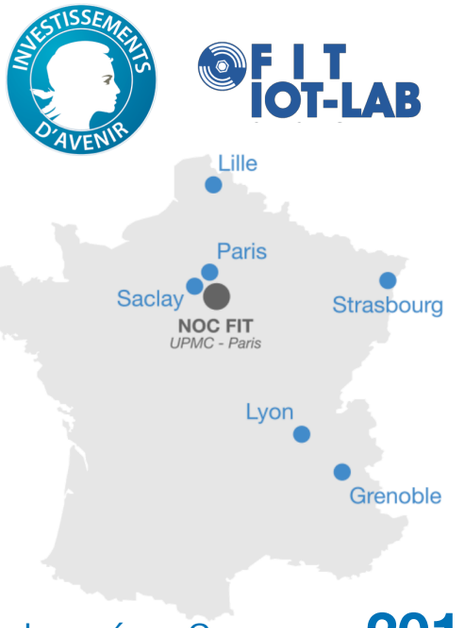
Contrôle d'accès au medium
Routage

Auto-configuration / adaptation

A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche



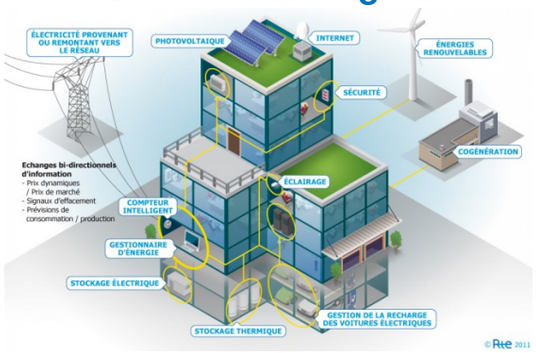
Usine du futur

2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

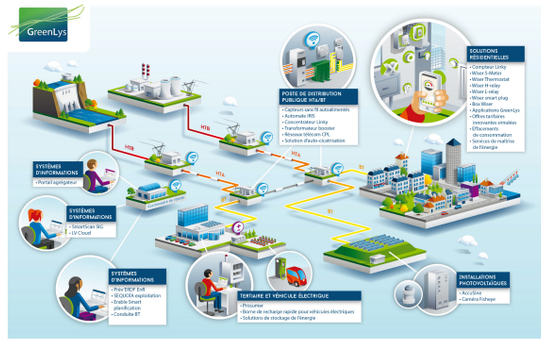
Contrôle d'accès au medium
Routage

Auto-configuration / adaptation

Bâtiment intelligent



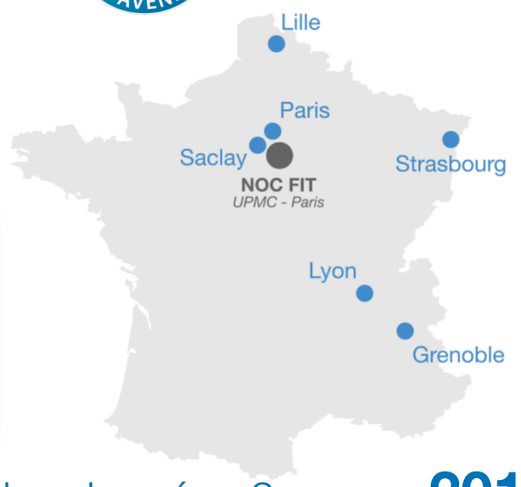
Réseau électrique intelligent



A. Gallais, *Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface*,
Thèse de doctorat en Sciences. Mathématiques. Informatique. Sous la direction de David Simplot-Ryl et de Jean Carle.
Soutenue le **26 juin 2007, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

A. Gallais. *Contributions to Low Power Listening in Dynamic Internet of Things*,
Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).
Soutenue le **17 novembre 2017, Université de Strasbourg**.

Activités de recherche



Usine du futur

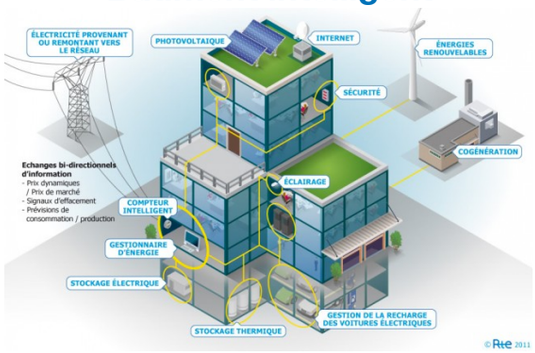
2008 Efficacité énergétique ? Acheminement des données ? **2016**

Contrôle d'accès au medium
Routage

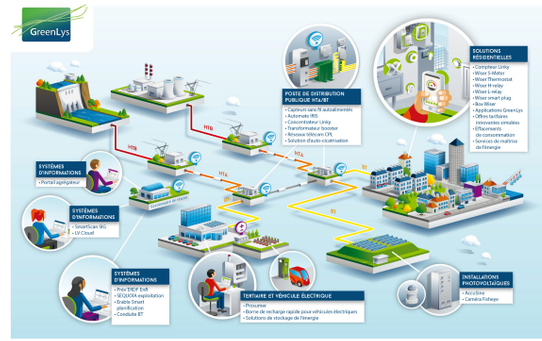
→ **Disponibilité/sécurité**

Auto-configuration / adaptation

Bâtiment intelligent



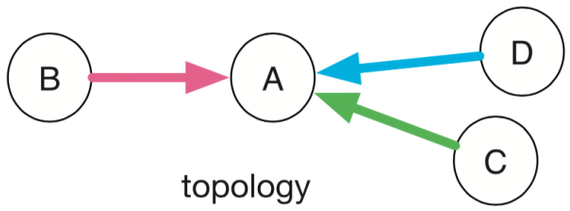
Réseau électrique intelligent

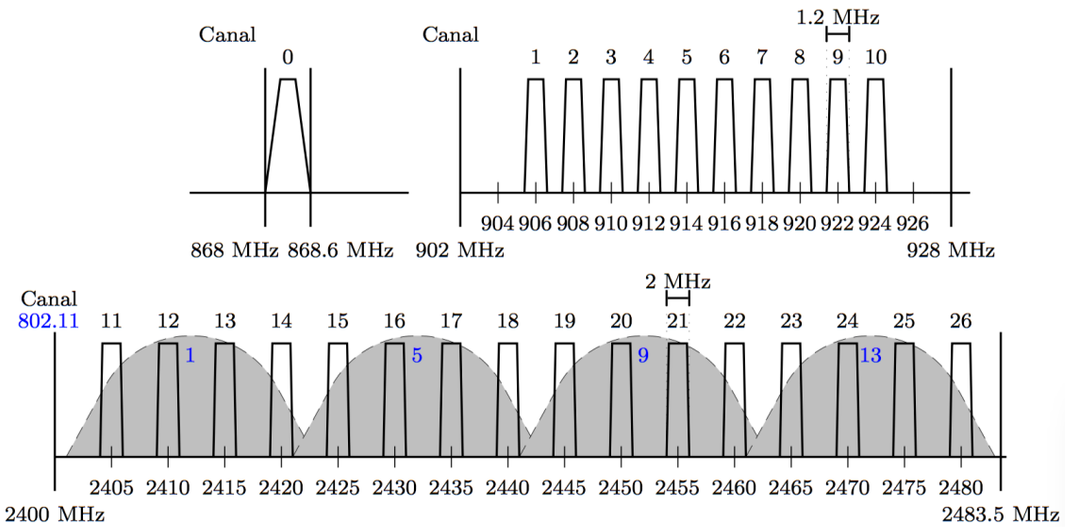


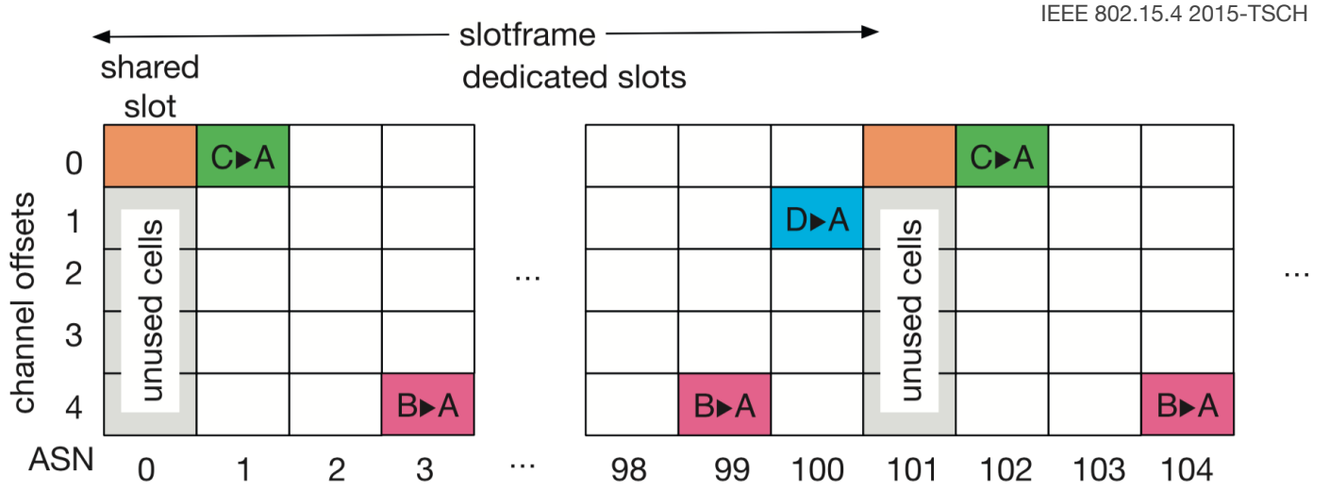
Disponibilité

IEEE 802.15.4-2015, mode TSCH

- **Approches synchrones et sauts de fréquence**
  - ➡Garanties (pertes, délais)
  - ➡Robustesse, passage à l'échelle

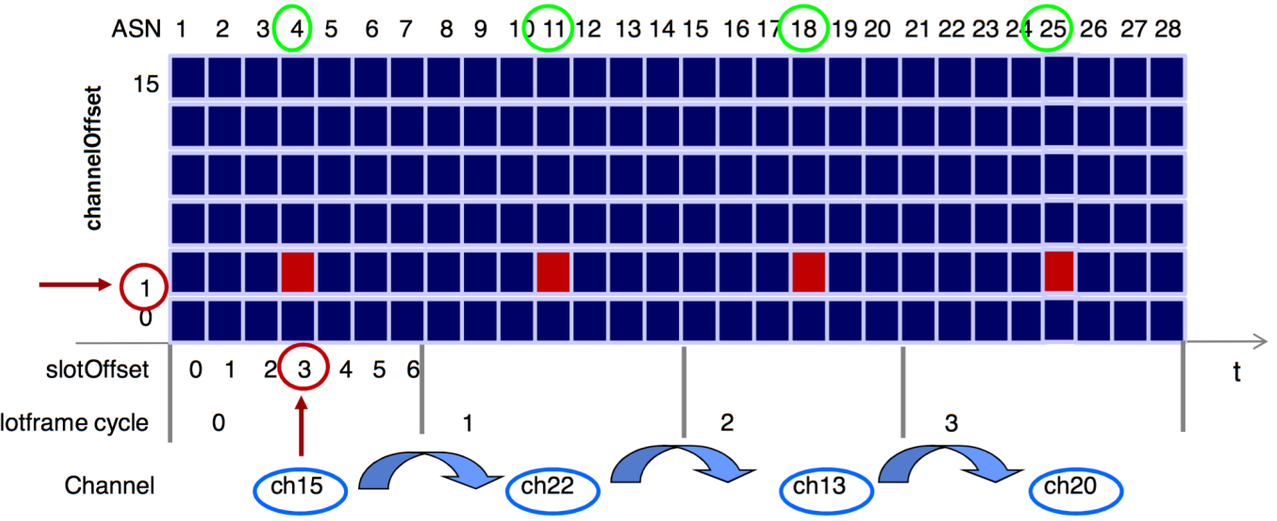




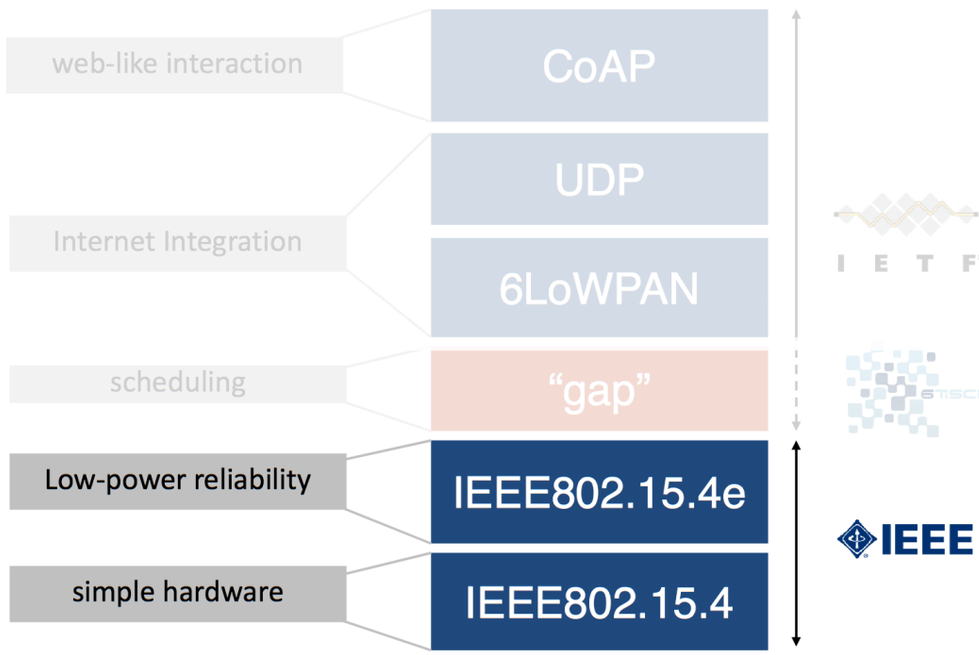


IEEE 802.15.4 2015-TSCH

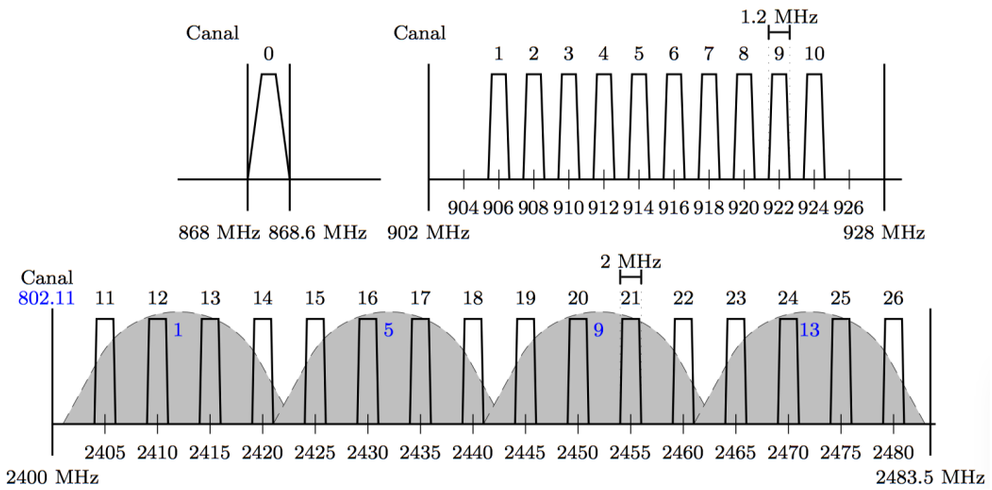
***frequency* = F{ (ASN + chOffset) mod *#channels*}**



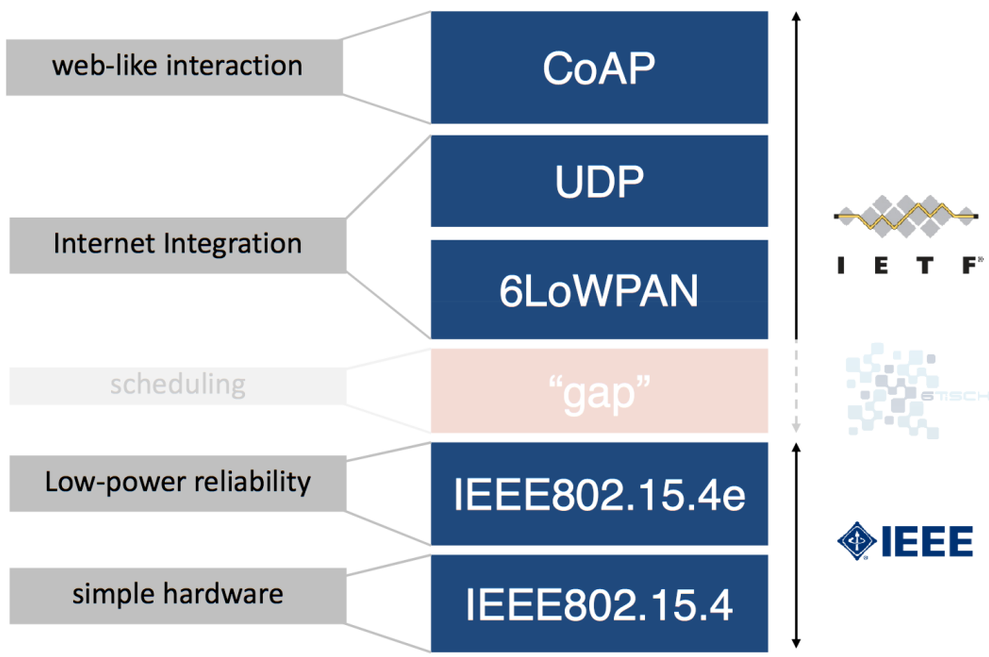
6TiSCH = IEEE 802.15.4-2015 (TSCH) + IPv6



