

Séminaire TéSA

Système de communication IoT par satellite

Sylvain Cluzel

Mardi 6 mars 2018

Directeur de thèse :
Daniela Dragomirescu
LAAS/CNRS, INSA

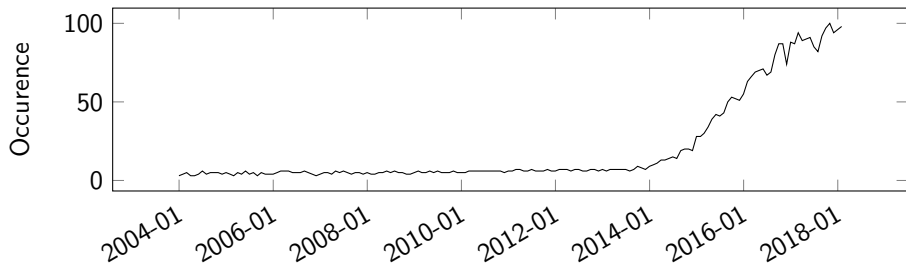
Co-encadrant universitaire :
José Radzik
ISAE - Supaéro

Co-encadrant TAS :
Cédric Baudoin, Mathieu Dervin

Co-encadrants CNES :
Sonia Cazalens, Jean-Baptiste Dupé



Le marché de l'IoT



Analyse du mot "IoT" par Google Trends

Marché de l'IoT en 2020 :

250 milliards d'euro [Forbes]

7100 milliards de dollars [IDC]

6000 milliards de dollars [Business Insider]

1 Contexte

- L'Internet des Objets
- Le rôle du satellite
- Les réseaux LPWAN

2 Le système satellite étudié

- Description du système
- Quelques infos sur NB-IoT

3 Détermination de la capacité du système

- Particularités du canal
- Chaîne de transmission, interférence

1 Contexte

- L'Internet des Objets
- Le rôle du satellite
- Les réseaux LPWAN

2 Le système satellite étudié

- Description du système
- Quelques infos sur NB-IoT

3 Détermination de la capacité du système

- Particularités du canal
- Chaîne de transmission, interférence

D'après l'ITU, Recommendation Y.2060 :

Internet des objets (IoT) : infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution.

Tout ce qui concerne la communication automome de deux « objets ».

- SCADA dans les années 1960
Supervisory control and data acquisition
- Usages et contraintes variées
 - Délai
 - Qualité de service
 - Respect de la vie privée
 - Coût d'un terminal
 - Volume de données mis en œuvre
 - Mobilité

- Où placer la puissance calculatoire ?

Large quantité de données — Où traiter l'information ?

- Sécurité, confiance entre les objets ?

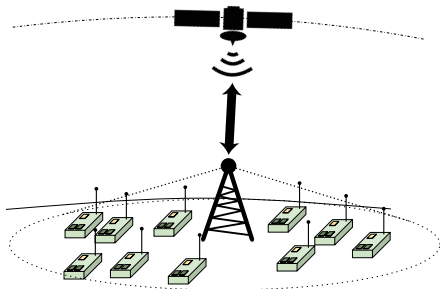
Communication V2V

- Comment gérer l'augmentation du nombre de terminaux ?

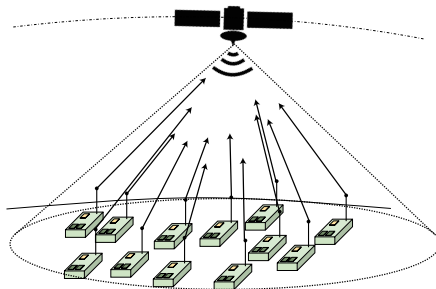
Standardisation — Hétérogénéité des terminaux
Effondrement des systèmes

Principal intérêt du satellite : couverture

Backbone



Communications directes



Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)

- Longue portée
- Faible consommation
- Faible débit
- Coût très faible par appareil
- Nombre d'appareils très important



Tour d'horizon des technologies LPWAN

LoRaWAN	SigFox	Ingenu	3GPP NB-IoT
CSS	UNB	RPMA	NB
U-Aloha	U-Aloha	CDMA	MF-TDMA
Fabrication	Opération	Opération	Opération
0.3-40 kb/s	100 b/s	0.06-30 kb/s	0.1-1000 kb/s

CSS = Chirp Spread Spectrum

RPMA = Random Phase Multiple Access

(U)NB = (Ultra) NarrowBand

U-Aloha = Unslotted Aloha

Autres technologies : Weightless, nWave...

