

# Décodage de signaux LoRa superposés

Présentation: Alexandre Guitton

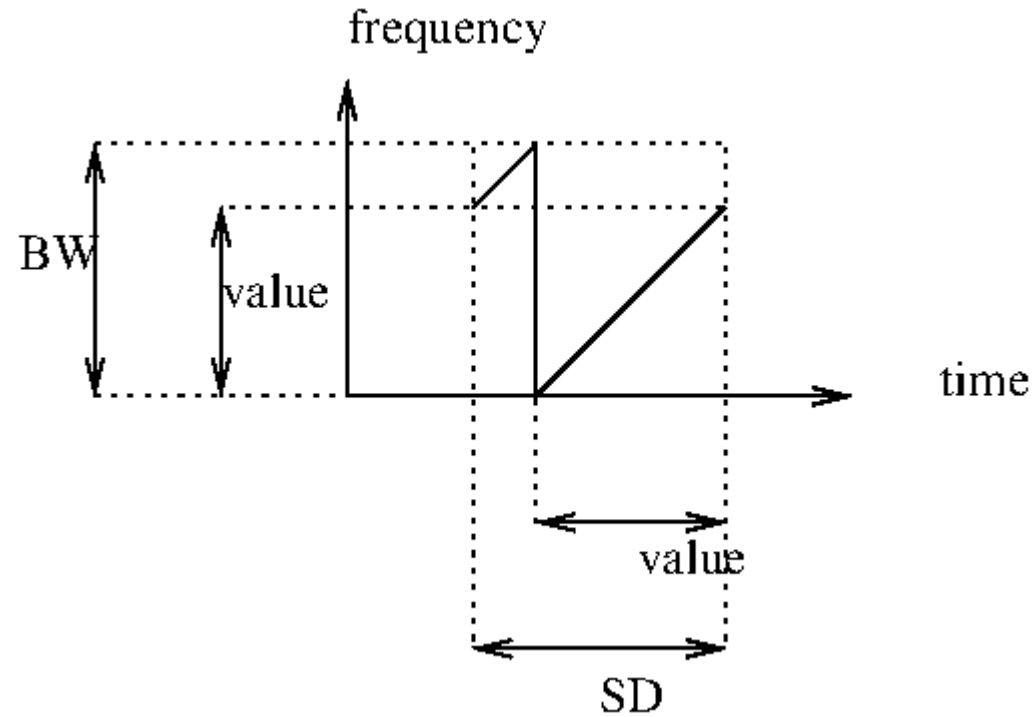
# Objectif

- LoRa = protocole de communication sans fil, longue distance et à basse consommation énergétique
  - Mais très faible débit (quelques kilobits par seconde, pendant 1% du temps)
- Objectif : augmenter le débit de LoRa en permettant à des signaux d'être transmis presque en même temps
  - [N.El Rachkidy, A.Guitton, M.Kaneko. « Decoding superposed LoRa signals », IEEE LCN 2018]
  - [N.El Rachkidy, A.Guitton, M.Kaneko. « Collision resolution protocol for delay and energy efficient LoRa networks », IEEE Trans. on Green Comm. and Netw. 2019]