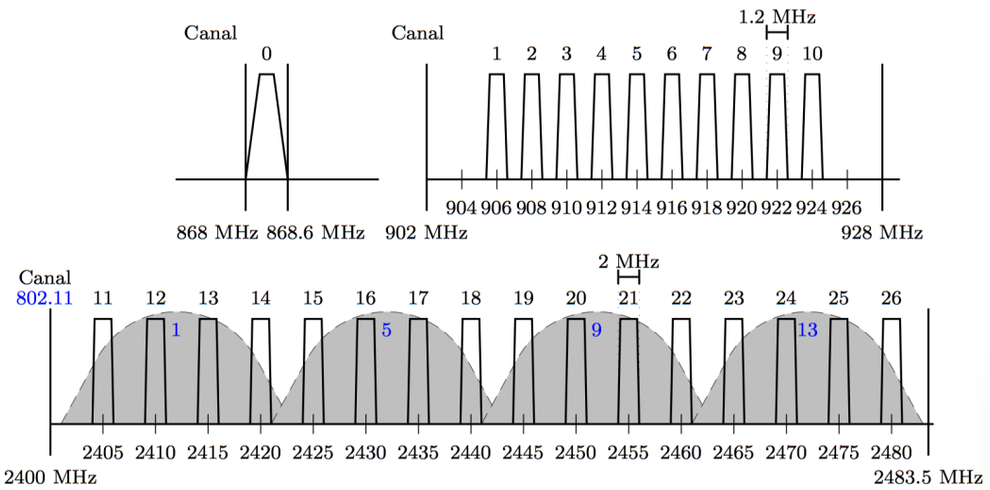
© X. Vilajosana



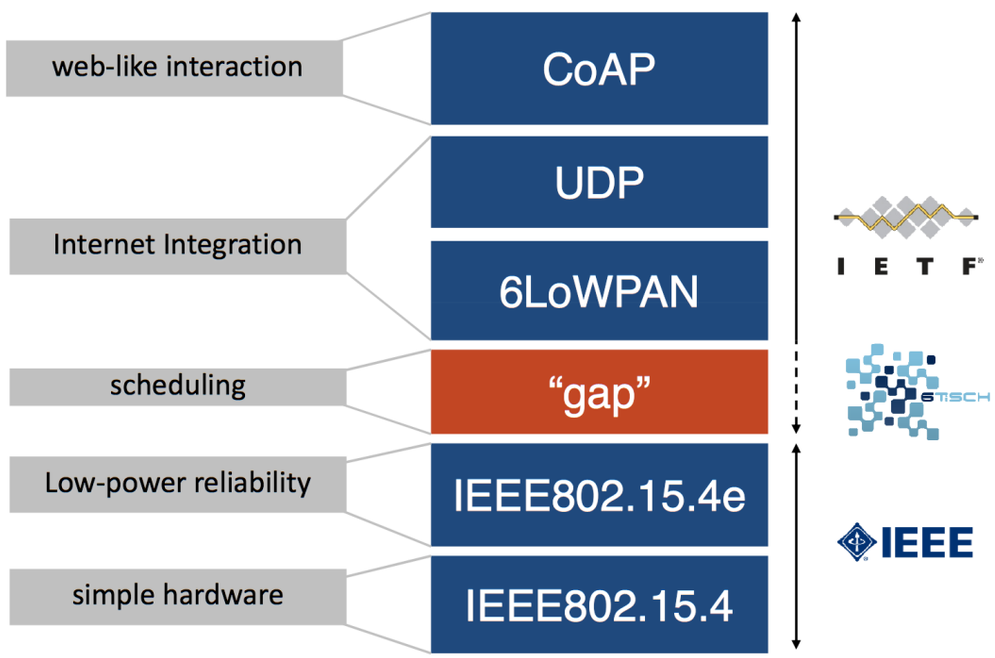
6TiSCH = IEEE 802.15.4-2015 (TSCH) + IPv6



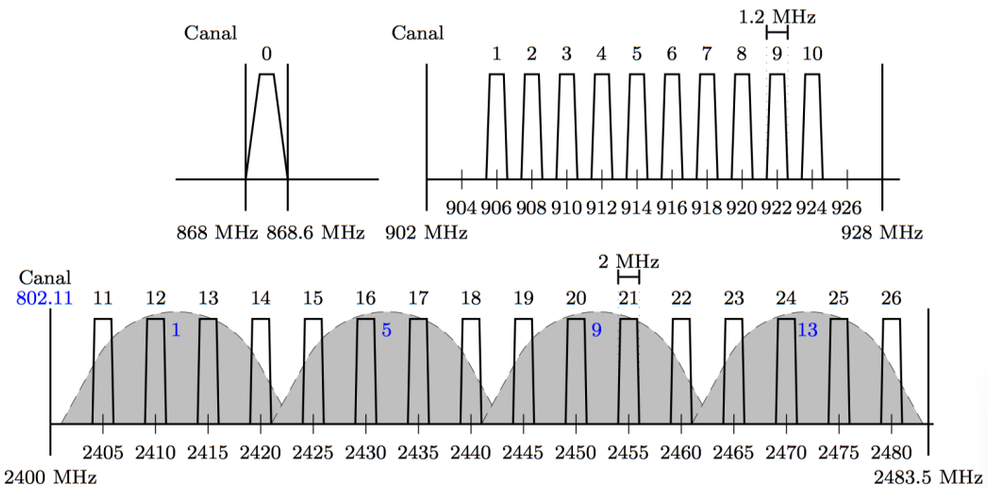
© X. Vilajosana



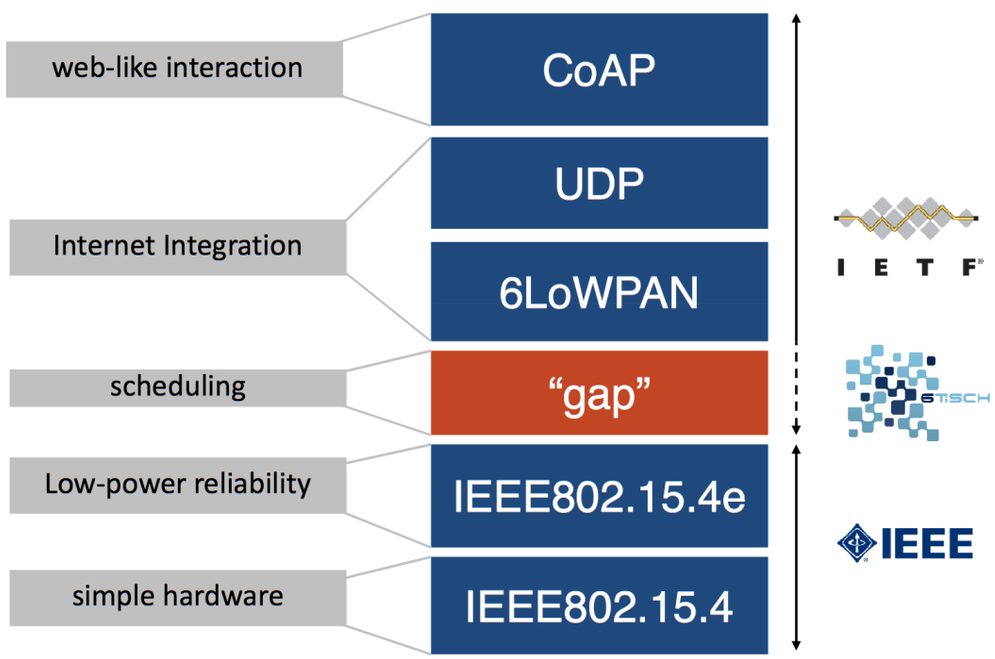
6TiSCH = IEEE 802.15.4-2015 (TSCH) + IPv6



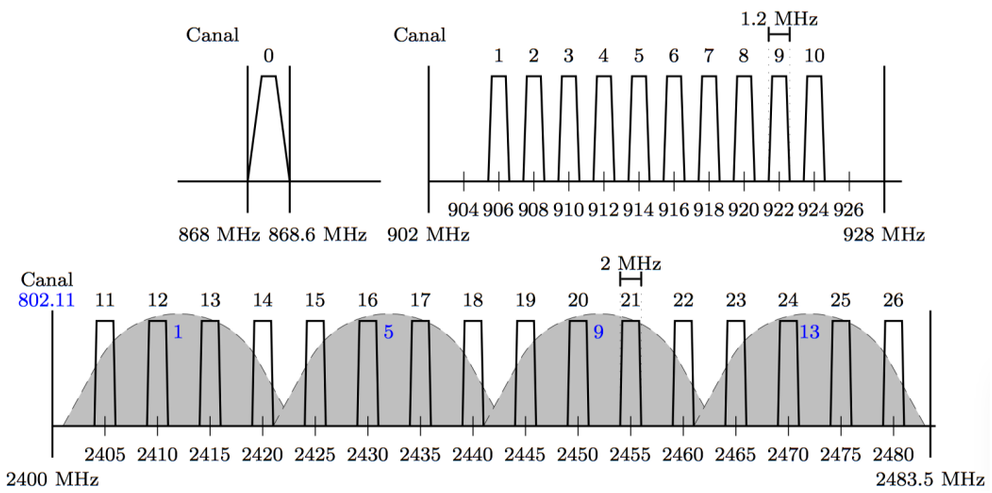
© X. Vilajosana

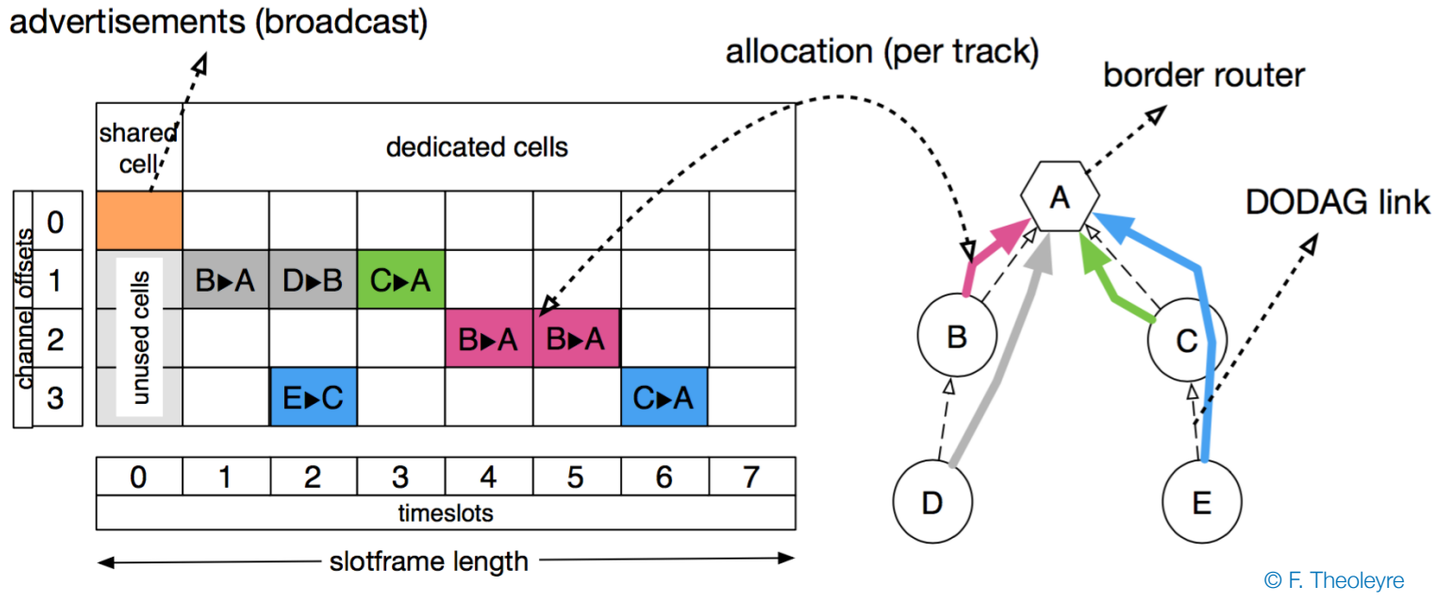


6TiSCH = IEEE 802.15.4-2015 (TSCH) + IPv6



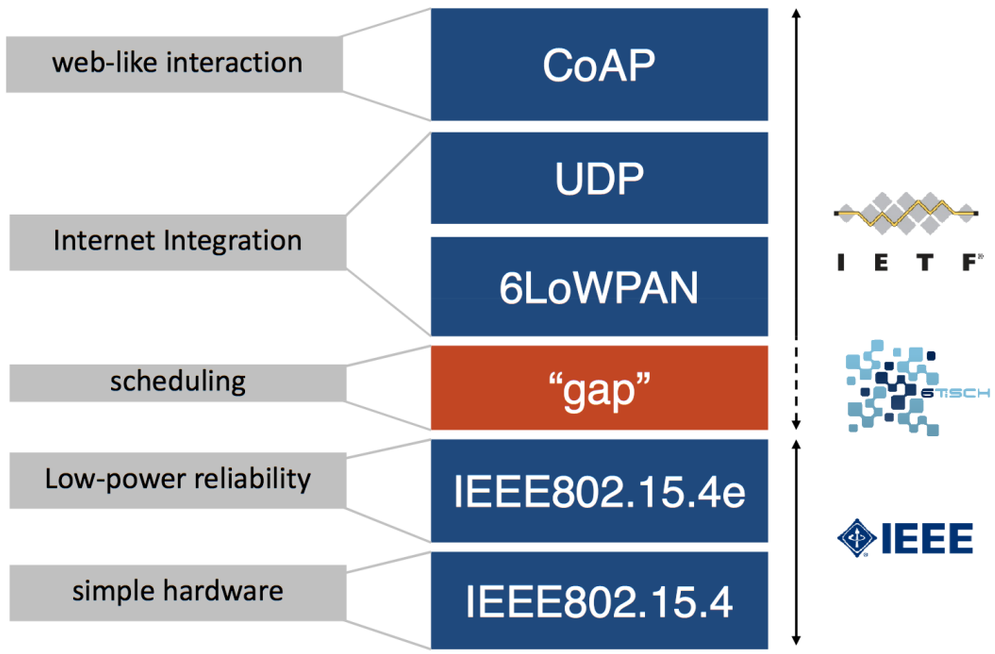
© X. Vilajosana





© F. Theoleyre

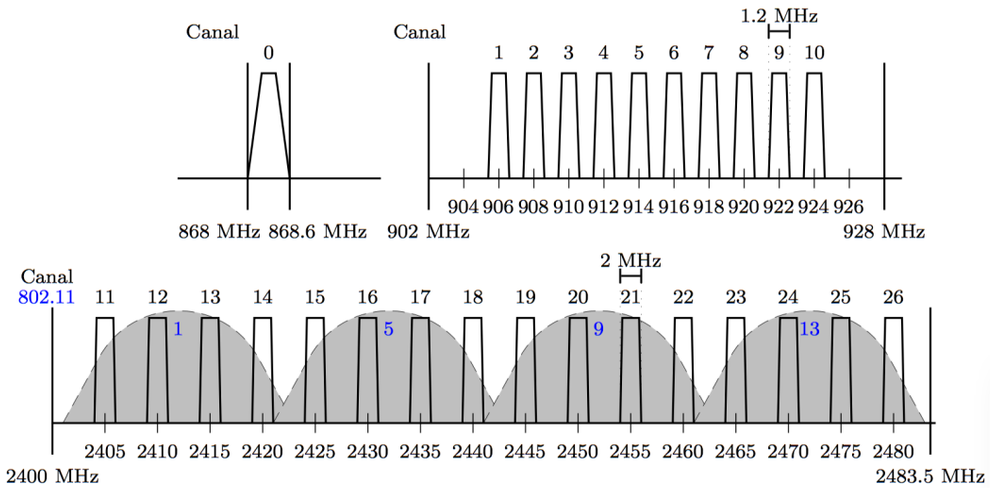
6TiSCH = IEEE 802.15.4-2015 (TSCH) + IPv6

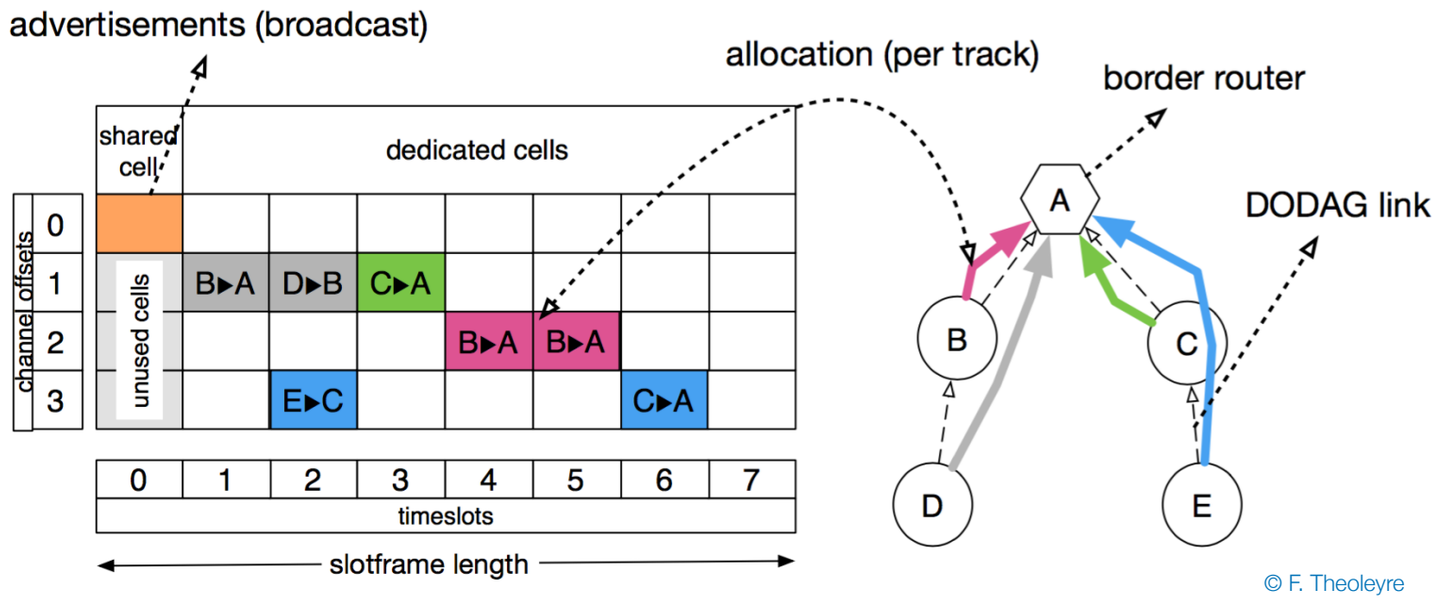


© X. Vilajosana

```
Internet Engineering Task Force (IETF)                        Q. Wang, Ed.
Request for Comments: 8480                  Univ. of Sci. and Tech. Beijing
Category: Standards Track                                     X. Vilajosana
ISSN: 2070-1721                             Universitat Oberta de Catalunya
                                                              T. Watteyne
                                                          Analog Devices
                                                          November 2018

            6TiSCH Operation Sublayer (6top) Protocol (6P)

Abstract

   This document defines the "IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e"
   (6TiSCH) Operation Sublayer (6top) Protocol (6P), which enables
   distributed scheduling in 6TiSCH networks.  6P allows neighbor nodes
   to add/delete Time-Slotted Channel Hopping (TSCH) cells to/on one
   another.  6P is part of the 6TiSCH Operation Sublayer (6top), the
   layer just above the IEEE Std 802.15.4 TSCH Medium Access Control
   layer.  6top is composed of one or more Scheduling Functions (SFs)
   and the 6top Protocol defined in this document.  A 6top SF decides
   when to add/delete cells, and it triggers 6P Transactions.  The
   definition of SFs is out of scope for this document; however, this
   document provides the requirements for an SF.
```

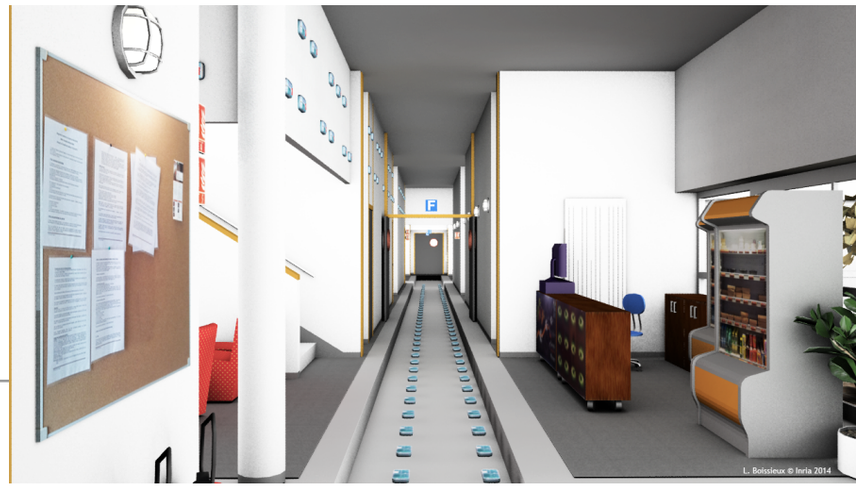
https://datatracker.ietf.org/doc/rfc8480/





© F. Theoleyre

Stabilité des réseaux 6tisch ?