Autres fournisseurs : Qowisio, Telensa...

- 1 Contexte
 - L'Internet des Objets
 - Le rôle du satellite
 - Les réseaux LPWAN
- 2 Le système satellite étudié
 - Description du système
 - Quelques infos sur NB-IoT
- 3 Détermination de la capacité du système
 - Particularités du canal
 - Chaîne de transmission, interférence

Système Store and Forward

- Constellation de satellite LEO (800 km)
- Lien unidirectionnel Terminal $\rightarrow$ Satellite
- Les terminaux suivent les spécifications LTE NB-IoT
- Tous les traitements sont effectués au sol

Compromis vis-à-vis du SNR

Système Store and Forward

- Constellation de satellite LEO (800 km)
- Lien unidirectionnel Terminal → Satellite
- Les terminaux suivent les spécifications LTE NB-IoT
- Tous les traitements sont effectués au sol

Lien retour trop complexe pour des petits terminaux

Système Store and Forward

- Constellation de satellite LEO (800 km)
- Lien unidirectionnel Terminal → Satellite
- Les terminaux suivent les spécifications LTE NB-IoT
- Tous les traitements sont effectués au sol

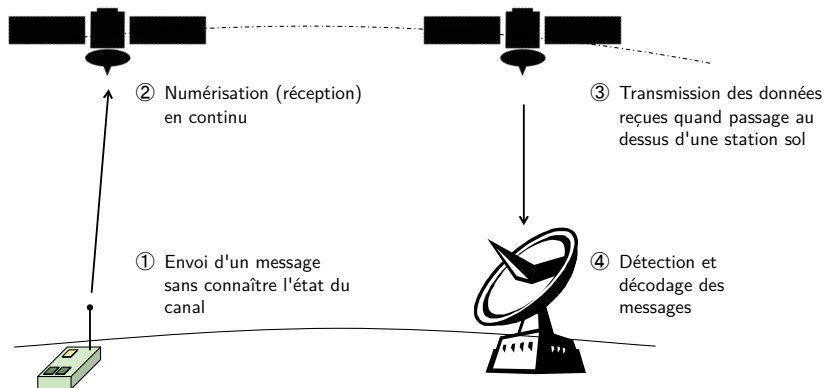
Terminaux peu chers + extension de couverture

Système Store and Forward

- Constellation de satellite LEO (800 km)
- Lien unidirectionnel Terminal → Satellite
- Les terminaux suivent les spécifications LTE NB-IoT
- Tous les traitements sont effectués au sol

Grande complexité calculatoire pour un satellite

Système Store and Forward



- Standardisé officiellement par la 3GPP en juin 2016
- Version « allégée » de LTE
 - Supporte le MF-TDMA
 - Porteuse de 180 kHz
 - Sous-porteuse de 3,75 kHz
 - Durée multiple de 32 ms
 - Turbocode 1/3 et « Rate Matching »
 - Répétition continue des paquets (puissance de 2)

Remarque : c'est pas vraiment de la 5G !

Un standard terrestre :

- Synchronisation avec un nœud central
- Allocation de ressources
- Gestion du modcod en fonction de la qualité du lien
- Accusés de réception

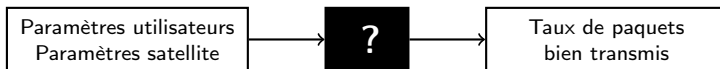
Pas de terminaux disponibles pour l'instant → simulations

- 1 Contexte
 - L'Internet des Objets
 - Le rôle du satellite
 - Les réseaux LPWAN
- 2 Le système satellite étudié
 - Description du système
 - Quelques infos sur NB-IoT
- 3 Détermination de la capacité du système
 - Particularités du canal
 - Chaîne de transmission, interférence

On suppose que la planète est couverte en continu par une constellation de satellite.