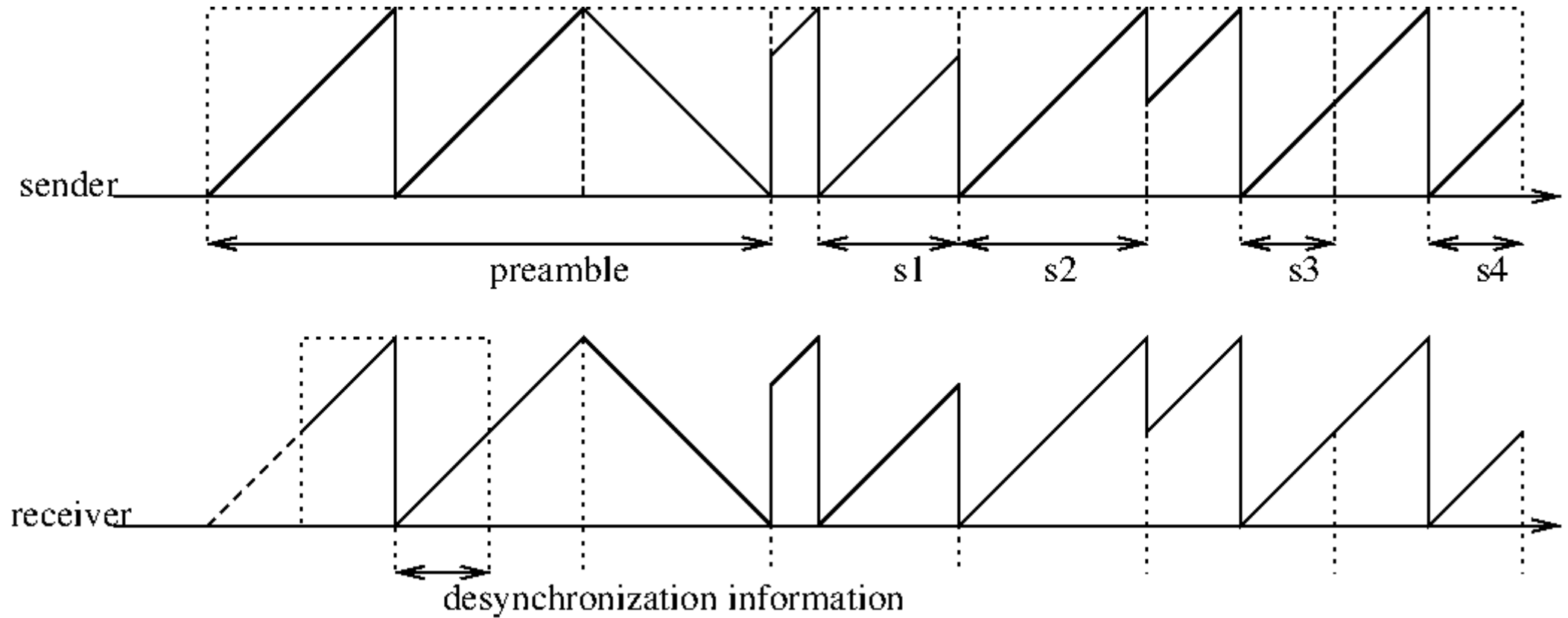
# Travaux proches

- Etude de l'effet capture dans LoRa
  - Les collisions dépendent de la différence de puissance du signal reçu ainsi que du décalage du temps de transmission  
[A.Rahmadhani, F.Kuipers. « When LoRaWAN frames collide », ACM WiNTECH 2018]
  - Un mécanisme CSMA peut réduire les collisions dans LoRaWAN  
[C.Pham. « Investigating and experimenting CSMA channel access mechanisms for LoRa IoT networks », IEEE WCNC 2018]
- Décodage de signaux synchronisés
  - Le receveur peut décoder des signaux synchronisés en utilisant les faibles différences de fréquences entre émetteurs  
[R.Eletreby, D.Zhang, S.Kumar, O.Yagan. « Empowering low-power wide area networks in urban settings », ACM SIGCOMM 2017]

