

# LoRaWAN pour un réseau à grande échelle: du contexte terrestre vers le contexte satellitaire

Chékra El Fehri<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Ingénieur chercheur en protocole de communications, Ph.D.  
TELNET Holding, Activité Spatiale, Tunis, Tunisie  
[chekra.elfehri@groupe-telnet.net](mailto:chekra.elfehri@groupe-telnet.net)

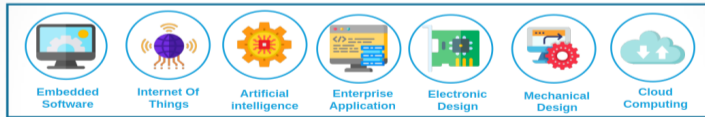
08 Juillet 2024

LPWAN'24

# TELNET: un groupe d'entreprises Tunisien



- Fondé: en 1994.
- Activité: Ingénierie dans les nouvelles technologies.
- Sites Internationaux: 10  
Tunisie, France, Allemagne, USA, KSA, Russie.
- Sites Nationaux: 4  
Sfax, Tunis



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

## 2021: Lancement du premier satellite Tunisien "ChallengeOne".

- Objectif de la mission: Collecter les données des nœuds IoT, les stocker, puis les envoyer à l'utilisateur final.  
→ Dédié pour résoudre le problème des zones blanches ( 37% de la surface de la terre (ITU);  $\approx$  40% de la surface de la Tunisie).

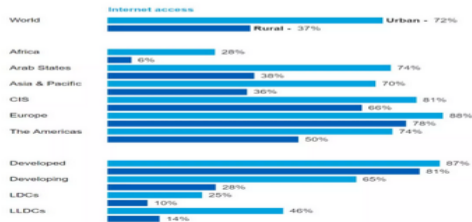


Figure 1: Accès internet dans le monde (ITU)



Figure 2: Couverture de réseau en Tunisie (TT mobile)

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# ChallengeOne: Une plateforme IoT satellitaire

## Défis de la mission

- Un nanosatellite (LEO) est une gateway LoRa dans l'espace.
- La mise en place d'une plateforme de communication IoT par satellite end-to-end dédiée au services des applications IoT.
- Assurer les exigences actuelles des applications IoT:  
→ faible coût, fiabilité des transmissions, scalabilité, faible consommation énergétique.

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

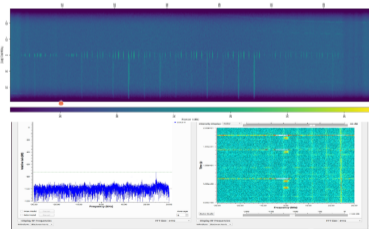
Conclusion



Approbation du lancement du satellite ChallengeOne



La terre vue par des yeux Tunisiens



Les premiers signaux reçus par ChallengeOne

- Objets connectés avec un taux de croissance annuel 12%.  
→ soit 125 billions d'objets connectés estimé en 2030 [1].
- Des technologies IoT concurrentes (**portée de connectivité et coût**) pour satisfaire des exigences d'actualités.



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

- Objets connectés avec un taux de croissance annuel 12%.  
→ soit 125 billions d'objets connectés estimé en 2030 [1].
- Des technologies IoT concurrentes (**portée de connectivité et coût**) pour satisfaire des exigences d'actualités.



**Un réseau IoT de longue couverture, ouvert, libre et à faible consommation énergétique?**

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- Objets connectés avec un taux de croissance annuel 12%.  
→ soit 125 billions d'objets connectés estimé en 2030 [1].
- Des technologies IoT concurrentes (**portée de connectivité et coût**) pour satisfaire des exigences d'actualités.



**Un réseau IoT de longue couverture, ouvert, libre et à faible consommation énergétique?**



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion



## LoRaWAN: plus qu'une longue couverture

- Scalabilité.
- Fiabilité des transmissions.

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

## LoRaWAN: plus qu'une longue couverture

- Scalabilité.
- Fiabilité des transmissions.

VS

ALOHA-based channel access  
technique

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

LoRaWAN: plus qu'une longue couverture

- Scalabilité.
- Fiabilité des transmissions.

VS

collisions

ALOHA-based channel access  
technique

Perte  
de paquets

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# LoRaWAN: Problématique

LoRaWAN: plus qu'une longue couverture

- Scalabilité.
- Fiabilité des transmissions.

Mécanismes LoRaWAN:

- Un trafic "Confirmed".
- Effet "Channel capturing".

VS

collisions

ALOHA-based channel access  
technique

Perte  
de paquets

- Procédure de retransmission.
- Data rate adaptation.

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# LoRaWAN: Problématique

LoRaWAN: plus qu'une longue couverture

- Scalabilité.
- Fiabilité des transmissions.