On se place au niveau d'un satellite.

**Combien de messages vont être perdus,
alors que le système aurait dû les traiter ?**



Terminaux

Densité de terminaux au sol

Nombre de messages par jour

Fréquence porteuse 0,950 GHz

Nombre de sous-porteuses (choix aléatoire) 48

Puissance d'émission 23 dBm

Nombre de répétitions 16

Longueur d'une répétition 64 ms

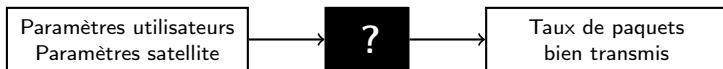
Turbocodage d'une répétition 1/3

Satellite

Altitude 800 km

Élévation min du satellite vu par un terminal 12,90 °

θ_{3dB} de l'antenne 120 °



Terminaux

Densité de terminaux au sol

Nombre de messages par jour

Fréquence porteuse 0,950 GHz

Nombre de sous-porteuses (choix aléatoire) 48

Puissance d'émission 23 dBm

Nombre de répétitions 16

Longueur d'une répétition 64 ms

Turbocodage d'une répétition 1/3

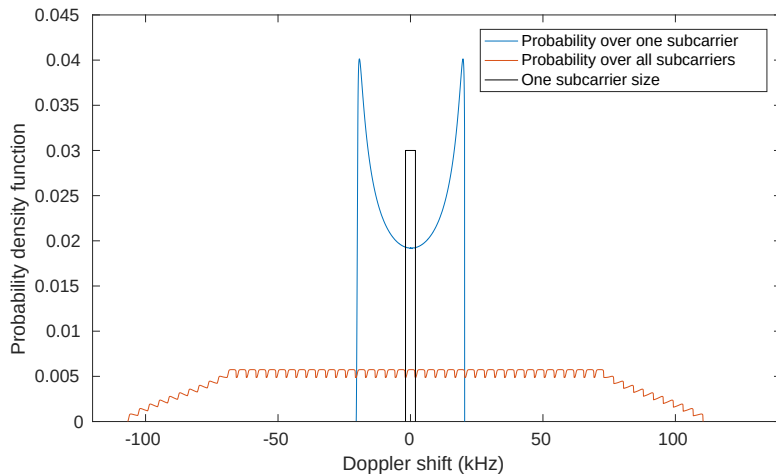
Satellite

Altitude 800 km

Élévation min du satellite vu par un terminal 12,90 °

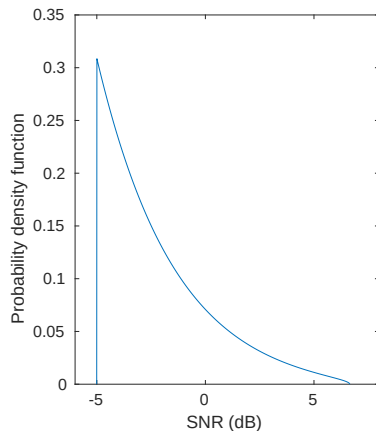
θ_{3dB} de l'antenne 120 °

Capacité du système — Étude du canal

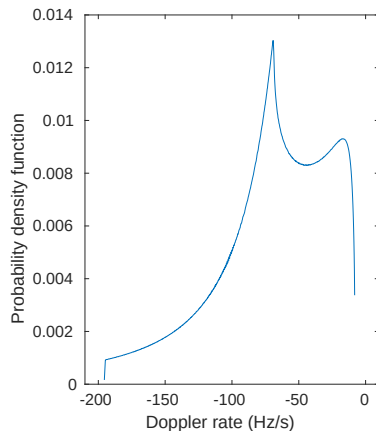


PDF du décalage Doppler

Capacité du système — Étude du canal



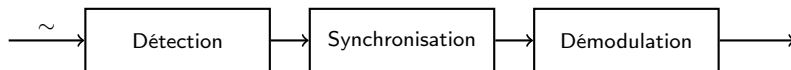
(a) PDF du rapport signal à bruit



(b) PDF de la dérive Doppler

Est ce qu'on arrive à détecter, puis
démoduler un utilisateur ?