# Principe de LoRa sur un exemple – symbole



# Principe de LoRa sur un exemple – trame



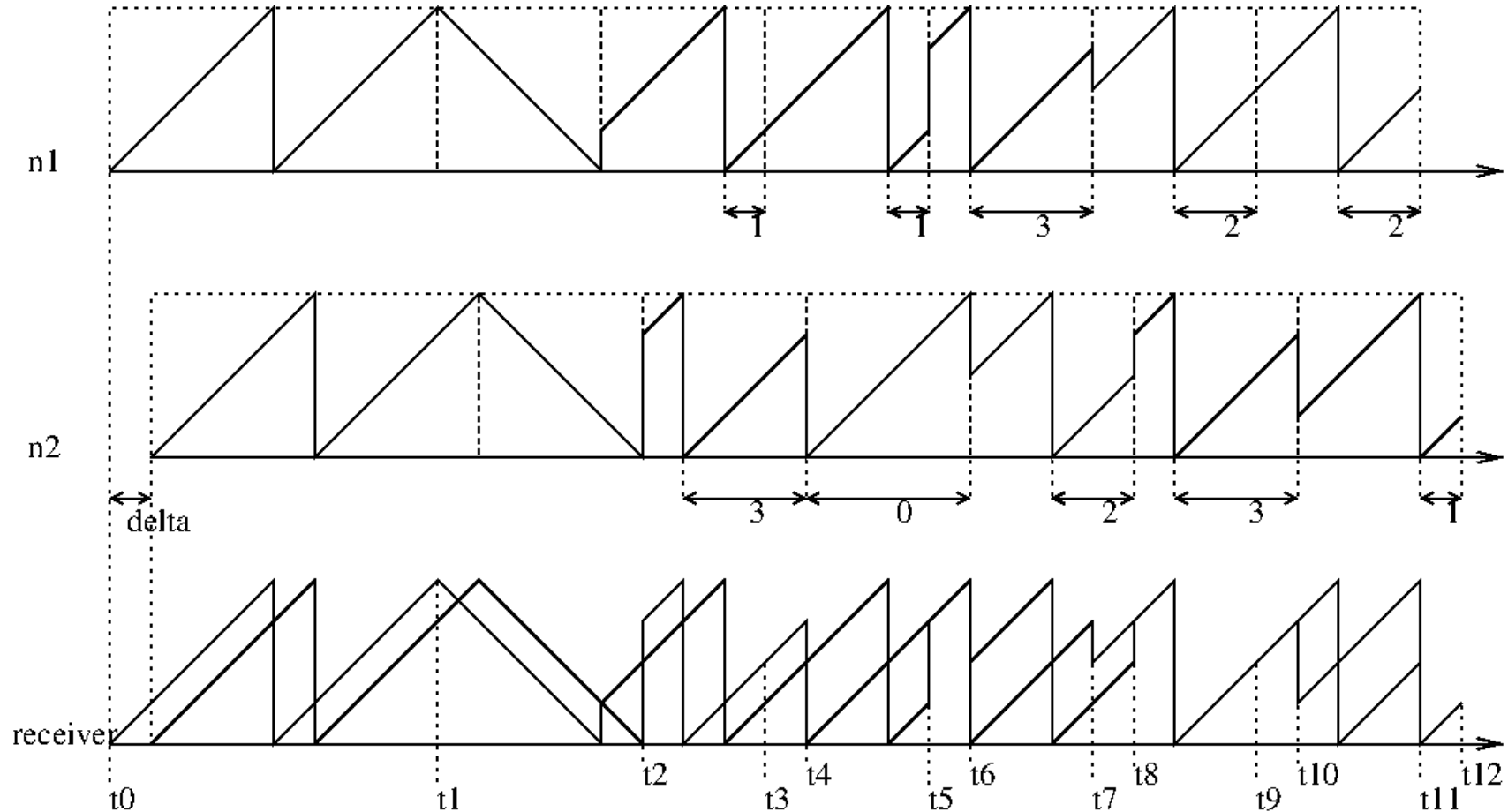
# Hypothèses PHY

- Les émetteurs sont a priori indissociables au niveau du récepteur (= pas de différence de puissance reçue)
- Fréquences
  - Des up-chirps superposés (y compris partiellement) peuvent être identifiés
  - Quand deux fréquences sont identiques, elles sont indissociables (= si trois nœuds A+B+C envoient sur deux fréquences F1+F2, on ne peut pas savoir laquelle de F1 ou F2 est utilisée deux fois)
  - La détection des fréquences dure une durée delta (=  $SD/16$ )
- Horloge
  - Chaque transmetteur a sa propre horloge
  - Nous ignorons le drift (1000 fois inférieur à la durée d'un symbole pour une trame)

# Hypothèses MAC

- Tous les nœuds transmettent un préambule de même durée
- La longueur de trame est incluse dans l'entête (explicit header)
- Les transmissions entre récepteurs sont légèrement désynchronisées d'une durée delta