FIT IOT-LAB Grenoble

- **Noeuds du couloir C (puits à l'extrémité, 5 sauts max)**
  - Trafic *convergecast* CBR (1 paquet / 20s)
  - Configuration OpenWSN par défaut

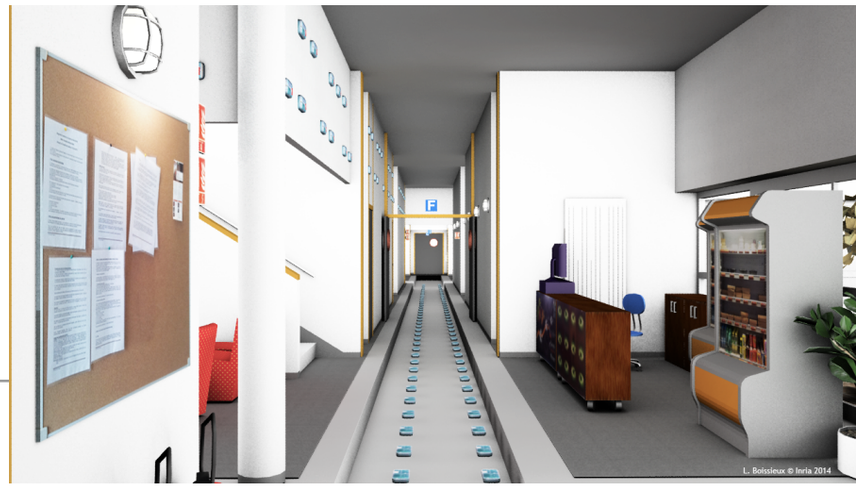
- **Journée de travail (8h) ?**

- **RPL : changements de parent**

- **6TiSCH : requêtes 6P**

- **Taux de livraison ~50%**

Stabilité des réseaux 6tisch ?



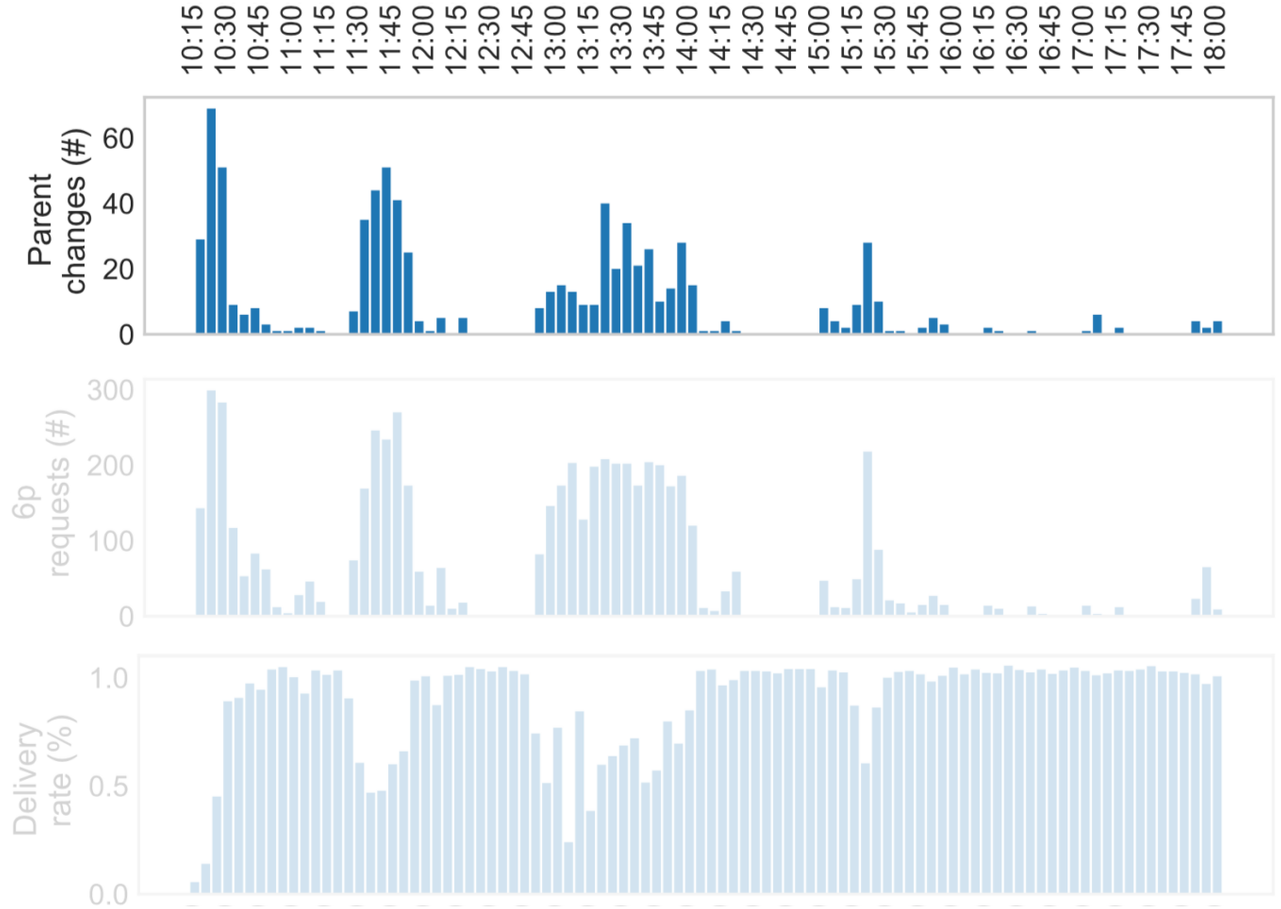
- **Noeuds du couloir C (puits à l'extrémité, 5 sauts max)**
  - Trafic *convergecast* CBR (1 paquet / 20s)
  - Configuration OpenWSN par défaut

- **Journée de travail (8h) ?**

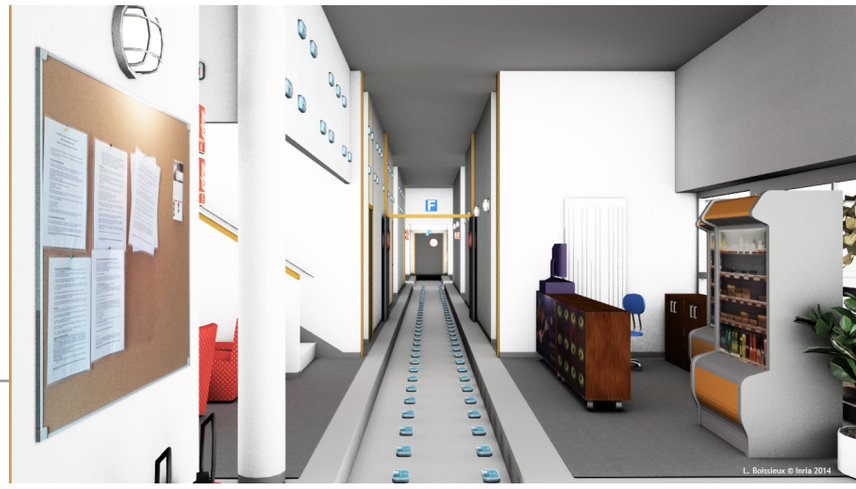
- **RPL : changements de parent**

- **6TiSCH : requêtes 6P**

- **Taux de livraison ~50%**



Stabilité des réseaux 6tisch ?



- **Noeuds du couloir C (puits à l'extrémité, 5 sauts max)**
  - Trafic *convergecast* CBR (1 paquet / 20s)
  - Configuration OpenWSN par défaut

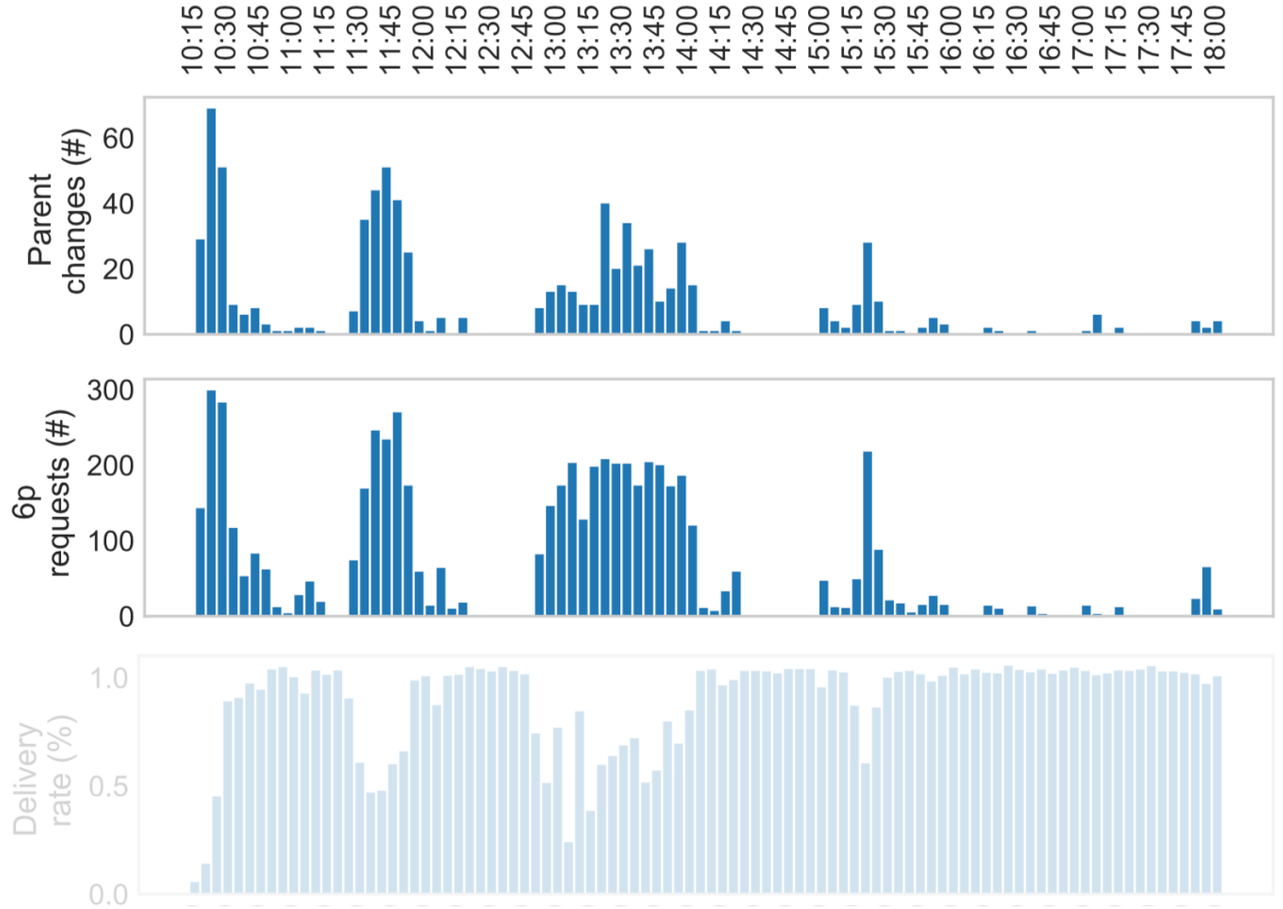
- **Journée de travail (8h) ?**

- **RPL : changements de parent**

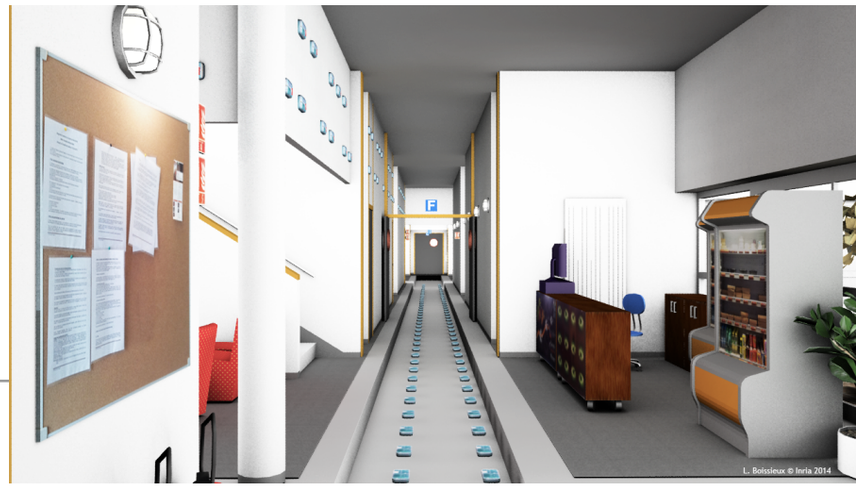
- **6TiSCH : requêtes 6P**

- **Taux de livraison ~50%**

FIT IOT-LAB Grenoble



Stabilité des réseaux 6tisch ?



FIT IOT-LAB Grenoble

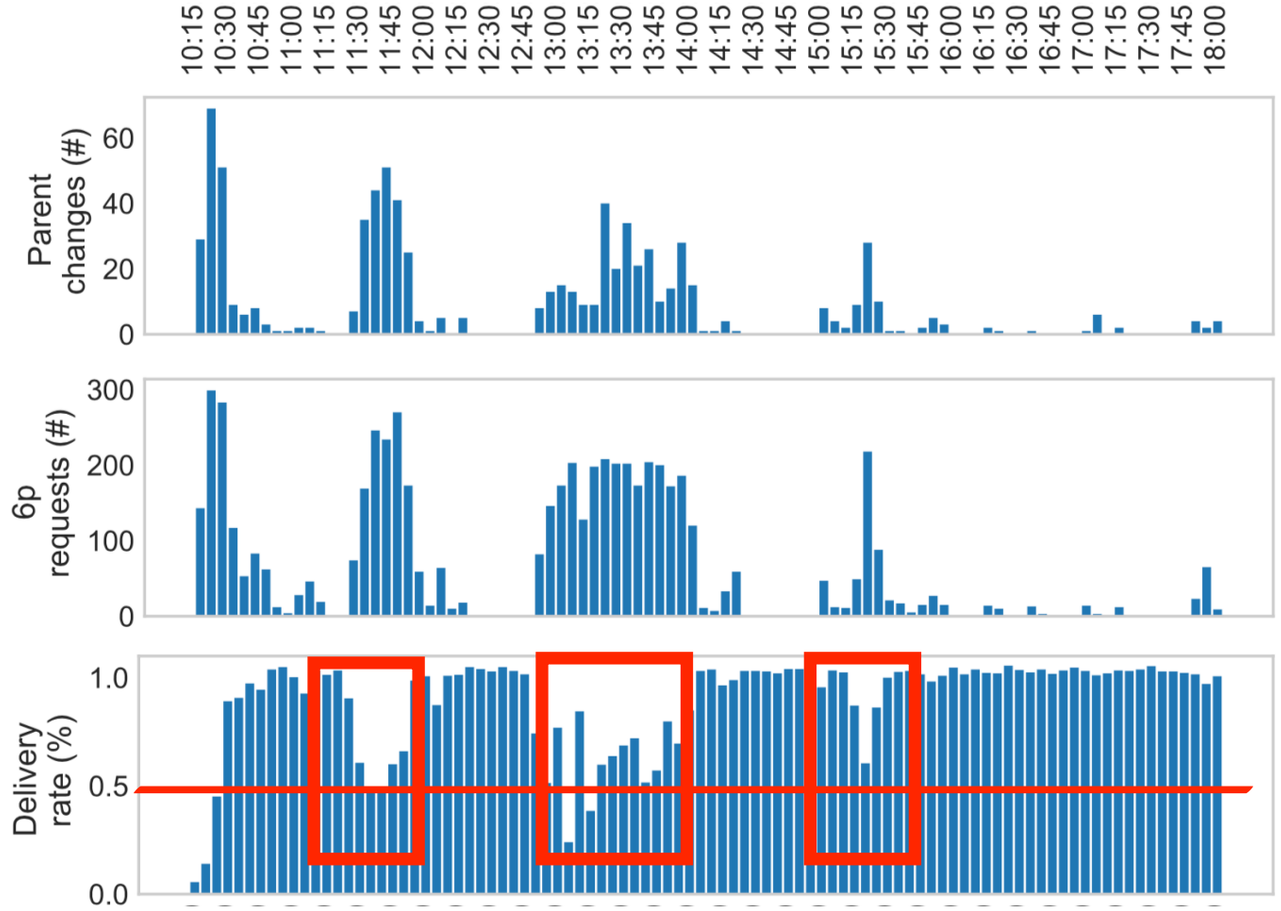
- **Noeuds du couloir C (puits à l'extrémité, 5 sauts max)**
  - Trafic *convergecast* CBR (1 paquet / 20s)
  - Configuration OpenWSN par défaut