Capacité du système — Chaîne de transmission



On suppose le bruit blanc estimé au préalable. Mais :

- Détection aveugle T/F
 - Transmission de 1,024 s
 - Dérive Doppler potentiellement importante (200 Hz/s)
 - Pas de préambule (symboles pilotes répartis le long du paquet)
 - Interférence des autres transmissions ?
- Hypothèse : interférences gênantes pour la démodulation principalement.

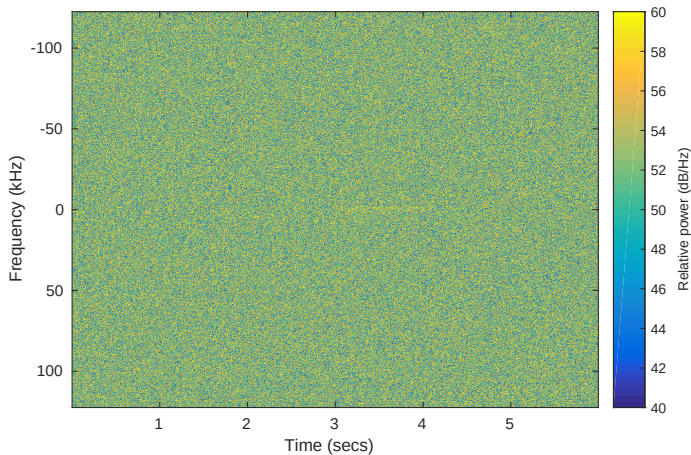
Capacité du système — Détection

Solution « brutale »

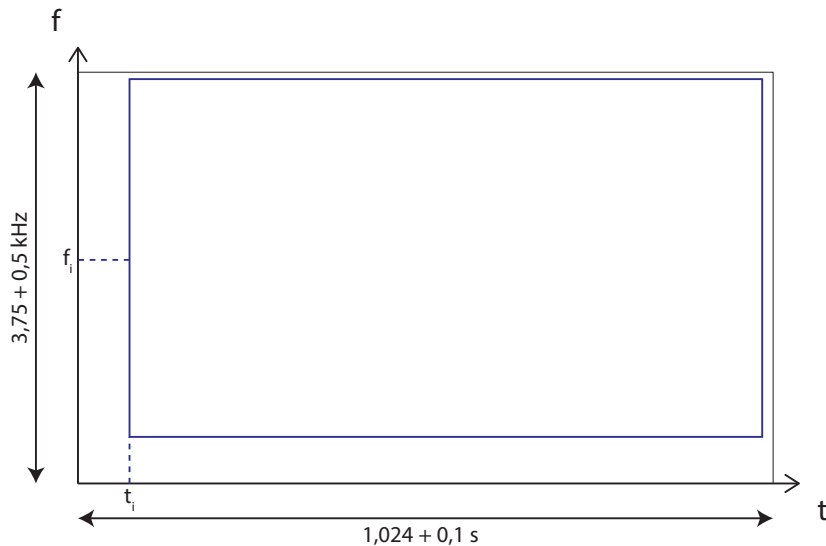
On applique l'étape suivante partout.