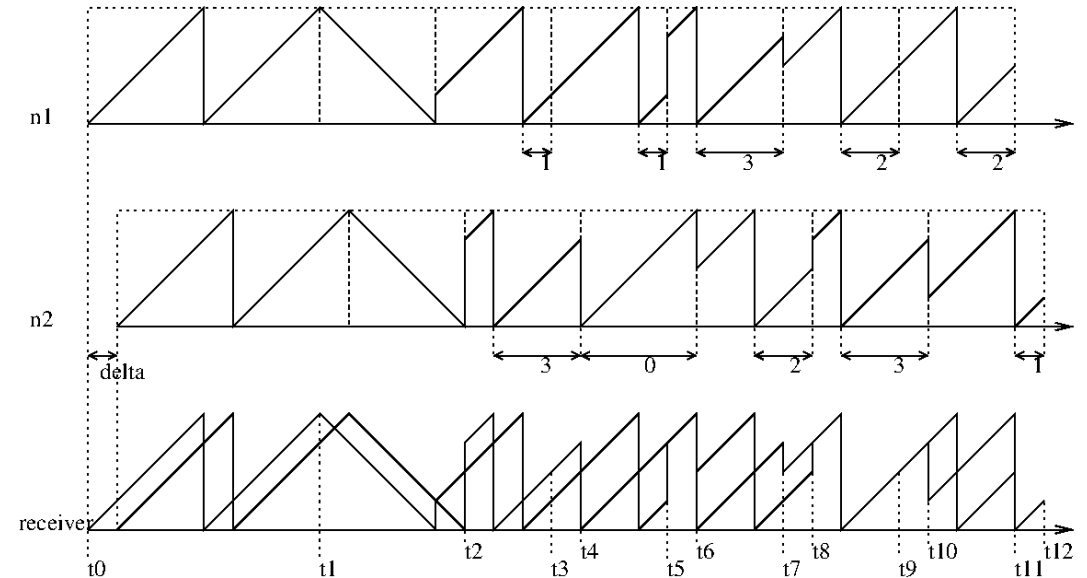
# Exemple de signaux légèrement désynchronisés





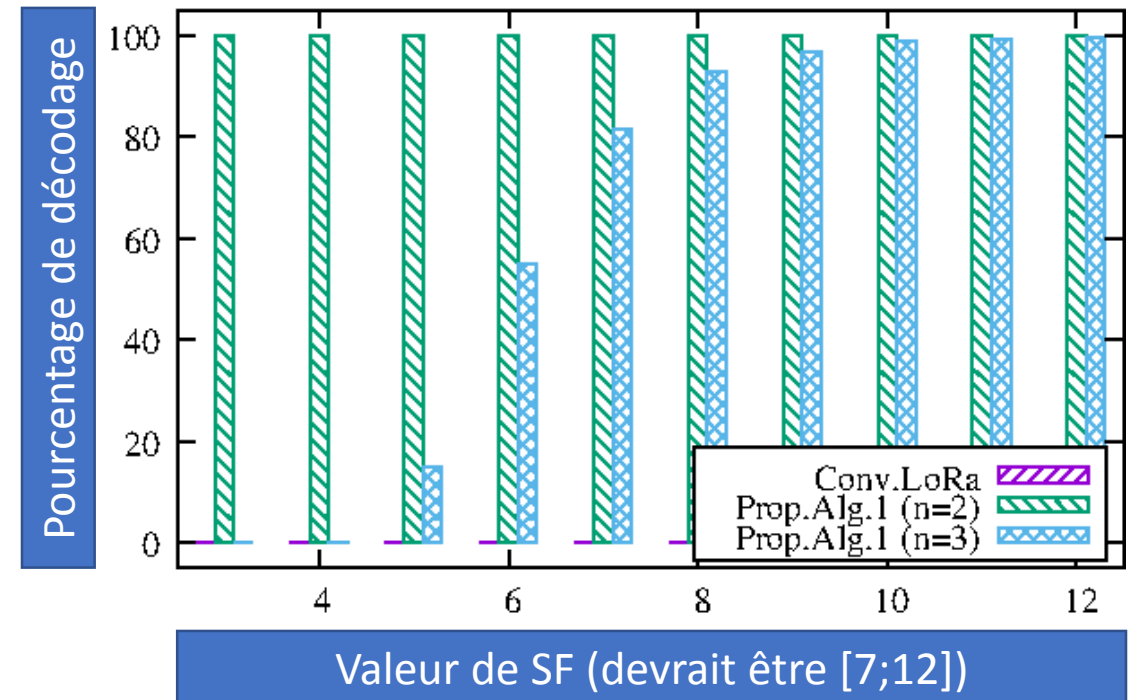
# Algorithme de décodage de deux signaux