Mécanismes LoRaWAN:

- Un trafic "Confirmed".
- Effet "Channel capturing".



VS

collisions

ALOHA-based channel access technique

Perte de paquets

- Procédure de retransmission.
- Data rate adaptation.



high collision rate



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- ① Généralité sur la technologie LoRaWAN
- ② Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle
- ③ Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle
- ④ LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne
- ⑤ Conclusion

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Généralité sur la technologie LoRaWAN

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion



# Architecture du réseau LoRaWAN

- End-devices connectés à une gateway avec une topologie en étoile.



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

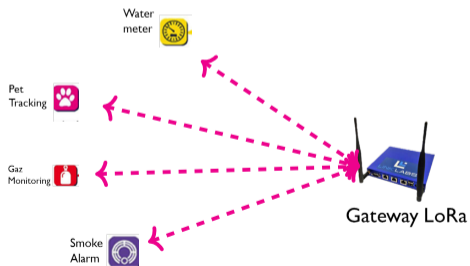
Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Architecture du réseau LoRaWAN

- End-devices connectés à une gateway avec une topologie en étoile.



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

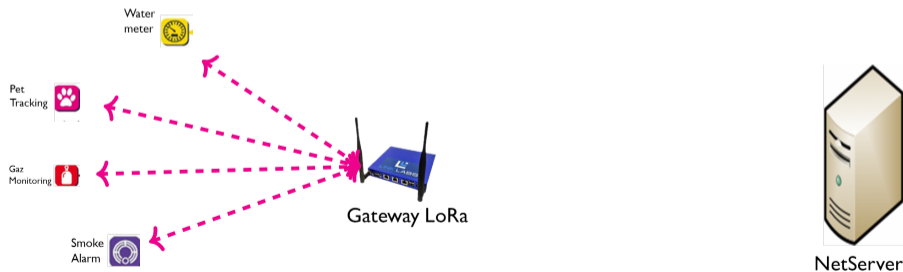
Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Architecture du réseau LoRaWAN

- End-devices connectés à une gateway avec une topologie en étoile.
- La gateway est un relais entre des communications bi-directionnelles et une entité intelligente; le netserver.



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

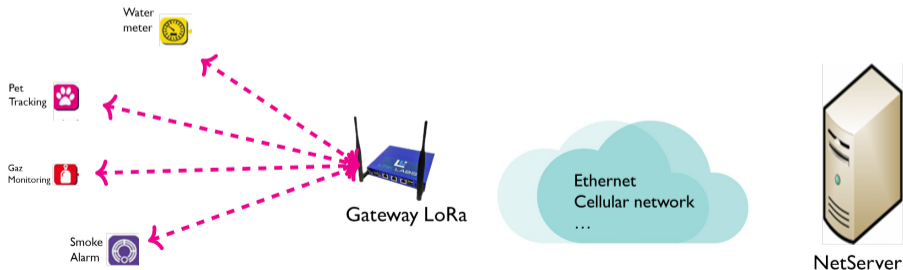
Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Architecture du réseau LoRaWAN

- End-devices connectés à une gateway avec une topologie en étoile.
- La gateway est un relais entre des communications bi-directionnelles et une entité intelligente; le netserver.
- La connectivité entre la gateway et le netserver est assurée via un réseau cellulaire, ethernet, IP ...



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

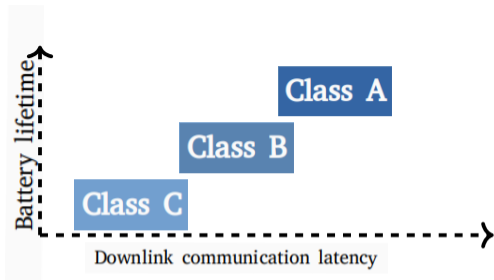
LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Les classes en LoRaWAN

End-devices classifiés en 3 classes en termes de:

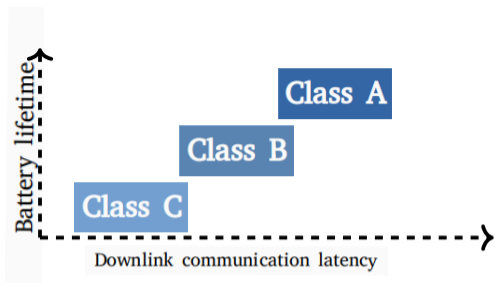
- Latence des communications "downlink".
- Efficacité en consommation énergétique.



# Les classes en LoRaWAN

End-devices classifiés en 3 classes en termes de:

- Latence des communications "downlink".
- Efficacité en consommation énergétique.



∇ la classe de l'end-device en LoRaWAN:

- Les communications "Uplink" utilisant une technique d'accès au canal basée sur ALOHA.
- Le trafic "Uplink" peut être de type "confirmed" ou "unconfirmed".
- Les communications "Uplink/ Downlink" sont soumis à des contraintes de **duty-cycle** définis par la norme "ETSI".