Solution moins brutale

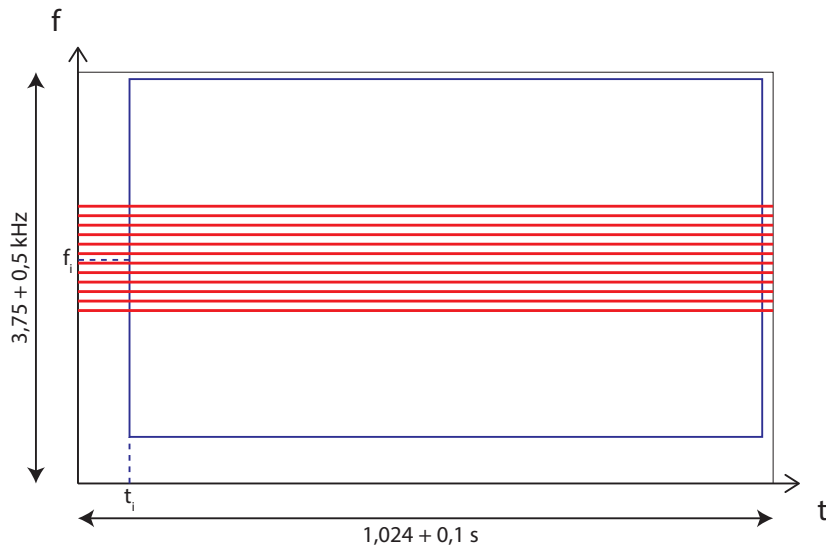
Correlation 2D avec le spectrogramme



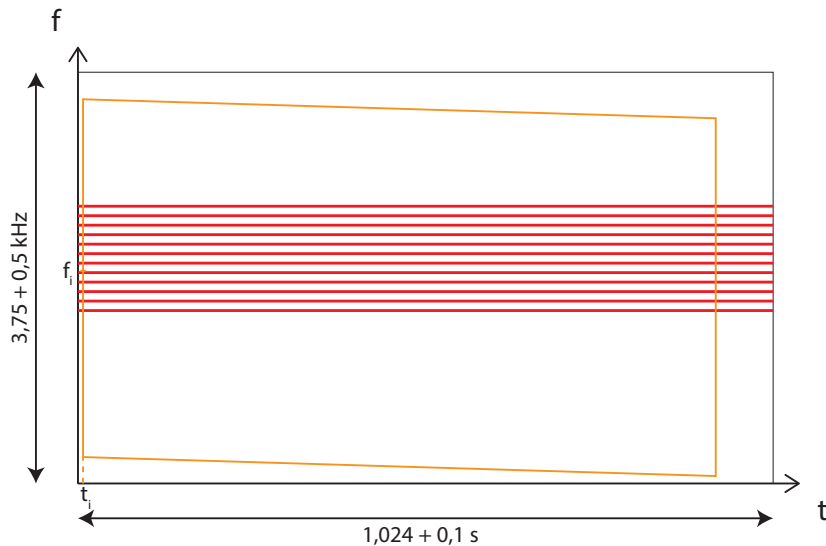
Capacité du système — Synchronisation



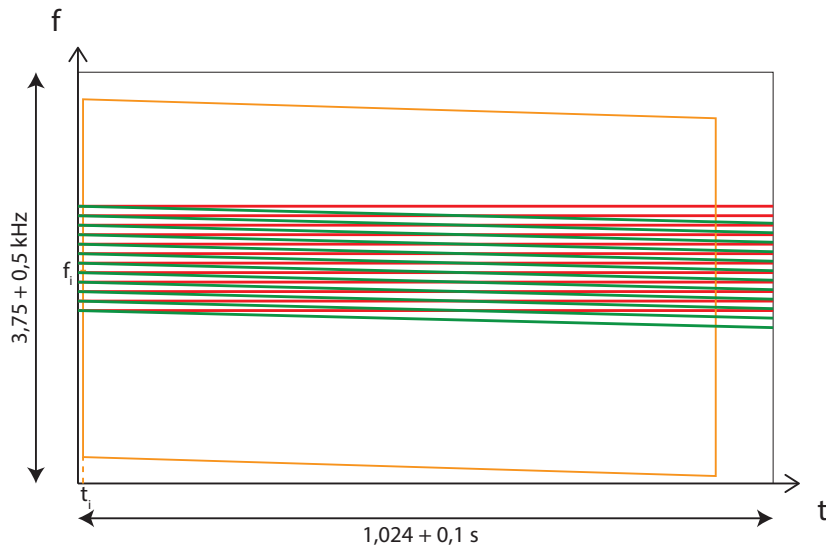
Capacité du système — Synchronisation



Capacité du système — Synchronisation



Capacité du système — Synchronisation



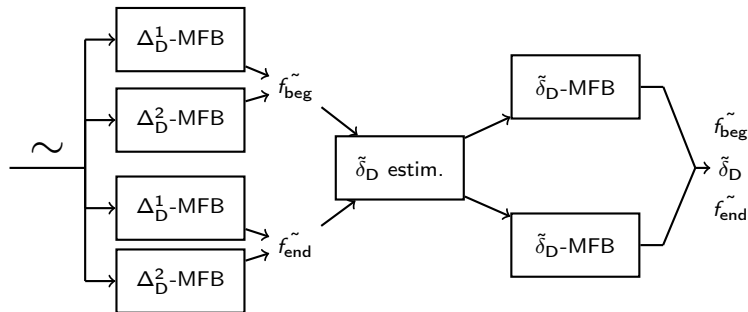
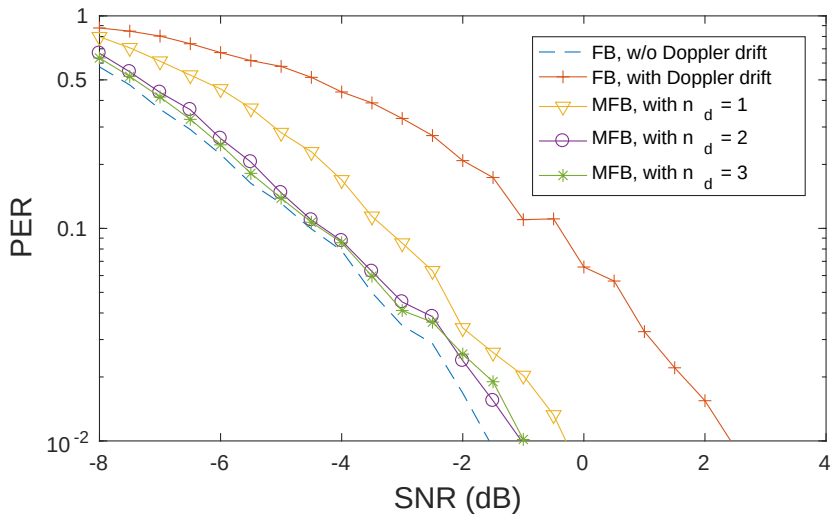


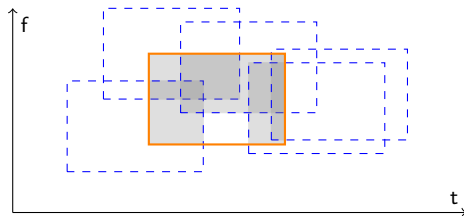
Figure : Schéma bloc de la méthode de synchronisation, avec 2 bancs de filtres

Puis, estimation jointe fréquence/phase avec un critère MMSE.

Capacité du système — Synchronisation



- Sans interférence, pas de problème à ces taux de RSB.
- Avec interférences (de type Time-Frequency Aloha) :

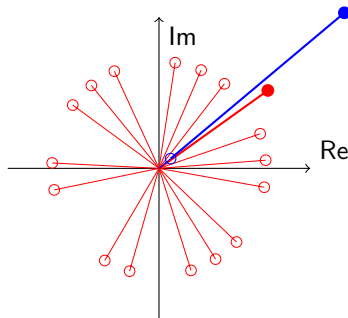


Impact sur le TEB : Interférence non gaussienne.

Impact sur le TEP : Constructivité des interférences.