- **Journée de travail (8h) ?**

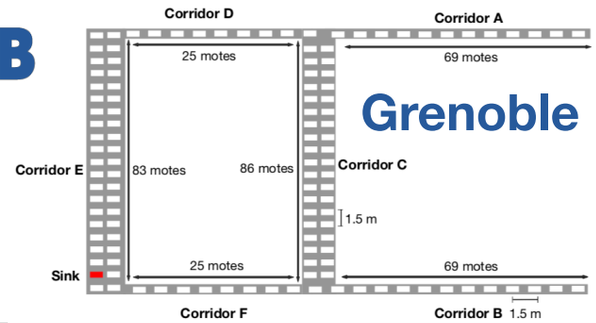
- **RPL : changements de parent**

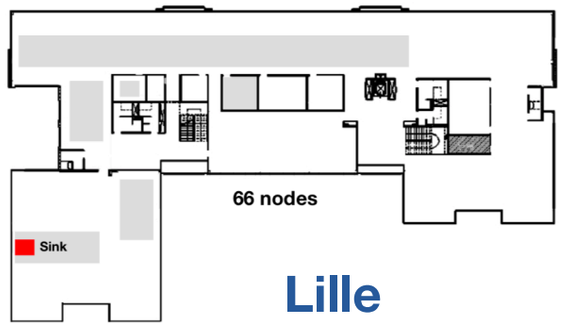
- **6TiSCH : requêtes 6P**

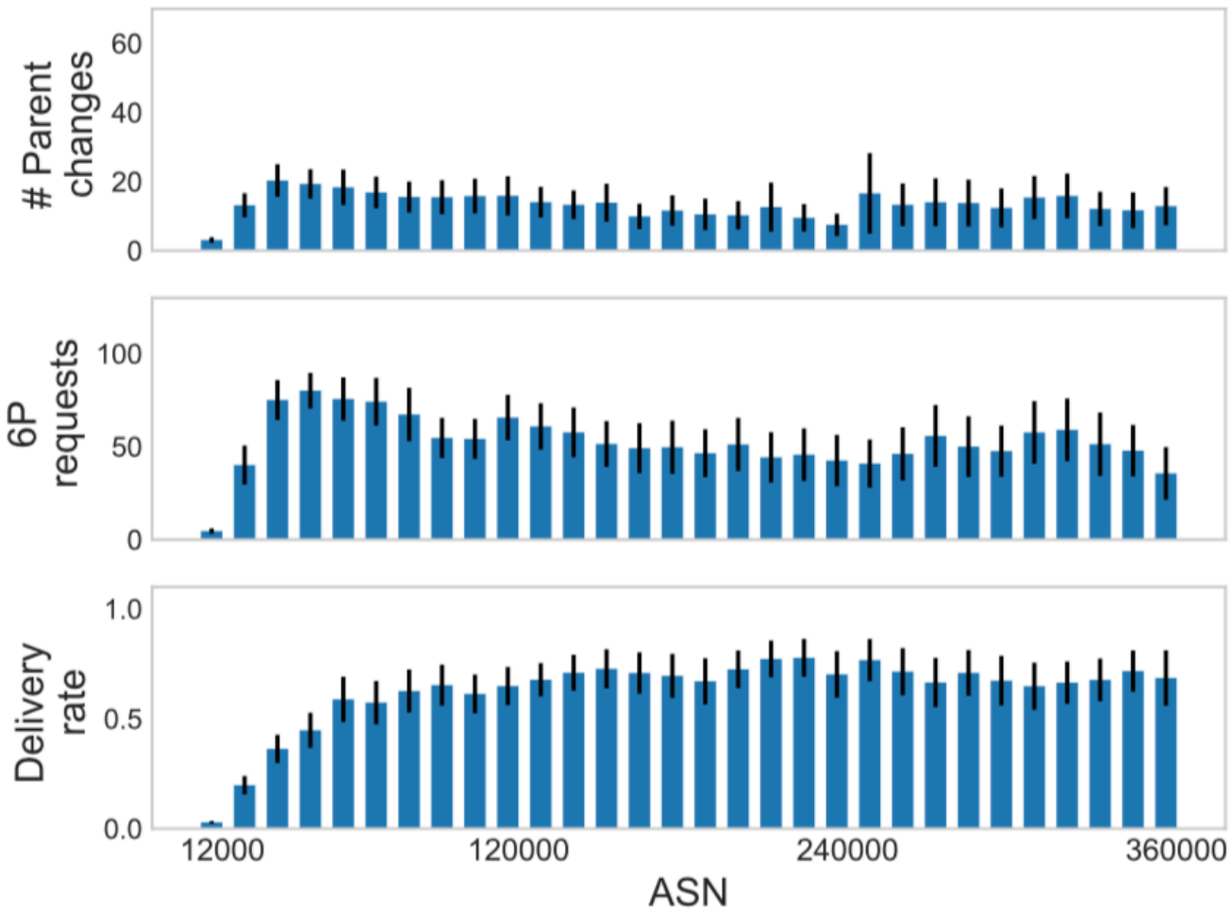
- **Taux de livraison ~50%**



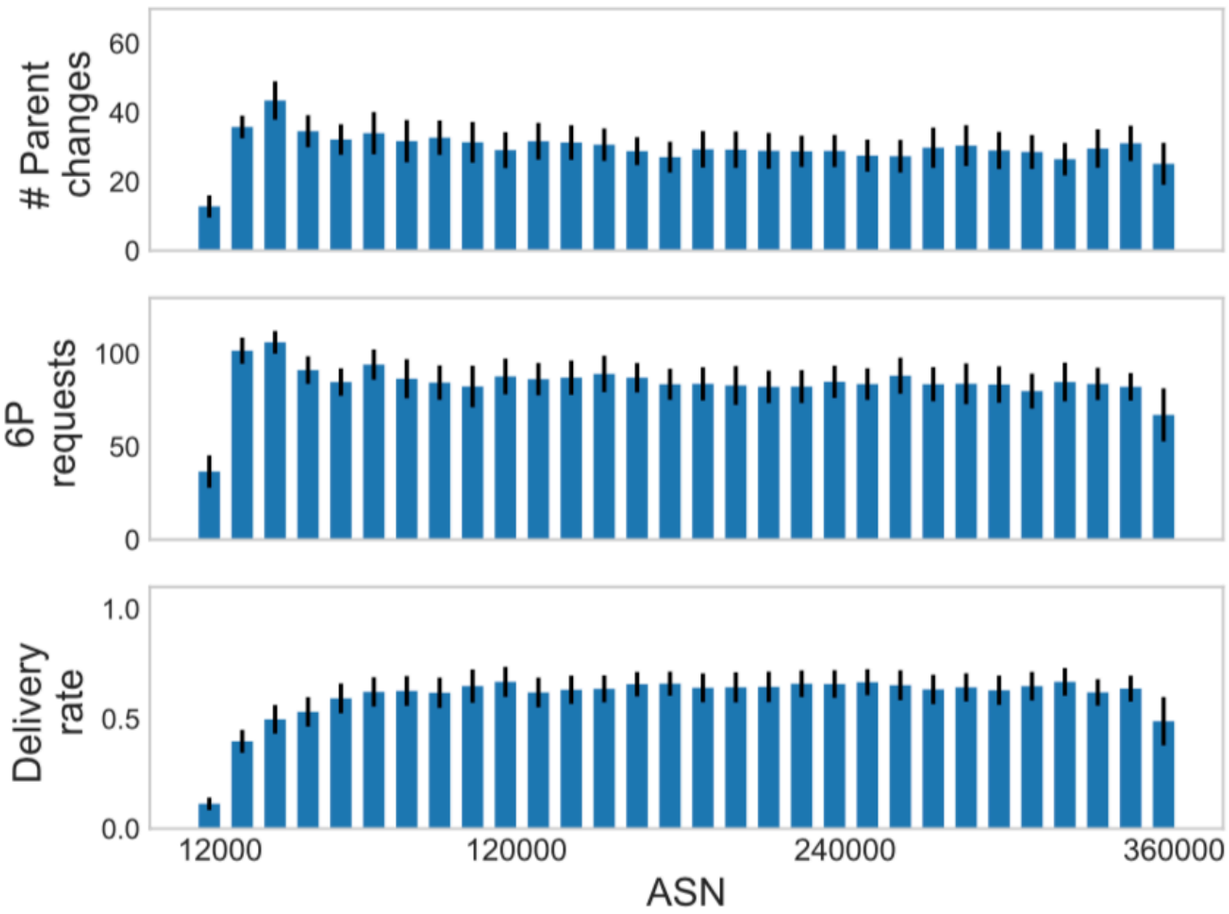
Non spécifique à Grenoble





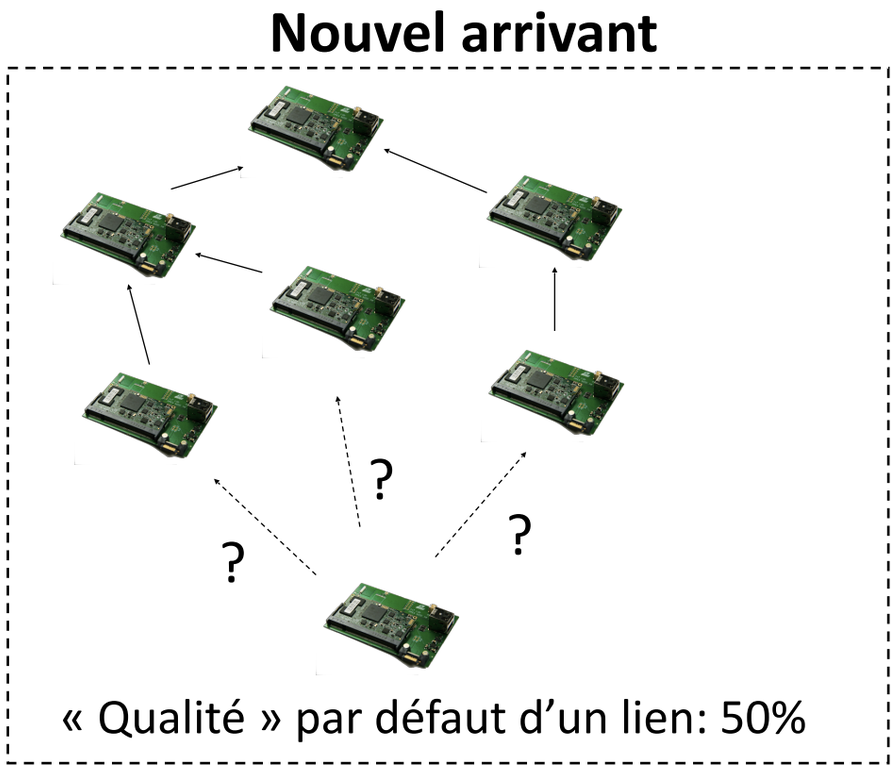


Grenoble



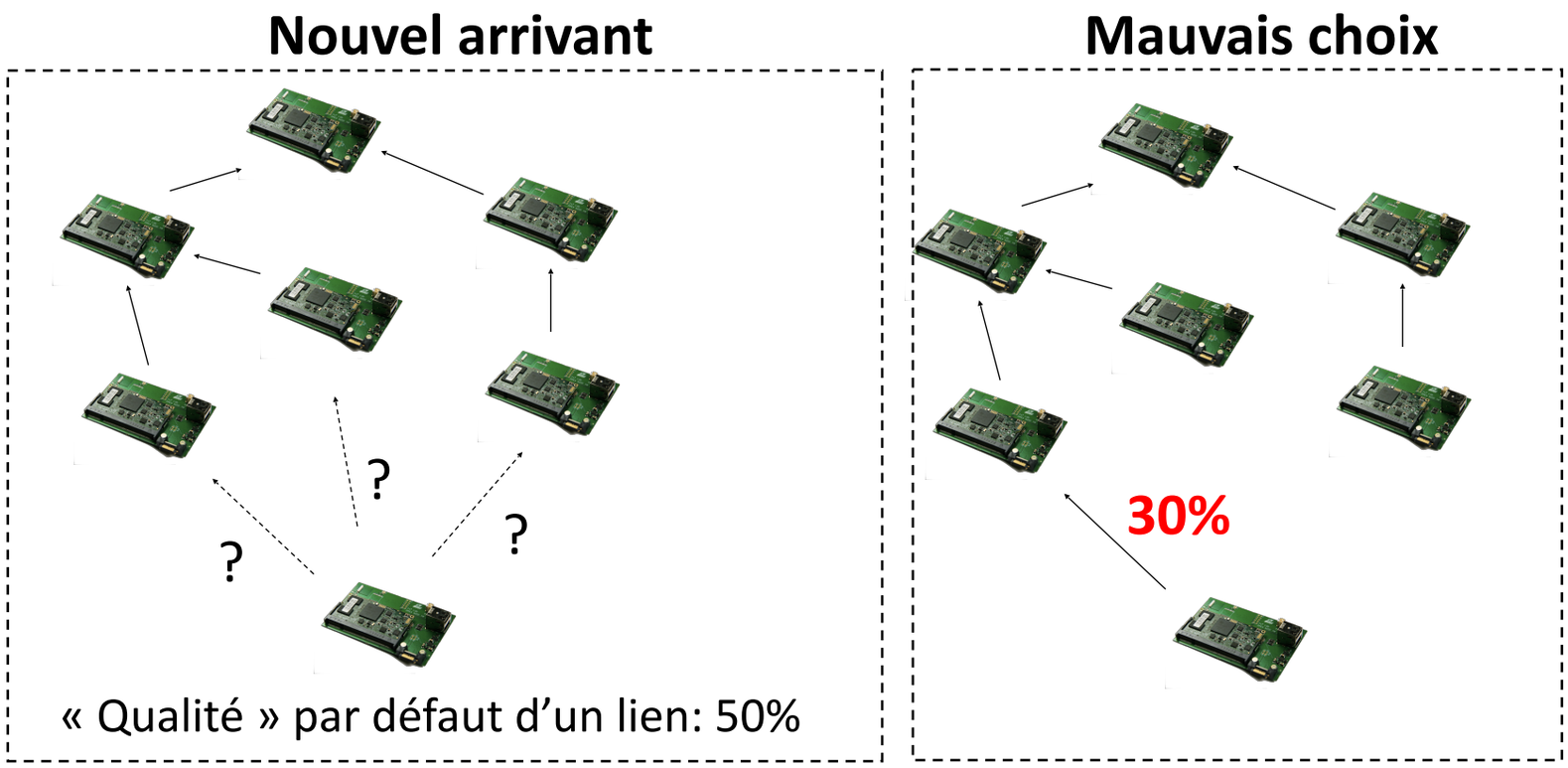
Lille

Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent



- **Objectif = anticiper la qualité de lien avant de choisir son parent et de négocier les cellules**
  - Sondes actives ?
    ➡Coûteuses, bruyantes…
  - Estimation passive ?

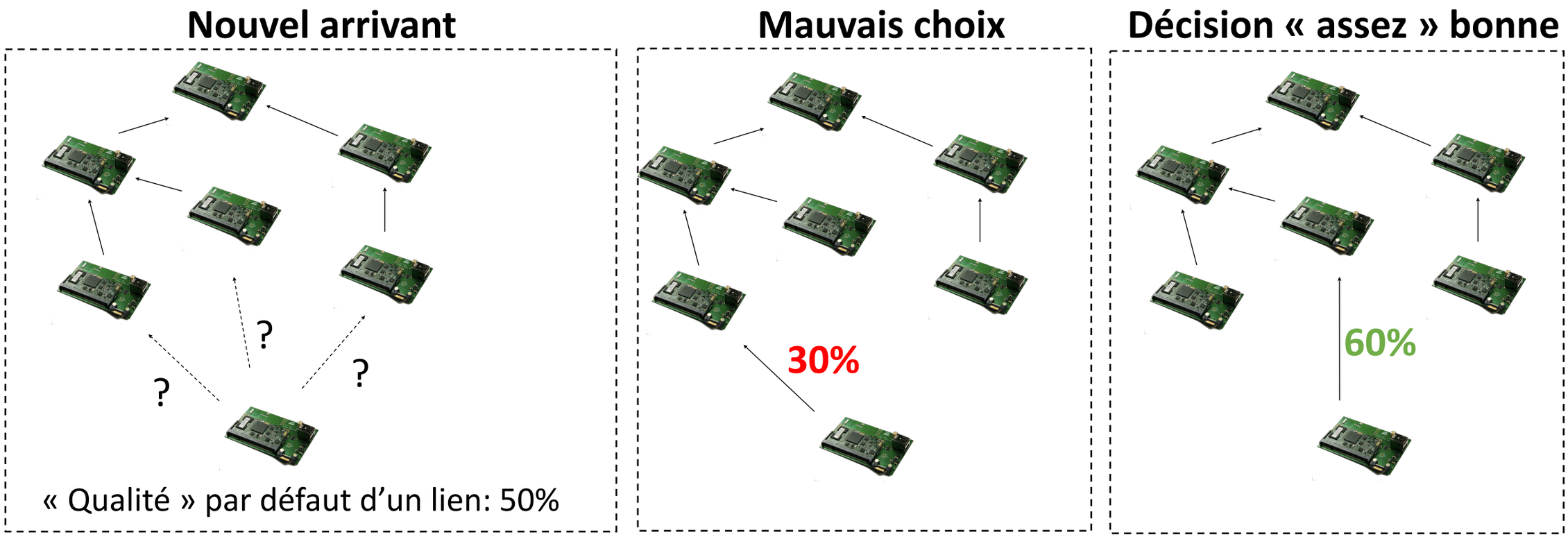
Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent



- **Objectif = anticiper la qualité de lien avant de choisir son parent et de négocier les cellules**
  - Sondes actives ?

    ➡Coûteuses, bruyantes…
  - Estimation passive ?

Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent

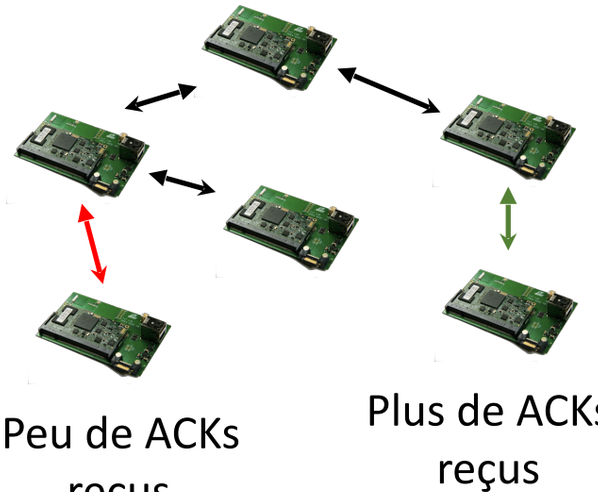


- **Objectif = anticiper la qualité de lien avant de choisir son parent et de négocier les cellules**
  - Sondes actives ?

    ➡Coûteuses, bruyantes…
  - Estimation passive ?