- A chaque frontière  $t$  d'un symbole
  - On calcule  $F^-(t)$  à partir de  $F^+(t-1)$
  - On détecte les fréquences  $F^+(t)$
  - Si une seule fréquence a changé
    - On connaît le symbole du nœud actuel pour  $t$  et pour  $t-1$
    - On connaît le symbole de l'autre nœud
- Sinon
  - Le symbole du nœud actuel pour  $t$  est (peut-être) le même que pour  $t-1$



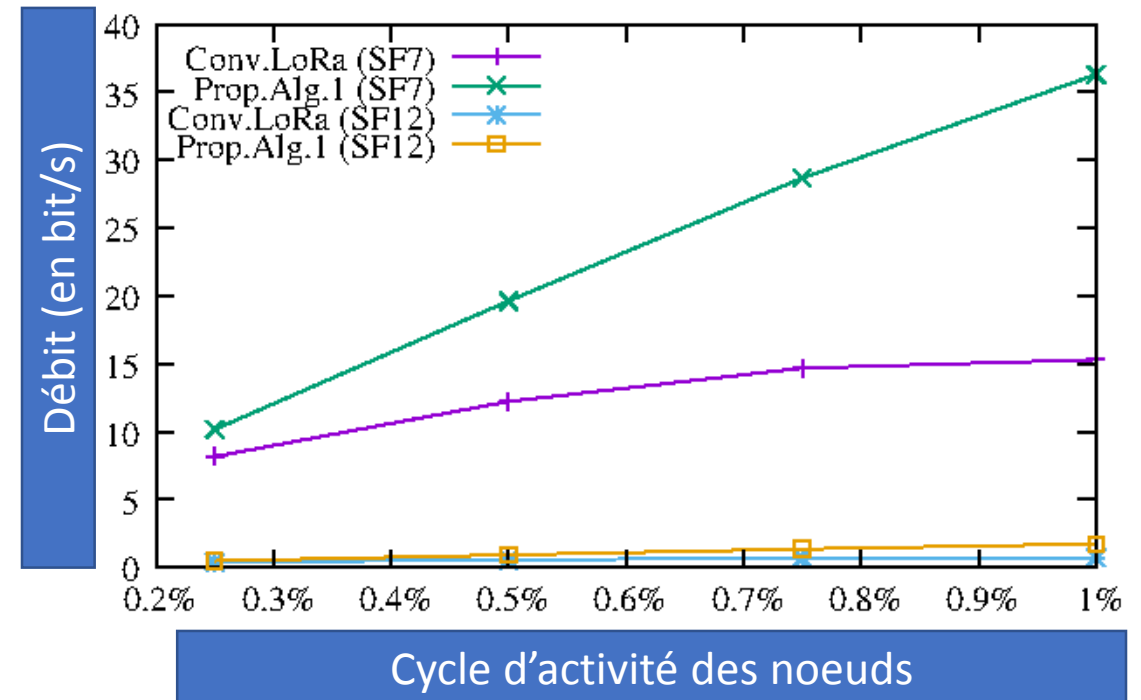
# Résultats

- Lorsque l'on force des collisions de  $n$  trames...
  - LoRaWAN (violet) ne peut pas décoder ces trames en collision
  - Notre algorithme décode 100% des collisions de  $n=2$  trames (vert)
  - Notre algorithme décode beaucoup de collisions de  $n=3$  trames (bleu)



# Résultats

- Avec 100 nœuds qui transmettent à 1%, notre algorithme (vert) multiplie le débit par plus de 2 par rapport à LoRaWAN (violet)
- Pour SF=7 :
  - 100% des collisions de deux trames sont décodées
  - 80% des collisions de trois trames sont décodées
  - 0% des collisions de quatre trames ou plus sont décodées



# Compléments

- Pour deux signaux :

- On peut décoder toutes les trames s'il y a au moins un changement de symbole

[N.El Rachkidy, A.Guitton, M.Kaneko. « Decoding superposed LoRa signals », IEEE LCN 2018]

- Pour trois signaux ou plus :

- Les trames ne sont pas toujours décodables

[N.El Rachkidy, A.Guitton, M.Kaneko. « Decoding superposed LoRa signals », IEEE LCN 2018]

- Mais on peut concevoir des algorithmes de décodage plus efficaces

[N.El Rachkidy, A.Guitton, M.Kaneko. « Collision resolution protocol for delay and energy efficient LoRa networks », IEEE Trans. on Green Comm. and Netw. 2019]

# Merci !

- Questions ?