

Sylvain Cluzel^{1,3,4,5}, Laurent Franck², José Radzik³, Sonia Cazalens⁴, J.-B. Dupé⁴, Cédric Baudoin⁵, Mathieu Dervin⁵,
¹TeSA, ²Télécom Bretagne, ³ISAE-SUPAERO, ⁴Centre National d'Études Spatiales, ⁵Thales Alenia Space
sylvain.cluzel@tesa.prd.fr, laurent.franck@imt-atlantique.fr, jose.radzik@isae-supaero.fr,
{jean-baptiste.dupe, sonia.cazalens}@cnes.fr, {cedric.baudoin, mathieu.dervin}@thalesaleniaspace.com

1. Contexte

1.1. Type de profil – Internet des objets

On vise une couverture globale, pour faire du monitoring en zone blanche. Un seul type de profil est considéré ; les messages sont :

- P1 - réguliers, et espacés dans le temps (~ 6 par jour)
- P2 - tolérants au délai (quelques minutes, voire quelques heures)
- P3 - de faible volume (< 1000 bits)

On optimise le système afin de remplir les objectifs suivants :

- O1 - les terminaux les moins énergivores possible
- O2 - le maximum de terminaux connectés au système
- O3 - une fiabilité maximale du lien
- O4 - un débit maximal par terminal
- O5 - les terminaux les moins chers possible
- O6 - le système lui-même doit être raisonnablement réalisable

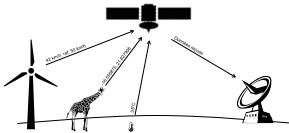


FIGURE 1 – Exemple d'utilisation d'un tel système

1.2. Description générale

Le système qui est considéré :

- est basé sur **LTE NB IoT [01/05]** ;
- utilise des fréquences dédiés basses **[02/03/04]** ;
- est asynchrone **[01/06/03]** ;
- numérise les transmissions et les traite au sol **[P2/02]** ;
- une constellation LEO **[01/04/06]** ;
- n'utilise pas de lien aller **[01/05/06/03/04]**.

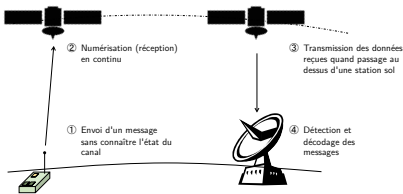


FIGURE 2 – Schéma de principe du système considéré

1.3. Caractéristiques de LTE NB-IoT

- **Single-tone SC-FDMA**, équivalent FDMA, QPSK et BPSK.
- 2 types de sous-porteuses utilisées : **15 kHz** et **3,75 kHz** ;
- Puissance d'émission **23 dBm** maximum ;
- Étalement temporel (**Répétition** des messages) ;
- Pilotes symboles répartis tous les 7 symboles.

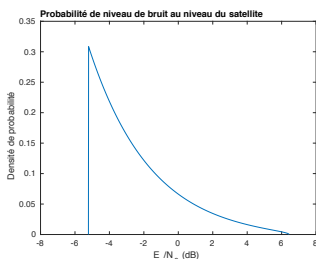


FIGURE 3 – Probabilité rapport signal à bruit pour un satellite à 800 km et des sous-porteuse de 3,75 kHz.

2. Objectifs et contraintes

2.1. Mesurer les performances du système

On cherche à lier :

Limites de détection/décodage ?
Nombre d'utilisateur ↔ Charge canal
↔ probabilité de décodage ?

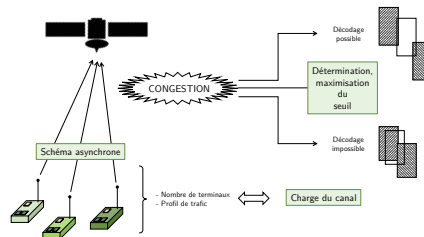


FIGURE 4 – Visualisation des différents objectifs

2.2. Des interférences intrasystèmes

Nous sommes en présence de :

Faible RSB **Congestion T/F**
Dérive Doppler

Sachant que le paquet envoyé interféré est de la forme :

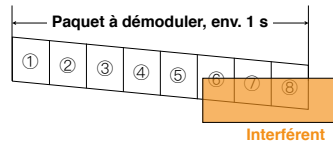


FIGURE 5 – Réception d'un message interféré par le satellite

3. Description de l'approche

3.1. Stratégie de synchronisation



FIGURE 6 – Description de la stratégie de synchronisation choisie.

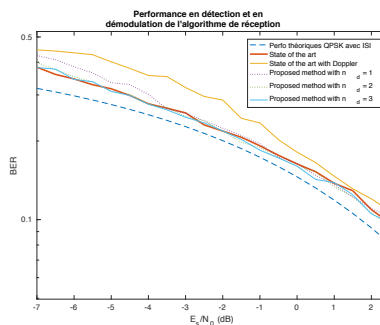


FIGURE 7 – Performance de la synchronisation

3.2. Stratégie de démodulation

Une fois le paquet synchronisé, on peut obtenir :

- la puissance du paquet ;
- la puissance des interférents sur chaque répétition ;
- ⇒ le rapport signal à bruit sur chaque répétition.

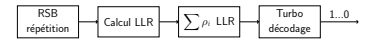


FIGURE 8 – Description de la stratégie de démodulation choisie.

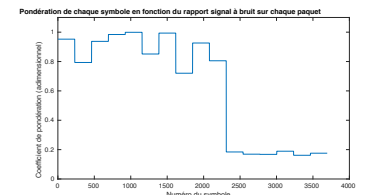


FIGURE 9 – Pondération en fonction du rapport signal à bruit d'un paquet, sur une transmission composée de 16 répétitions.

3.3. Outil de simulation du système

Entrées	Sorties
Antenne satellite	Liste des transmissions au sol
Orbitographie	Nombre de transmissions reçus inst.
Caractérisation du trafic	Pour chaque transmission : – Doppler, puissance et délai subit
Répartition des utilisateurs	Statistiques d'interférences globales : – nombre de terminaux en congestion – charge du système
Paramètres de l'émission	Statistiques pour chaque terminal : – position et puissance des interférents

Le simulateur fournit plusieurs graphes (Figure 10 par exemple) et statistiques, comme la **charge** du système.

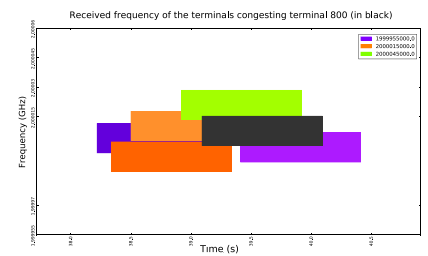


FIGURE 10 – Étude de la congestion à l'échelle d'un paquet

4. Prochains objectifs

Pendant la troisième année, les travaux seront les suivants :

- Insérer l'étude « **couche physique** » dans l'analyse « **couche physique** » afin d'estimer les performances du système ;
- Proposer des **expressions analytiques** afin d'obtenir directement les performances du système ;
- Trouver les paramètres qui **optimisent** les performances du système.

Dans un second temps, on peut chercher à :

- Utiliser des schémas d'accès novateurs afin d'améliorer le débit utilisateur ;
- Ajouter des paramètres liés au réalisme du système.