Estimation passive de la qualité de lien

Plus de ACKs → meilleur lien



Peu de ACKs reçus

Plus de ACKs reçus

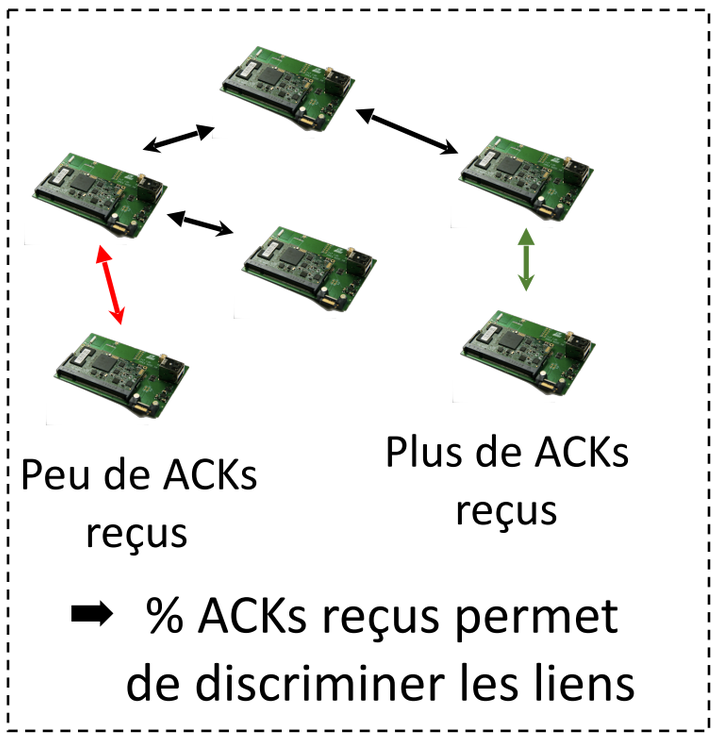
➡ % ACKs reçus permet de discriminer les liens

➡Possible iff trafic vers prochains sauts

➡i.e., cellules déjà allouées…

Estimation passive de la qualité de lien

Plus de ACKs → meilleur lien

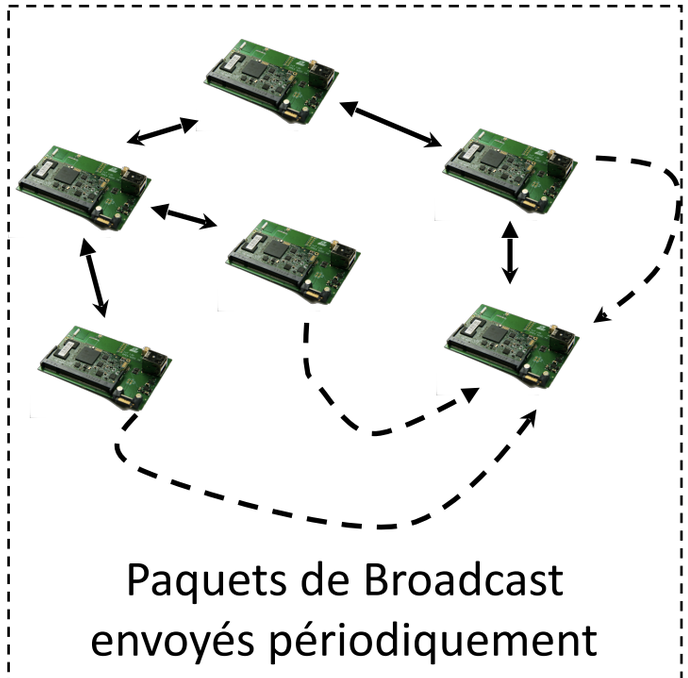


➡ % ACKs reçus permet de discriminer les liens

➡Possible iff trafic vers prochains sauts

➡i.e., cellules déjà allouées…

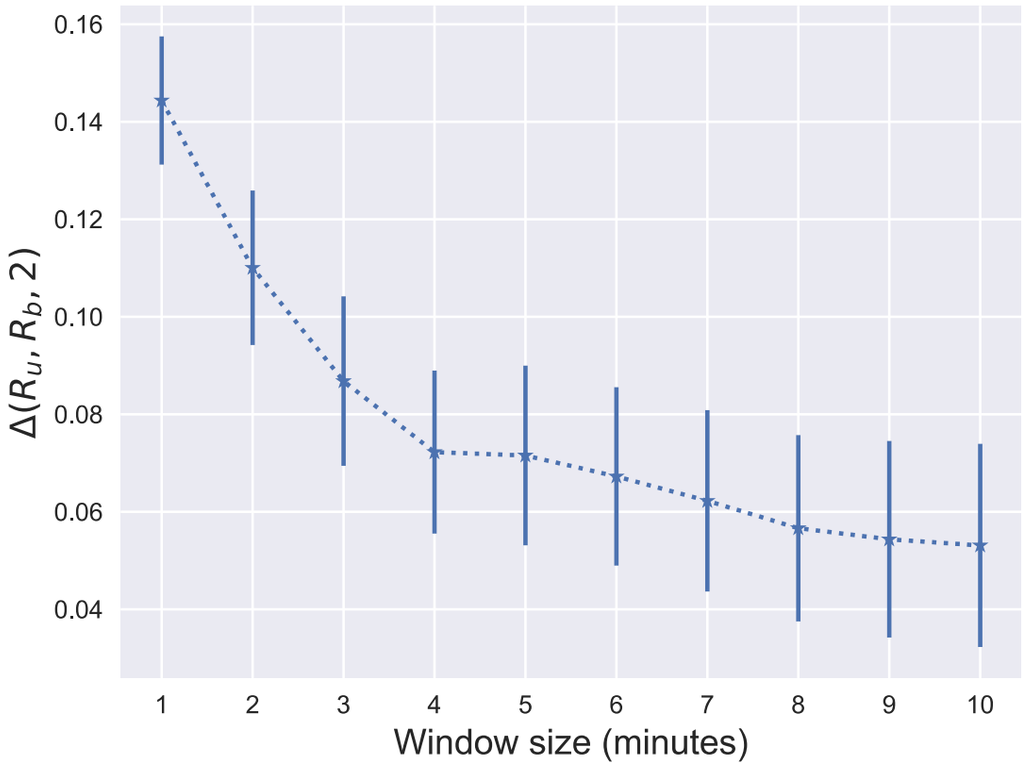
~~**Plus de ACKs**~~ **Meilleur $PDR_{broadcast}$ → meilleur lien**



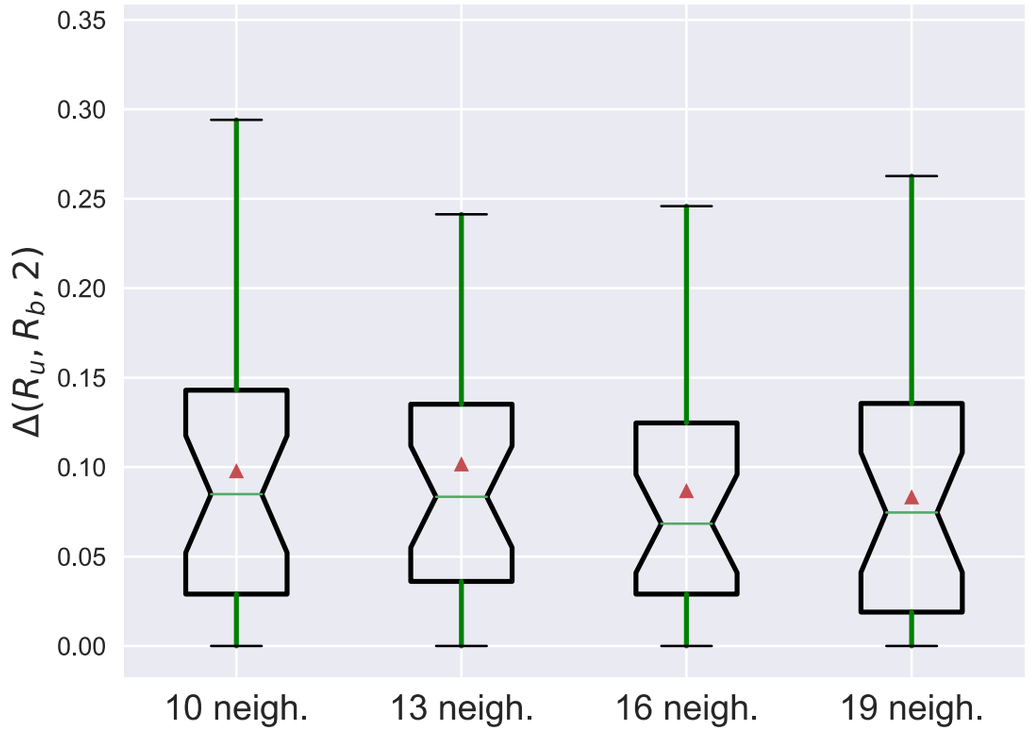
➡Estimation passive possible/fiable ?

Différences de classement

Normalized difference
(both unicast and broadcast rankings)

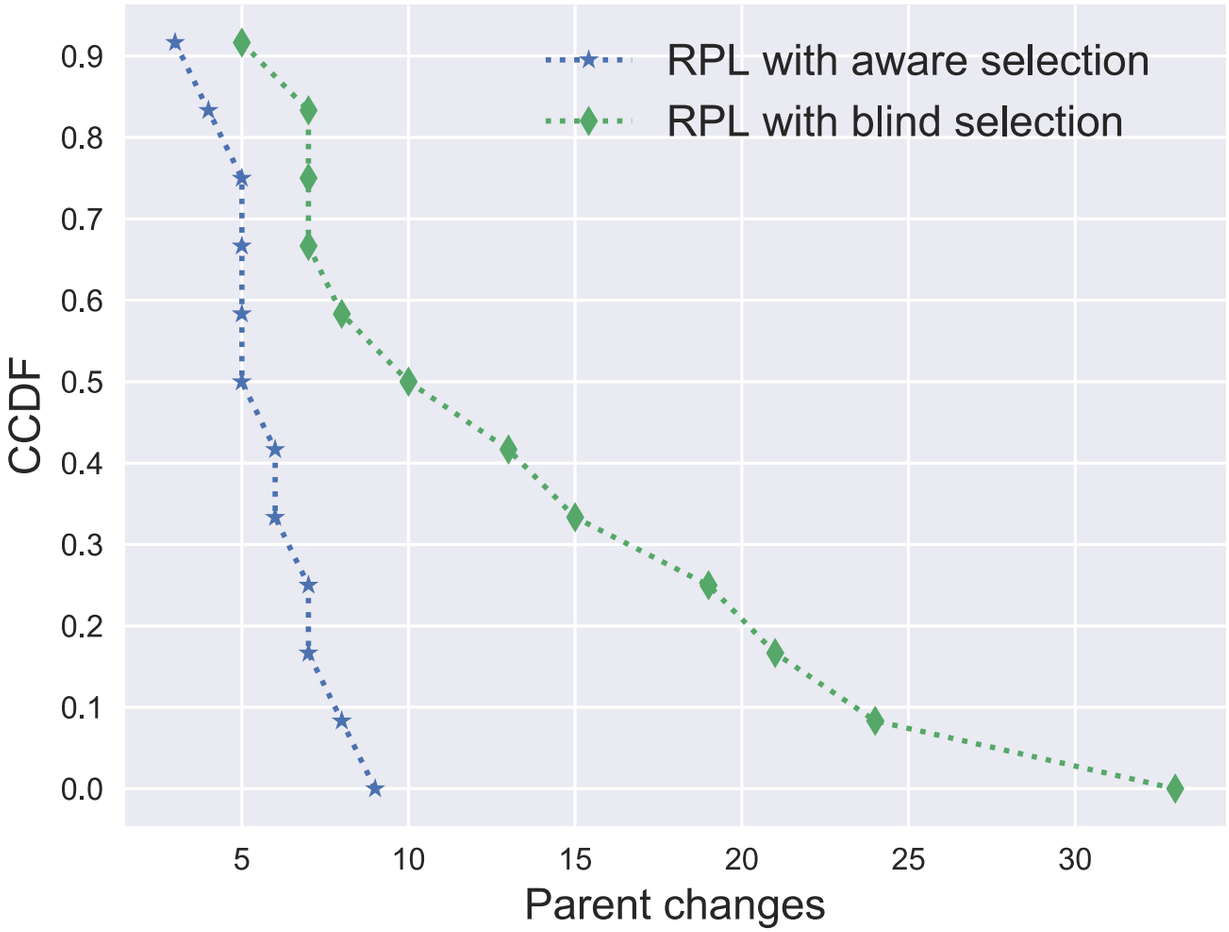


Impact of the network density
(w = 4 minutes)



Intégration à 6TiSCH

- **13 noeuds du même couloir de FIT/IoT-LAB Grenoble**



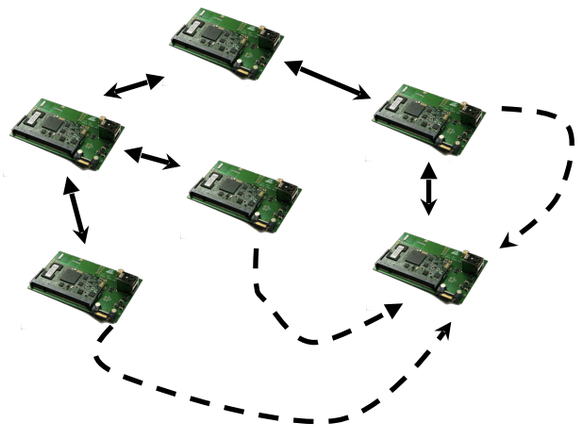
Default ETX 2 (50% of error rate)

Blind selection → $rank(i,j) = rank(j) + \left(\left(3 * \left[\frac{tx}{ack}\right]\right) - 2\right) * 256$

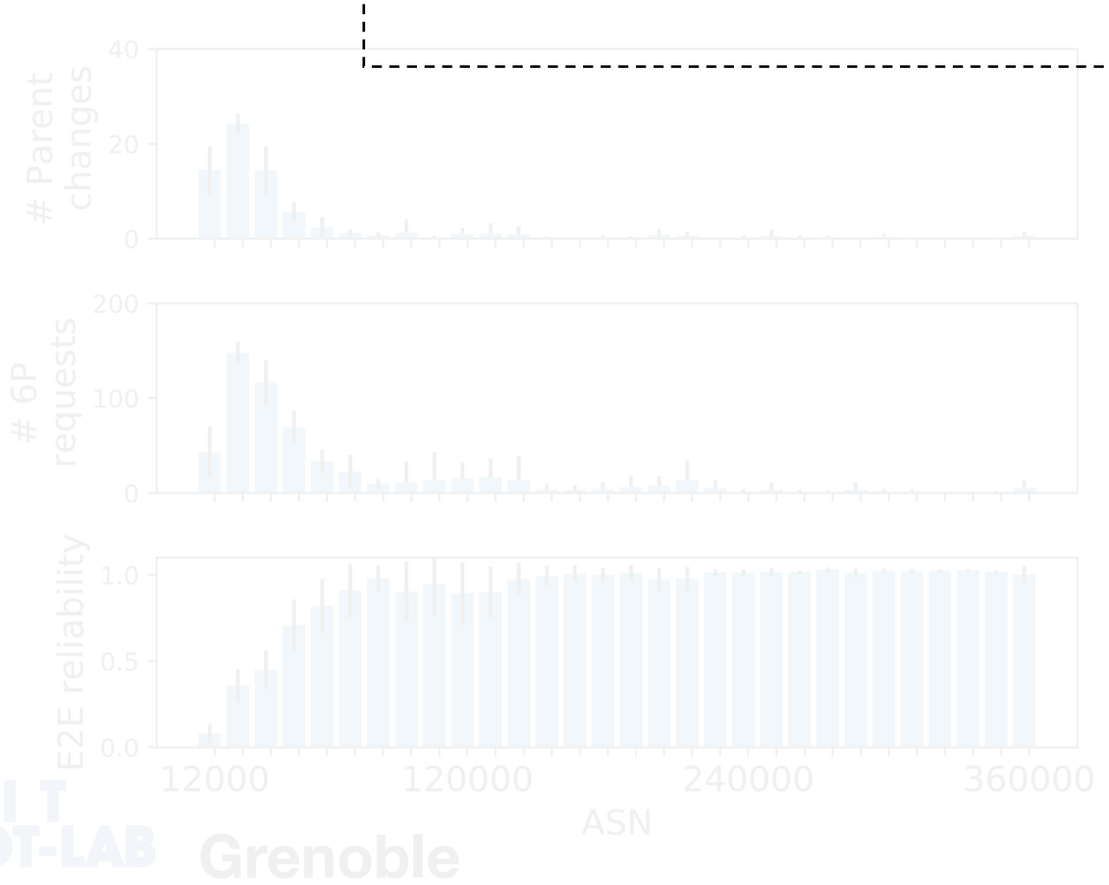
Aware selection → $rank(i,j) = rank(j) + \left(\left(3 * \left[\frac{expected\ packets\ by\ i}{DIO(j)+EB(j)}\right]\right) - 2\right) * 256$

Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent

- **Changer d'un parent P1 à un parent P2 puis de nouveau P1**
  - ➡ Compromis stabilité / réactivité tradeoff ?
  - 31 noeuds (jusqu'à 7 sauts), 10 répétitions de 1h30