Capacité du système — Interférences ?

Lors de la sommation en cohérence :



Sous certaines conditions de décalages fréquentiels, les interférences peuvent également être sommées en cohérence.

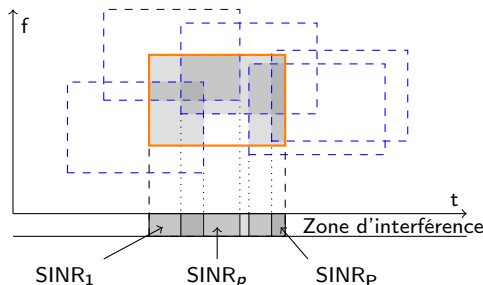
Capacité du système — Démodulation

Un scrambling **efficace** permet de rendre un peu plus aléatoire ces interférences.

Sinon, on pondère la sommation des répétitions pour qu'elle maximise le RSB après sommation.

On crée un modèle d'abstraction de ces interférences pour connaître le TEP.

On se base sur MIESM : *Mutual Information Effective SNIR Mapping*



Basé sur MIESM, couplé à des amplitude équivalentes d'une répétition m après sommation.

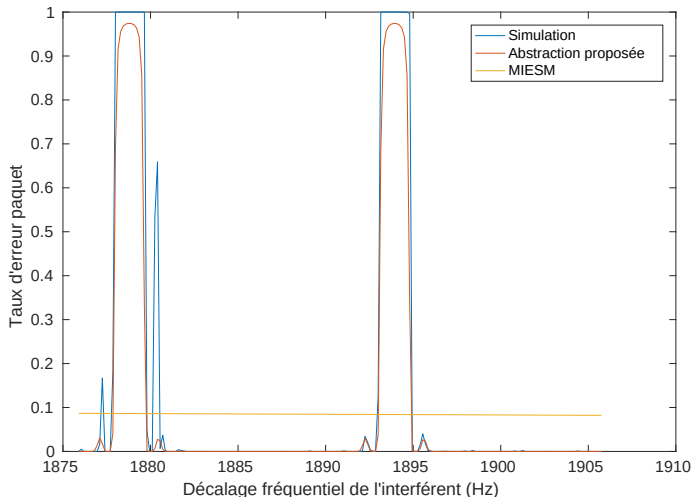
$$\text{SNR}_m = \frac{1}{N_{\text{rep}}} \frac{A_{\text{PiO}}^2}{A_{N_0}^2 + \sum_{u=1}^{N_{\text{interf}}} i_m^{(u)} A_m^{(u)2}}$$

On somme l'information mutuelle I de chaque répétition pour obtenir :

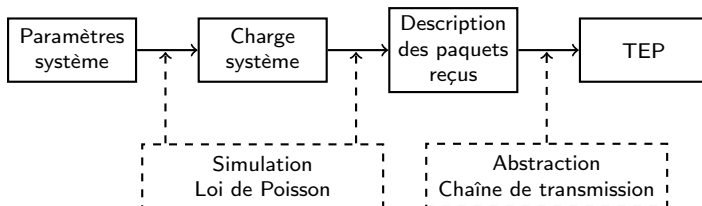
$$\text{SINR}_{\text{eq}} = \alpha_1 I^{-1} \left(\sum_{m=1}^{N_{\text{rep}}} I \left(\frac{\text{SINR}_m}{\alpha_2} \right) \right)$$

Capacité du système — Modèle d'abstraction

Besoin d'être raffiné, mais résultats encourageants.



Dernière étape : emboîter toutes les briques ensemble !



- On a défini un système **satellite** qui propose une **extension de couverture** à un réseau **LPWAN terrestre**.
- On a choisi de déplacer l'**entité calculatoire** hors des terminaux et des satellites.
- Cela ajoute des **contraintes** qui n'ont **pas été anticipées** dans le standard **terrestre**.
- Finalement, on arrive à contourner les problèmes qui apparaissent en complexifiant le récepteur.

Merci de votre attention !