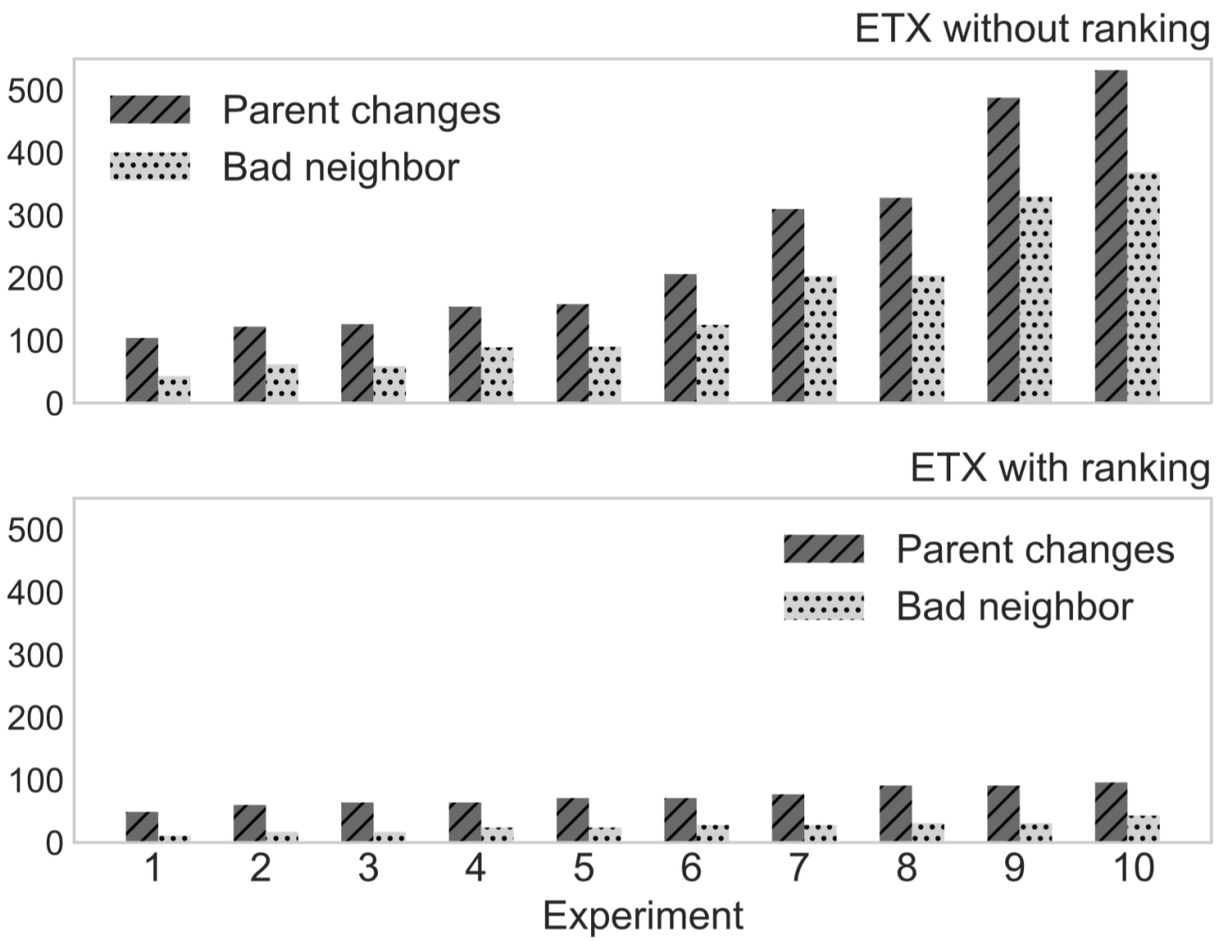


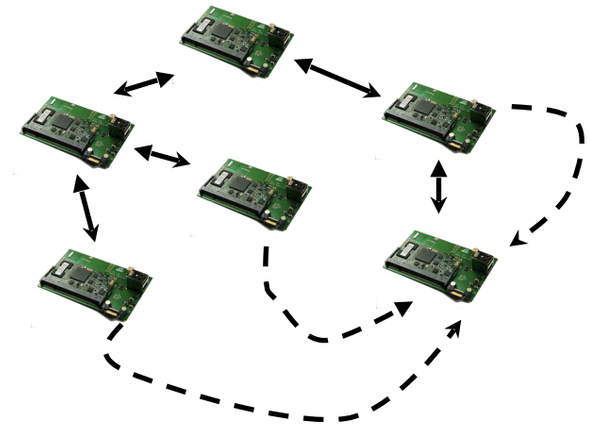
Broadcast régulier (période connue)



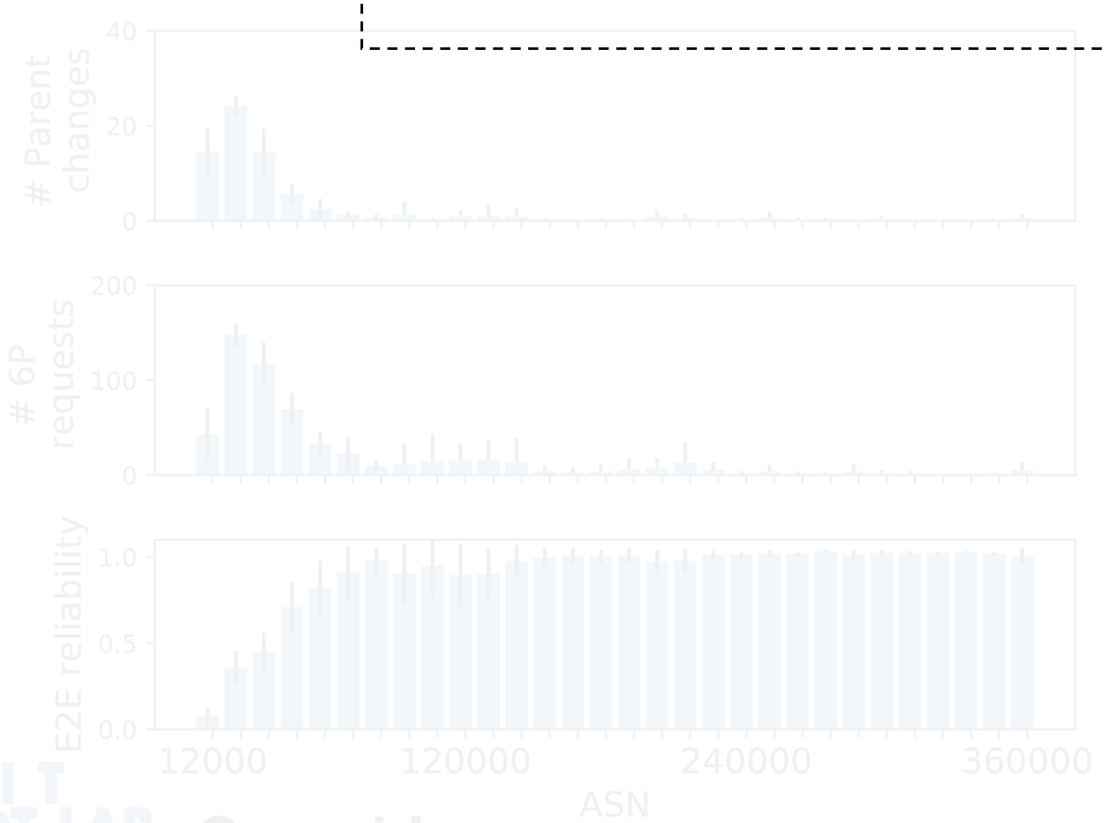
Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent

- **Changer d'un parent P1 à un parent P2 puis de nouveau P1**
  - ➡ Compromis stabilité / réactivité tradeoff ?
  - 31 noeuds (jusqu'à 7 sauts), 10 répétitions de 1h30



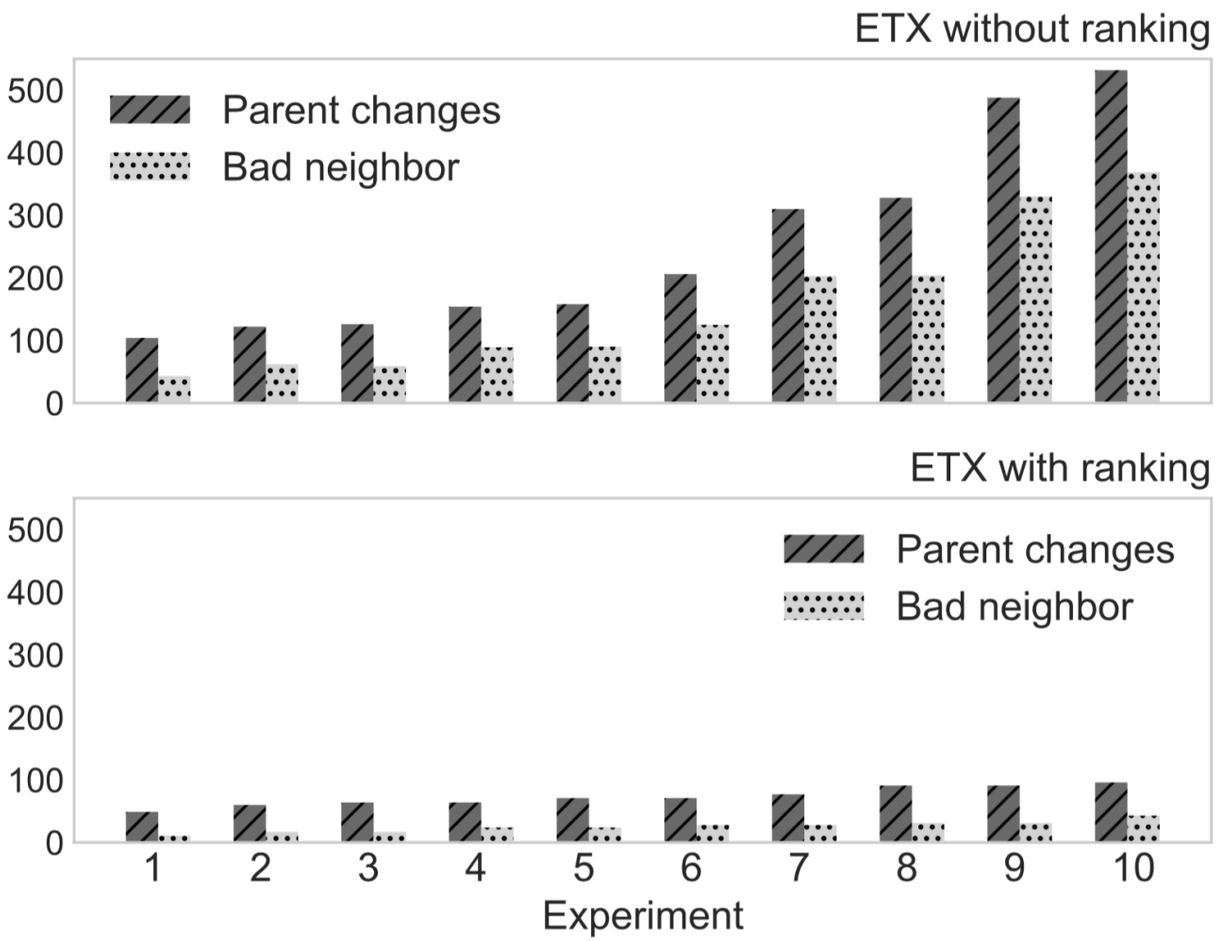


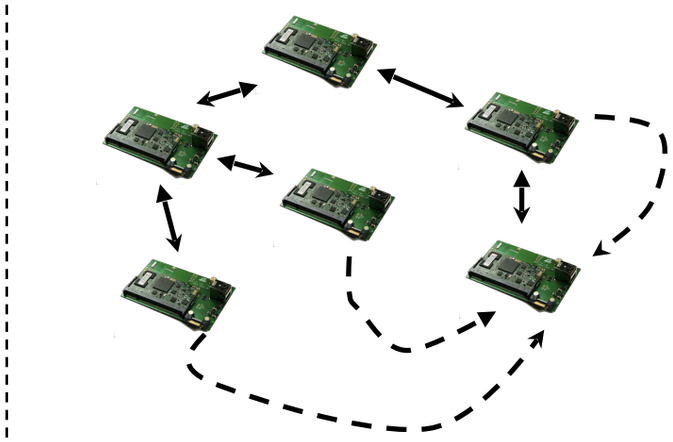
Broadcast régulier (période connue)



Principale cause d'instabilité : la sélection aveugle de parent

- **Changer d'un parent P1 à un parent P2 puis de nouveau P1**
  - ➡ Compromis stabilité / réactivité tradeoff ?
  - 31 noeuds (jusqu'à 7 sauts), 10 répétitions de 1h30

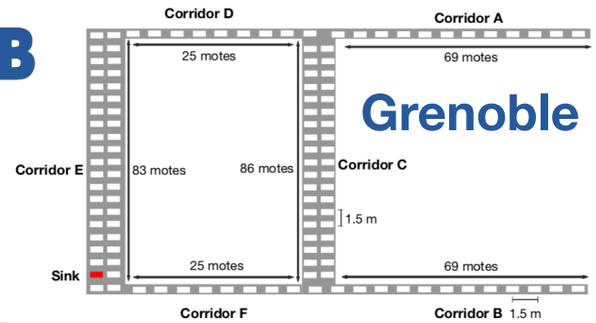


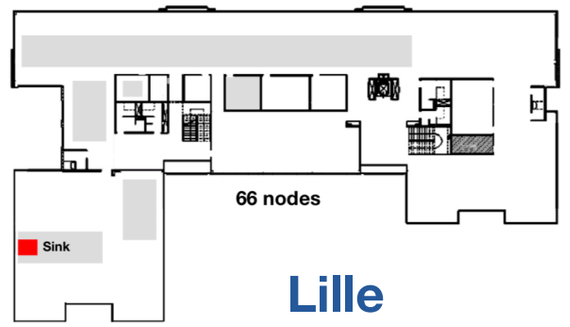


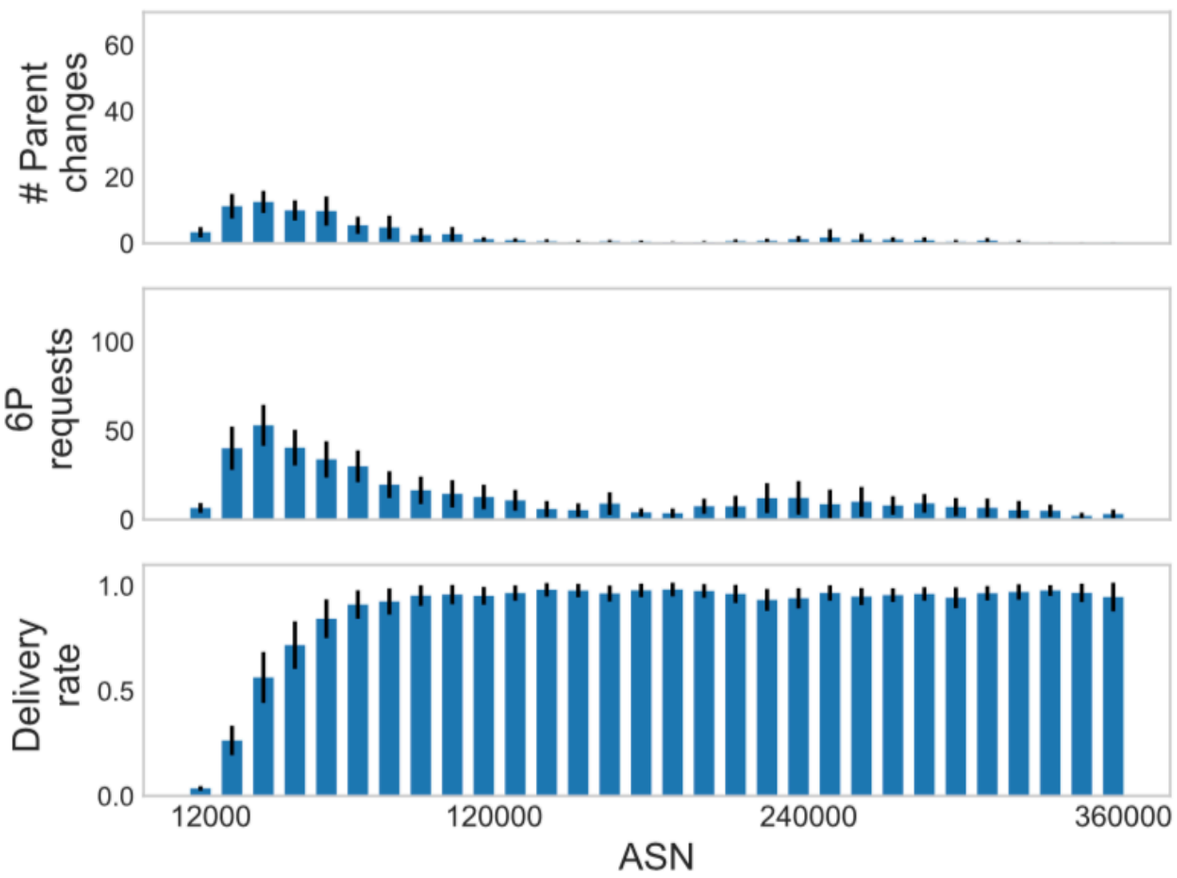
Broadcast régulier (période connue)

FIT IOT-LAB **Grenoble**

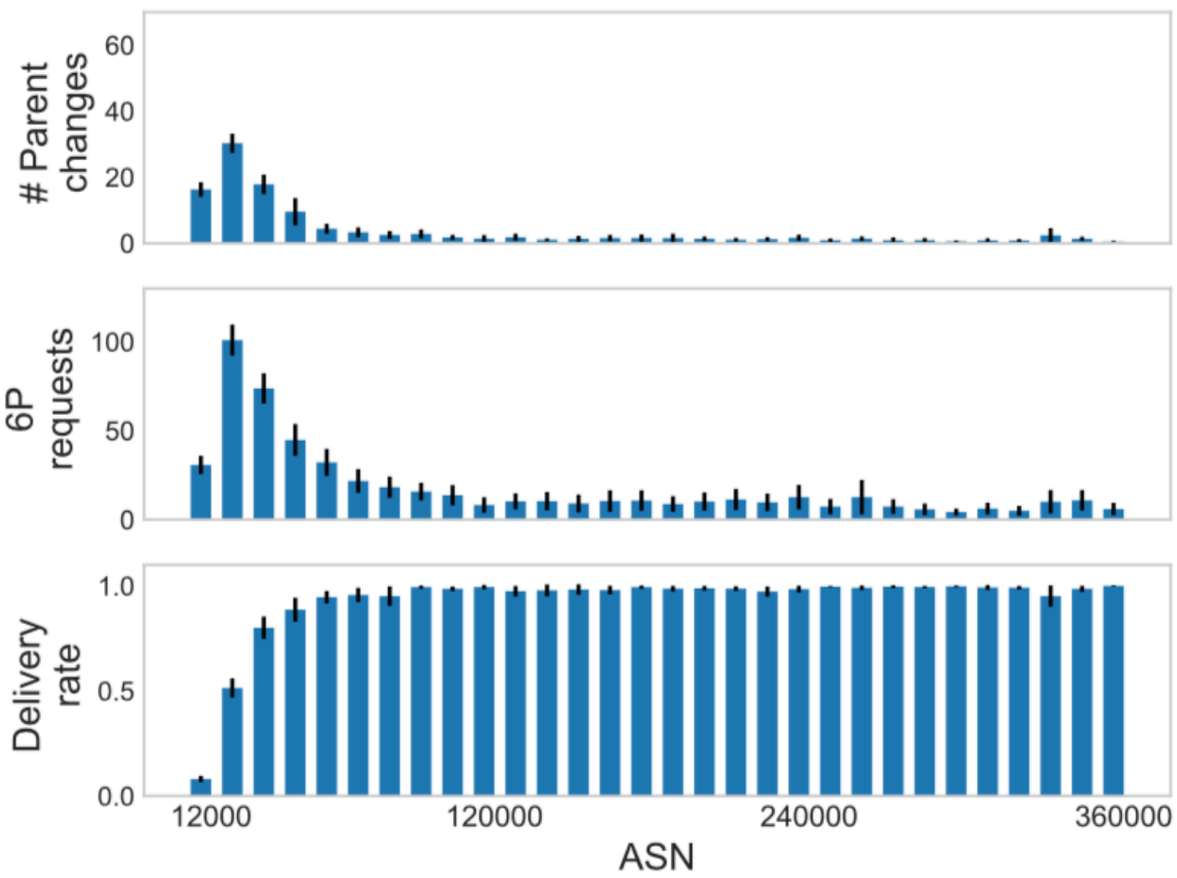
Pas spécifique







Grenoble



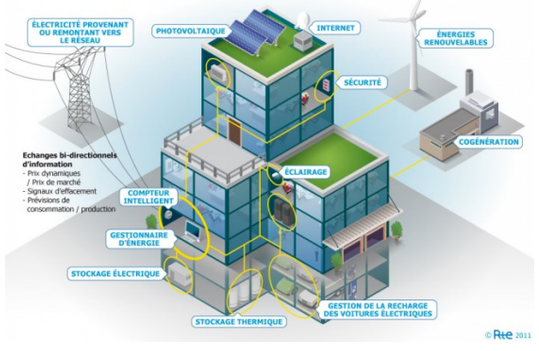
Lille

Sécurité

Applications critiques

Aide à la conduite, véhicule autonome

Bâtiment intelligent

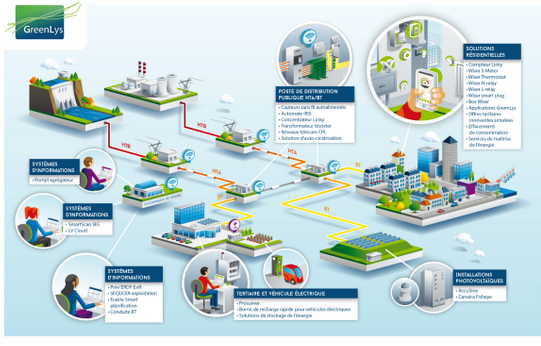


Alarmes incendie, assistance à distance

Usine du futur

Maintenance prédictive, sécurité des personnes

Réseau électrique intelligent

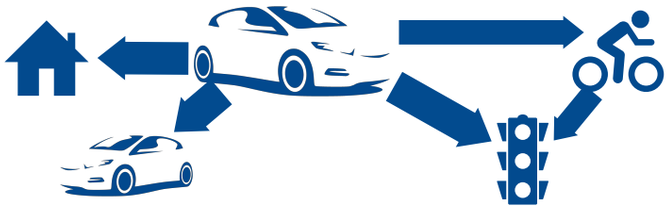


Alimentation domicile/véhicule

- **Applications critiques reposant sur les objets connectés**

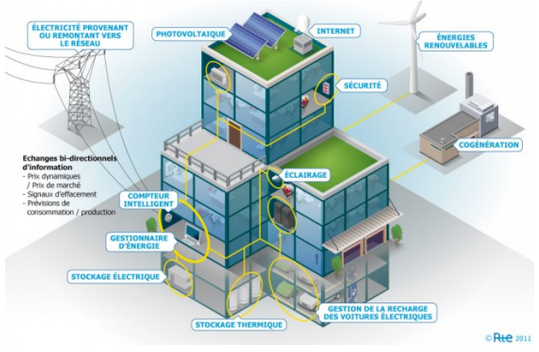
➡Détection d'attaques
➡Résilience (i.e., disponibilité des réseaux et des données)
➡Sécurité des communications et protection de la vie privée

Applications critiques



Aide à la conduite, véhicule autonome

Bâtiment intelligent

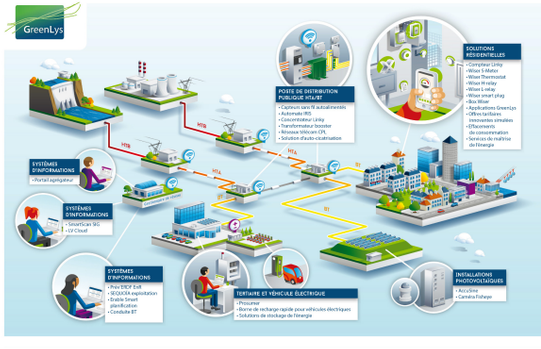


Alarmes incendie, assistance à distance

Usine du futur

Maintenance prédictive, sécurité des personnes

Réseau électrique intelligent



Alimentation domicile/véhicule

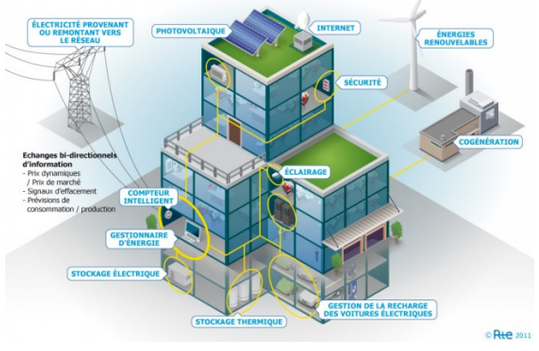
- **Applications critiques reposant sur les objets connectés**

  ➡Détection d'attaques
  ➡Résilience (i.e., disponibilité des réseaux et des données)
  ➡Sécurité des communications et protection de la vie privée

Applications critiques

Aide à la conduite, véhicule autonome

Bâtiment intelligent

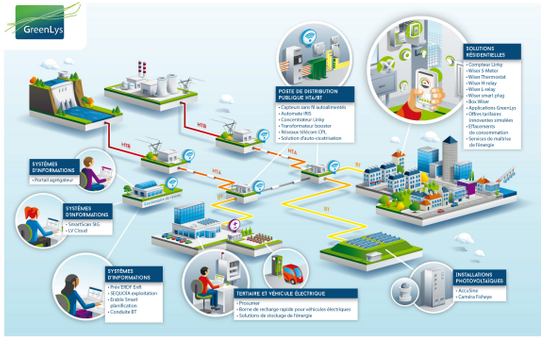


Alarmes incendie, assistance à distance

Usine du futur

Maintenance prédictive, sécurité des personnes

Réseau électrique intelligent



Alimentation domicile/véhicule

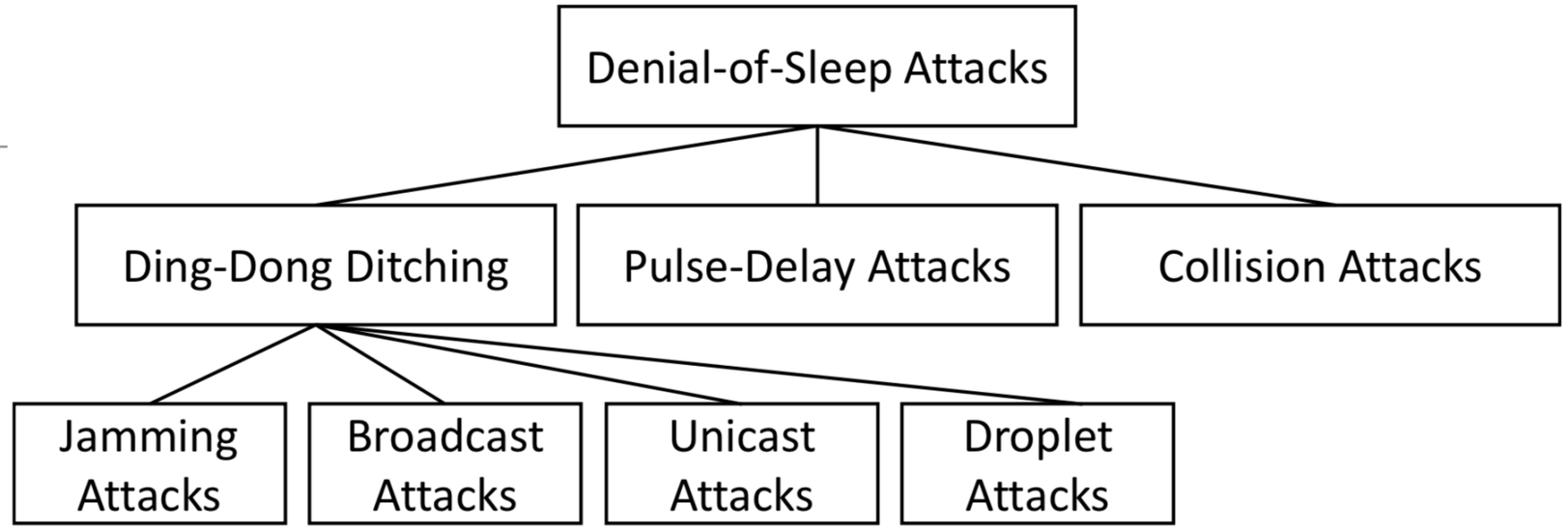
- **Applications critiques reposant sur les objets connectés**

  ➡Détection d'attaques
  ➡Résilience (i.e., disponibilité des réseaux et des données)
  ➡Sécurité des communications et protection de la vie privée

IEEE 802.11™ WirelessHART IEEE 802.15 sigfox LoRa™ Z-WAVE® Bluetooth™ 4.0 Low Energy

Déni de sommeil

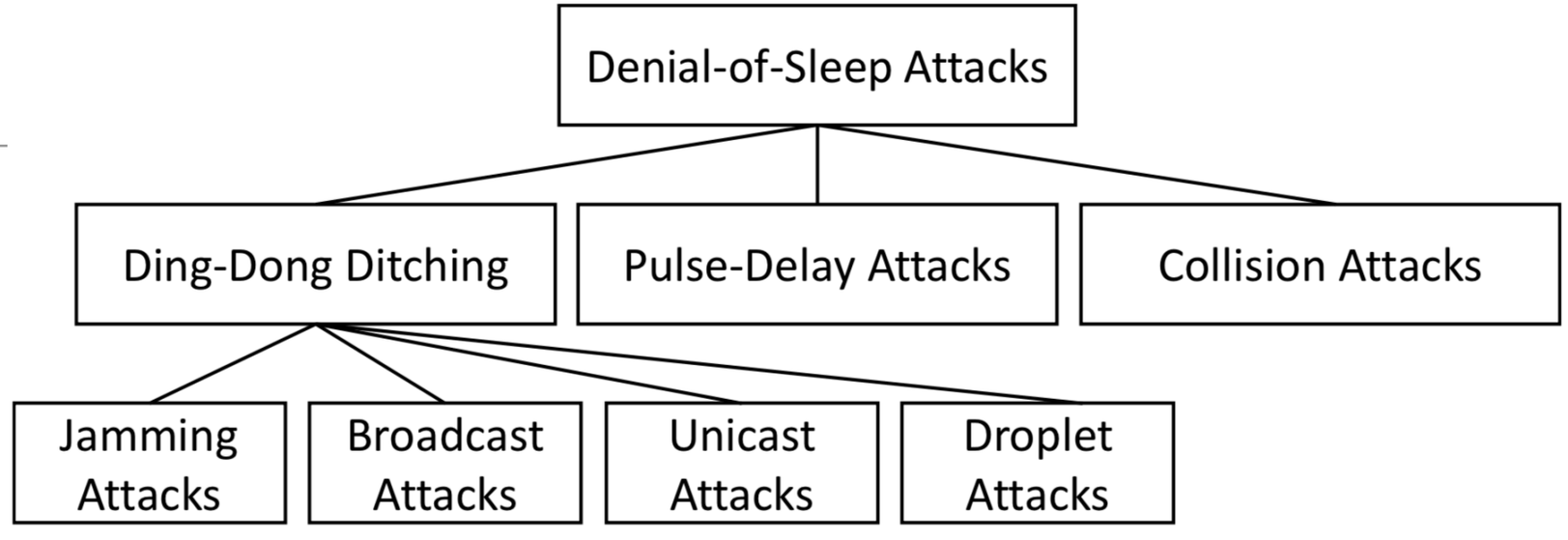
- **Objectif**
  - Epuiser les objets



- ***Ding-dong ditching***
  - Injection/rejeu : trames broadcast ou unicast
  - Droplet : injection/rejeu des débuts de trames 802.15.4
    - Détection des récepteurs = mode actif
  - Brouillage : permanent ou sélectif

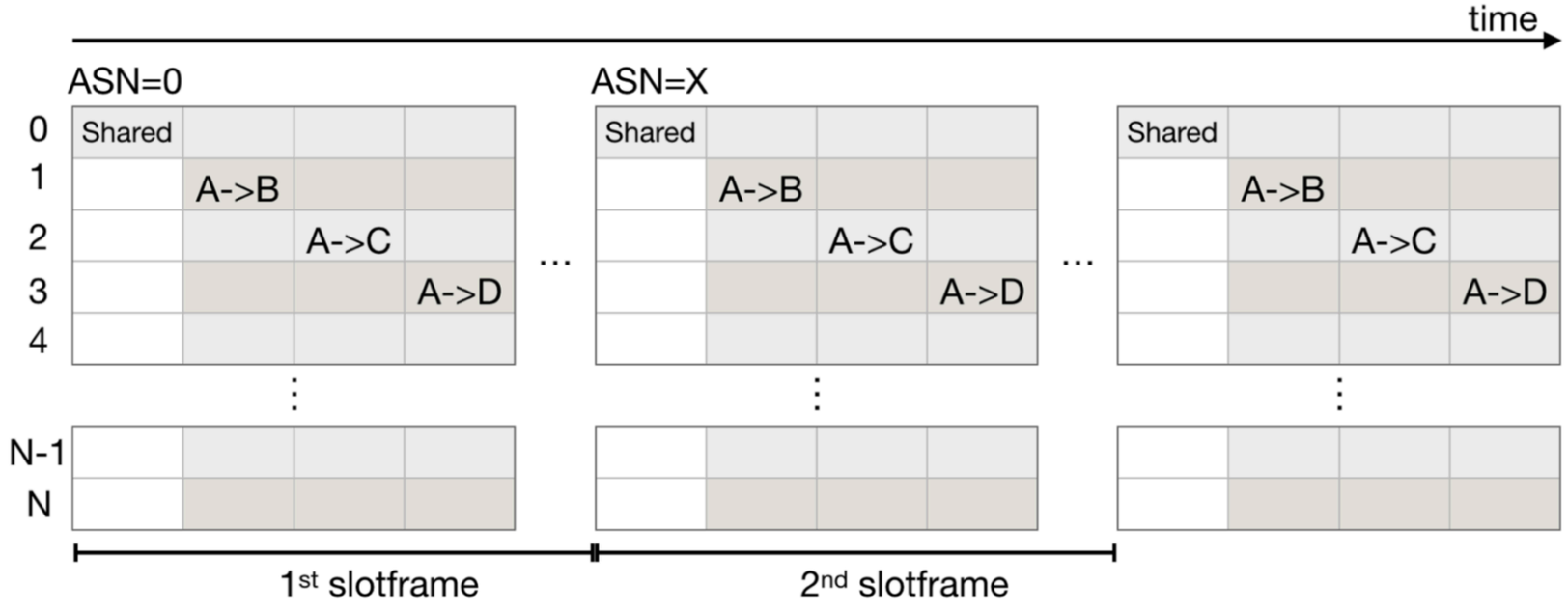
Déni de sommeil

- **Objectif**
  - Epuiser les objets



- ***Ding-dong ditching***
  - Injection/rejeu : trames broadcast ou unicast
  - Droplet : injection/rejeu des débuts de trames 802.15.4
    - Détection des récepteurs = mode actif
  - Brouillage : permanent ou sélectif

Sécurité des réseaux 6TiSCH ?



- **Robustesse face aux interférences externes, etc.**

  ➡Et si brouillage sélectif ?

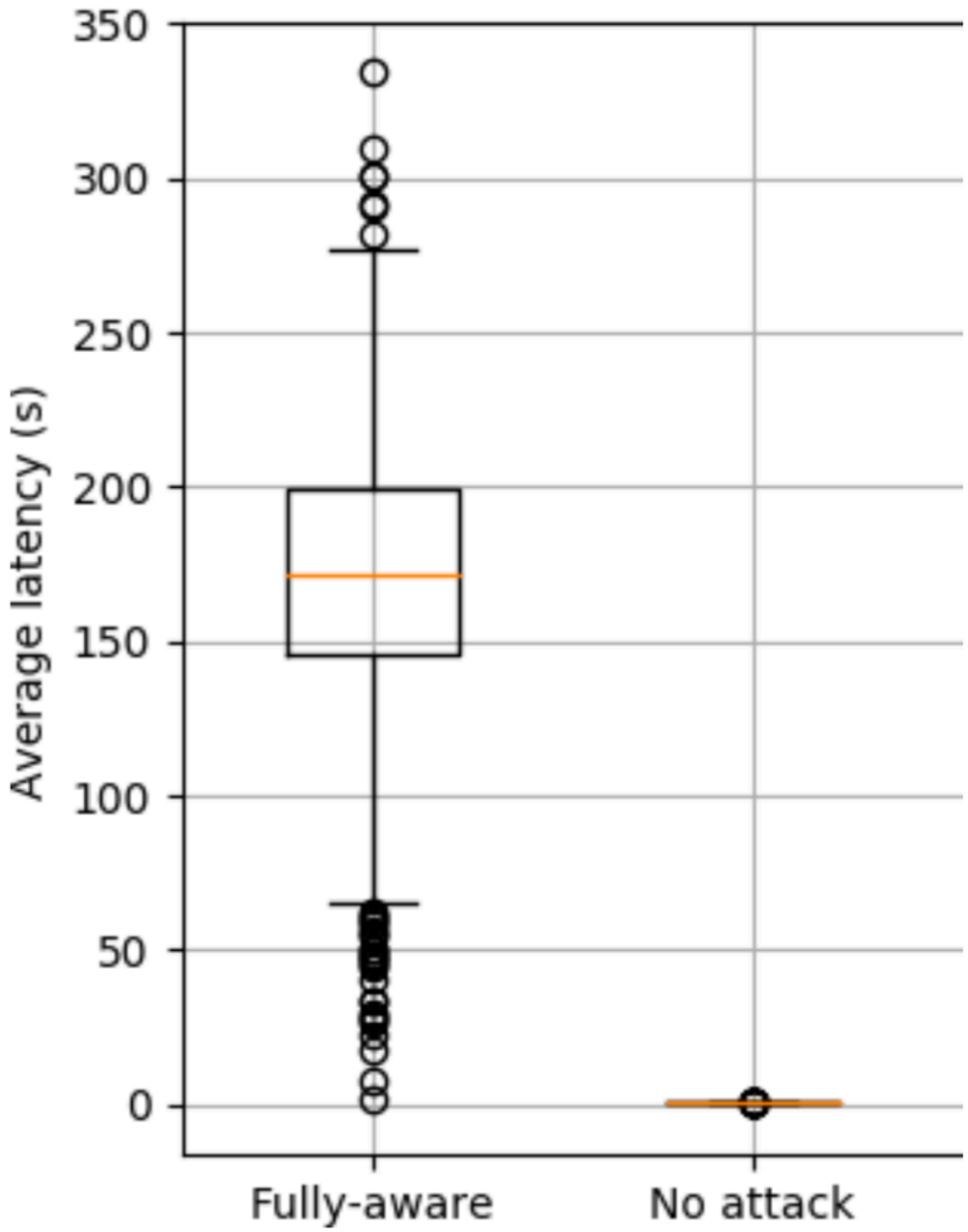
- **Avantages du brouillage sélectif : faible coût, impact élevé**
  - Objectifs des brouilleurs : induire des consommations d'énergie
  - Contraintes : discrétion (pas tous les canaux), efficace en énergie (sélectif)

Simulation de brouillage sur des réseaux 6TiSCH

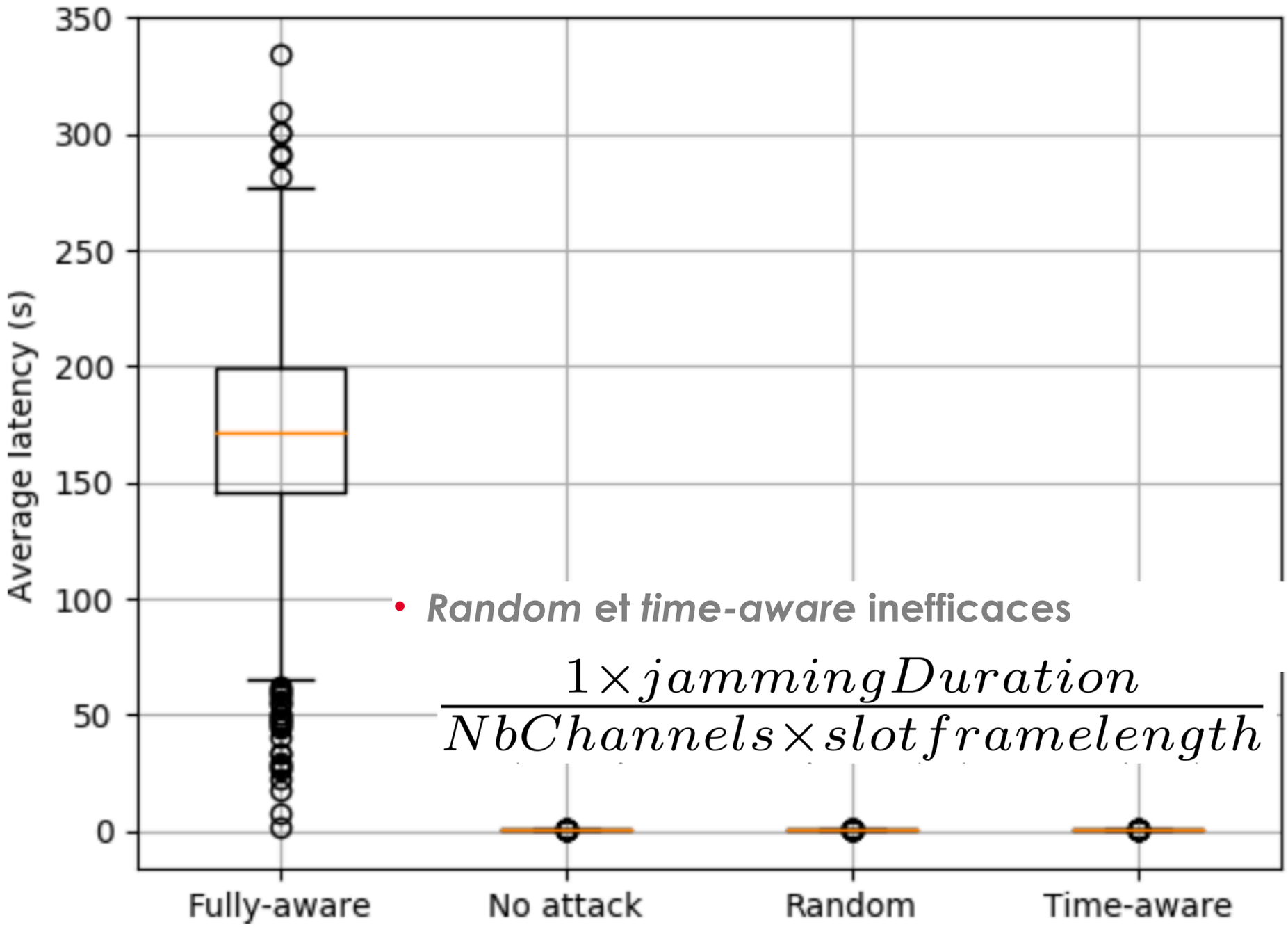
Parameter	Value
• #Runs	1000
• #Slotframes per run	1000
• Application	AppPeriodic
• Packet period	1 s
• Packet length	90 bytes
• Scheduling function	MSF
• Slot duration	15 ms
• #slots per slotframe	101
• Connectivity class	Random
• Square side	2,0
• Initial min PDR	0,95
• #Physical channels	16

- **2 noeuds and 1 attaquant**
- **3 scenarios d'attaque :**
  - *Random* (i.e. !connaissance)
  - *Time-aware* (créneaux connus)
  - *Fully-aware* (créneaux & freq connus)

Latences moyennes



Latences moyennes

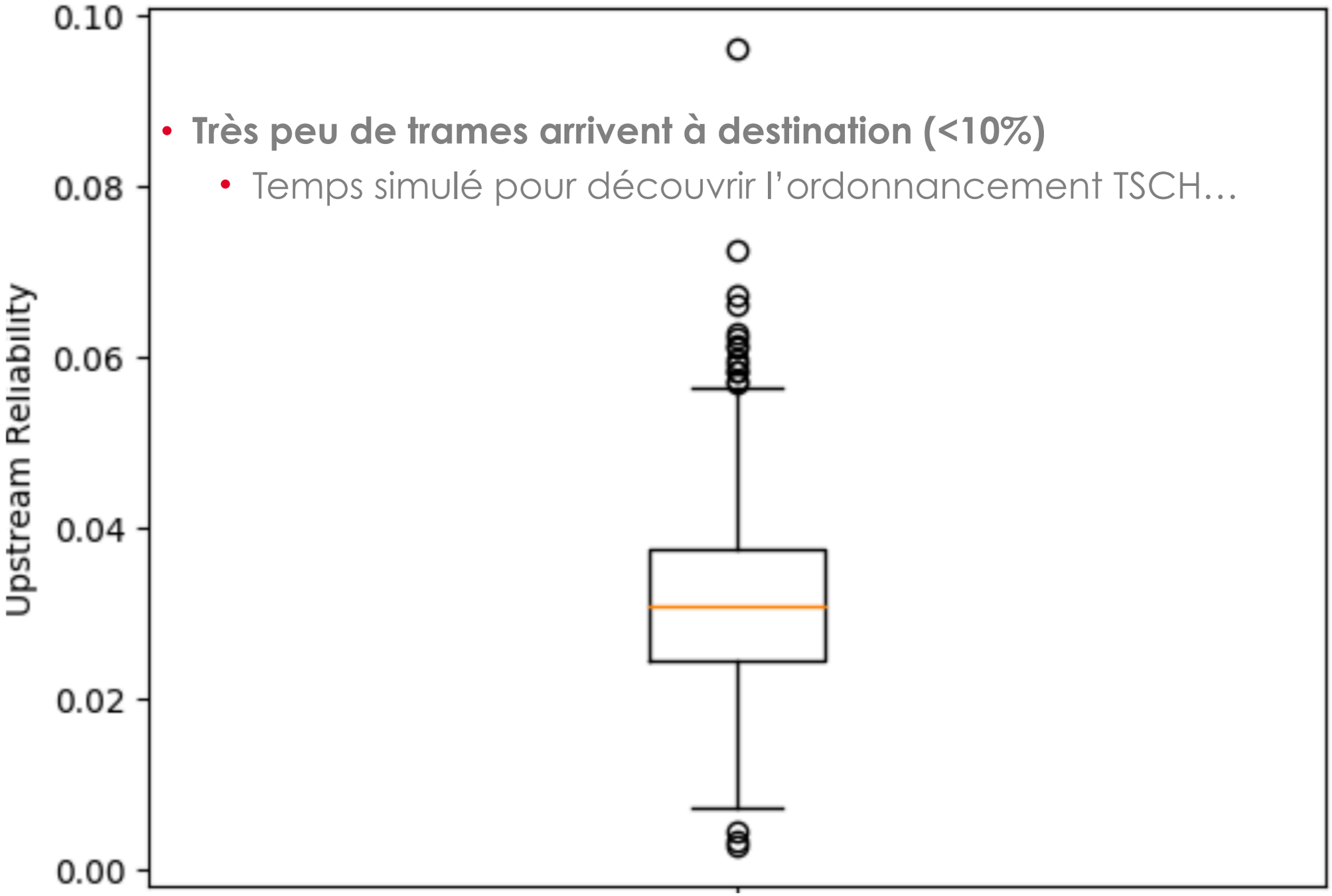


- ***Random* et *time-aware* inefficaces**

$$\frac{1 \times jammingDuration}{NbChannels \times slotframelength}$$

Fiabilité des flux montants

- **Très peu de trames arrivent à destination (<10%)**
  - Temps simulé pour découvrir l'ordonnancement TSCH…



Fully-aware ?

- **Notations et hypothèses**
  - N_S créneaux par slotframe
  - N_{ch} canaux disponibles
  - N_S et N_{ch} sont premiers entre eux
  - F(x) = x (comme dans l'implementation TSCH de Contiki)

$$f = F\{(\mathrm{ASN} + chOf) \mod n_{ch}\}$$

- **Propriétés**
  - La **séquence de canaux** utilisée par un lien est **répétée tous les N_{ch} x N_S créneaux**
  - Durant une période, les liens utilisent tous les canaux disponibles (1 fois chacun)
  - **Tous les liens suivent la même séquence** avec un certain décalage

➡ **Objectif du brouilleur = trouver le décalage appliqué pour un créneau donné**

➡ **Ainsi découvrir la séquence utilisée par chaque lien !**

➡ **Suffisant de connaître le numéro de créneau (absolu ou non) et le canal utilisé**

M. Tiloca, D. D. Guglielmo, G. Dini, G. Anastasi, and S. K. Das, "DISH: DIstributed SHuffling against selective jamming attack in IEEE 802.15.4e TSCH networks," ACM Transactions on Sensor Networks, Volume 15 Issue 1, February 2019.

Fully-aware ?

- **Notations et hypothèses**
  - N_S créneaux par slotframe
  - N_{ch} canaux disponibles
  - N_S et N_{ch} sont premiers entre eux
  - F(x) = x (comme dans l'implementation TSCH de Contiki)

$$f = F\left\{(\mathrm{ASN} + chOf) \mod n_{ch}\right\}$$

- **Propriétés**
  - La **séquence de canaux** utilisée par un lien est **répétée tous les N_{ch} x N_S créneaux**
  - Durant une période, les liens utilisent tous les canaux disponibles (1 fois chacun)
  - **Tous les liens suivent la même séquence** avec un certain décalage

➡**Objectif du brouilleur = trouver le décalage appliqué pour un créneau donné**

➡**Ainsi découvrir la séquence utilisée par chaque lien !**

➡Suffisant de connaître le numéro de créneau (absolu ou non) et le canal utilisé

M. Tiloca, D. D. Guglielmo, G. Dini, G. Anastasi, and S. K. Das, "DISH: DIstributed SHuffling against selective jamming attack in IEEE 802.15.4e TSCH networks," ACM Transactions on Sensor Networks, Volume 15 Issue 1, February 2019.

Fully-aware ?

- **Notations et hypothèses**
  - N_S créneaux par slotframe
  - N_{ch} canaux disponibles
  - N_S et N_{ch} sont premiers entre eux
  - F(x) = x (comme dans l'implementation TSCH de Contiki)

$$f = F\left\{(\mathrm{ASN} + chOf) \mod n_{ch}\right\}$$

- **Propriétés**
  - La **séquence de canaux** utilisée par un lien est **répétée tous les N_{ch} x N_S créneaux**
  - Durant une période, les liens utilisent tous les canaux disponibles (1 fois chacun)
  - **Tous les liens suivent la même séquence** avec un certain décalage

➡**Objectif du brouilleur = trouver le décalage appliqué pour un créneau donné**

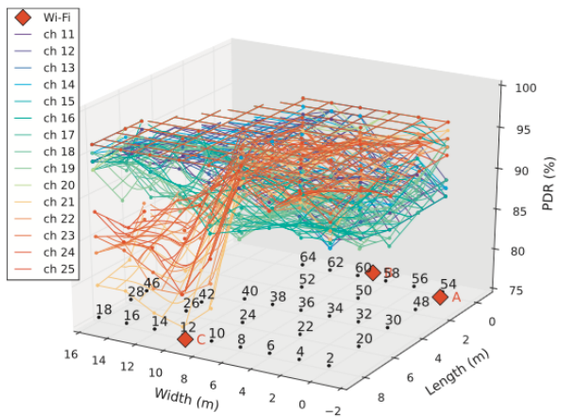
➡**Ainsi découvrir la séquence utilisée par chaque lien !**

➡**Suffisant de connaître le numéro de créneau (absolu ou non) et le canal utilisé**

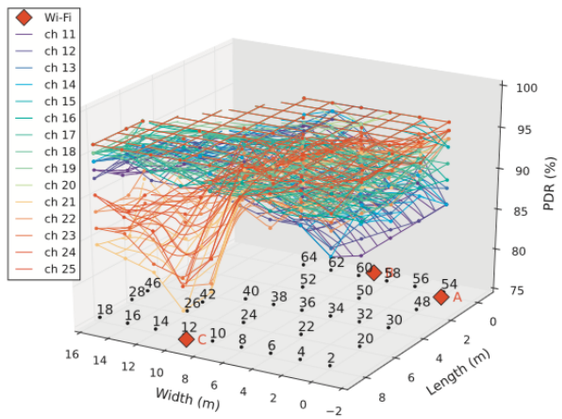
M. Tiloca, D. D. Guglielmo, G. Dini, G. Anastasi, and S. K. Das, "DISH: DIstributed SHuffling against selective jamming attack in IEEE 802.15.4e TSCH networks," ACM Transactions on Sensor Networks, Volume 15 Issue 1, February 2019.

Détection d’attaques ? Résilience ?

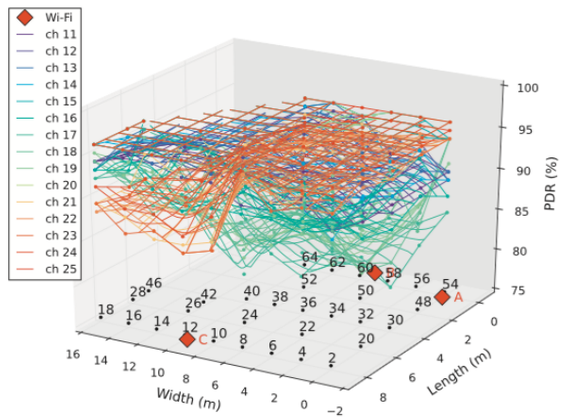
- **Détection d’attaques de brouillage**
  - Conditions normales d’opération ?
  - Apprentissage ?



(a) Day 1 (afternoon).



(b) Day 2 (morning).

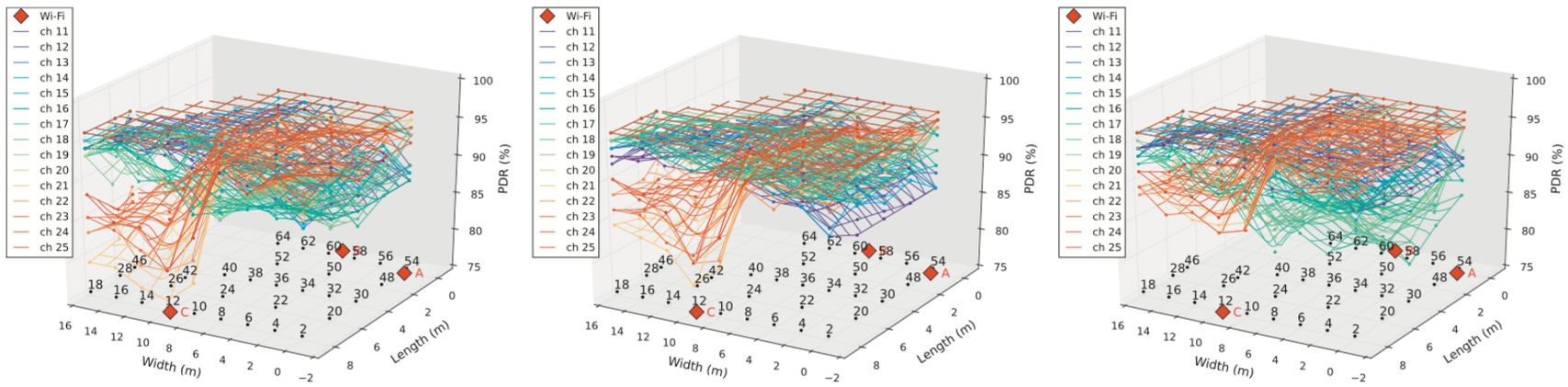


(c) Day 3 (night).

- **Résilience face au déni de sommeil**
  - Maintenir l’accès aux données ?
    - ➡Redondance des données
  - Riposter ?
    - Décisions collectives
      - ➡Isolations des attaquants (e.g., MAC, routage)

Détection d’attaques ? Résilience ?

- **Détection d’attaques de brouillage**
  - Conditions normales d’opération ?
  - Apprentissage ?



(a) Day 1 (afternoon). (b) Day 2 (morning). (c) Day 3 (night).

- **Résilience face au déni de sommeil**
  - Maintenir l’accès aux données ?
    - ➡Redondance des données
  - Riposter ?
    - Décisions collectives
      - ➡Isolations des attaquants (e.g., MAC, routage)

Conclusion et perspectives

- **Disponibilité (via l'exemple de la stabilité des réseaux)**
  - Routage utilisé pour la configuration MAC
  - Eviter les réactions excessives aux changements de parent

  ➡**Prise en compte de la dynamique (e.g., environnement radio, mobilité) ?**

- **Sécurité (via l'exemple des attaques de déni de sommeil)**
  - Brouilleurs *Random* et *time-aware* inefficaces contre les réseaux 6TiSCH

    ➡**Topologies plus denses ?**
  - Détection et protection contre ces attaques de déni de sommeil ?
    - e.g., Schémas de transmissions dynamiques et ! prédictibles (DISH @TOSN'19)

    ➡**Gestion de clefs ?**
  - Impact d'autres attaques de déni de sommeil ?

    ➡**e.g., injection/rejeu @MAC, @routage ?**

Disponibilité et sécurité des réseaux (I)IoT

Antoine Gallais

Séminaire LAMIH - Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF)

Enseignement @Unistra (2009-17)	~**265h** /an	~**350h** Ingénieur, ~**450h** Master, ~**1400h** Licence (FI, Altern., EAD, VAE) *Systèmes et réseaux (113,5h/an), sécurité des systèmes et des réseaux (52h/an)*
	Responsabilités	**2** filières (M2, LP), **11** UE (CM, TD, TP) ***7** campagnes d'évaluation/habilitation/accréditation*
Recherche @ICube (2008-*) **@Inria** (2017-19)	**60** publications	**14** revues inter., **29** conf. internationales *MAC, routage, éval. perf., tolérance aux pannes, sécurité*
	46 étudiants	**7** doctorants dont **4** en cours *Planification d'itinéraire et mobilité intelligente* *Nano-systèmes autonomes pour la protection de la vie privée dans l'IoT* *Authentification et Autorisation pour stockage en Cloud*
	17 projets	**5** internationaux, **5** nationaux, **7** locaux *en cours : 1 ANR JCJC, 2 collab. indus. (T&S, Cisco)*