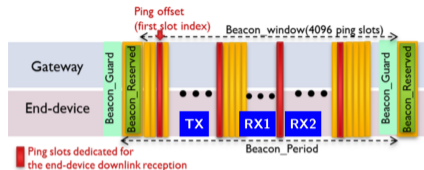
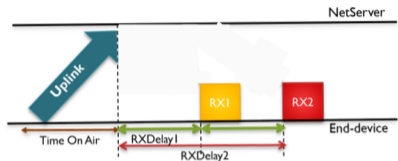
Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

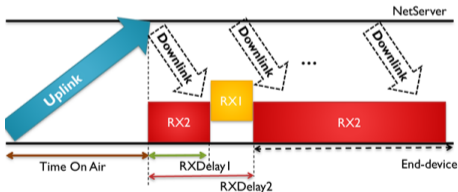
LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



(a) Fonctionnement d'un end-device de classe A

(b) Fonctionnement d'un end-device de classe B



(c) Fonctionnement d'un end-device de classe C

Figure 3: Les trois classes en LoRaWAN

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion



- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaîne de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle


LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne


Conclusion

# Coût des transmissions "Uplink" en LoRaWAN: étude d'évaluation

- 1 **Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- 2 **Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- 3 **Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Coût des transmissions "Uplink" en LoRaWAN: étude d'évaluation

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaine de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Coût des transmissions "Uplink" en LoRaWAN: étude d'évaluation

- Objectif:** Evaluer l'impact de l'ALOHA sur un LoRaWAN (classes A et B) à grande échelle et avec une exigence élevée en terme de fiabilité [2].
- Métriques d'évaluation:** Latence, consommation énergétique.
- Outil d'évaluation:** Chaîne de Markov (Matlab).

## Littérature existante

	Latency evaluation	Energy efficiency evaluation	LoRaWAN class	Traffic direction	Network scale	transmission resetting after the max number of attempts	Capture effect consideration
[3]	✓	✓	A	uplink	0-300 Eds	X	X
[4]	✓	X	A	uplink	-	X	✓
[5]	✓	X	A	uplink	-	X	X
[6]	✓	X	B	downlink	0-100Eds	X	X
[7]	✓	X	A	uplink	7-12Eds	X	✓
our work	✓	✓	A&B	uplink	500-1000Eds	✓	✓

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



# Coût des transmissions "Uplink" en LoRaWAN: Résultats d'évaluation

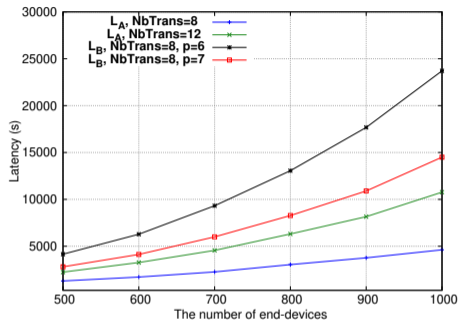


Figure 4: Latence des communications "Uplink"

- Un coût plus élevé pour la classe B.
- $L_A/E_A NbTrans = 8$  est plus performante que  $L_A/E_A NbTrans = 12 \rightarrow$  DR adaptation  $\rightarrow$  SF plus élevé  $\rightarrow$  un domaine de collision plus large.

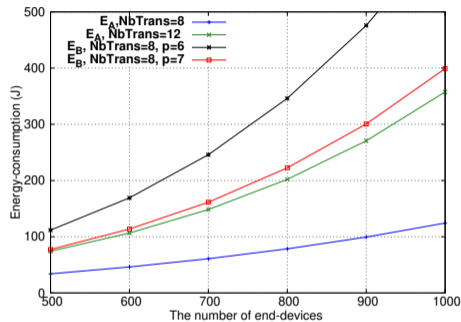


Figure 5: Consommation énergétique

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- 1 Assurer la fiabilité des transmissions dans un LoRaWAN à grande échelle est très coûteux en terme de latence des communications et de consommation énergétique.
- 2 Les stratégies implémentées par LoRaWAN pour vaincre les collisions font dégrader radicalement la performance du réseau.
- 3 Le déploiement du LoRaWAN à grande échelle n'est pas convenable pour des applications IoT nécessitant des performances élevées en terme de fiabilité des transmissions.

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

- 1 Assurer la fiabilité des transmissions dans un LoRaWAN à grande échelle est très coûteux en terme de latence des communications et de consommation énergétique.
- 2 Les stratégies implémentées par LoRaWAN pour vaincre les collisions font dégrader radicalement la performance du réseau.
- 3 Le déploiement du LoRaWAN à grande échelle n'est pas convenable pour des applications IoT nécessitant des performances élevées en terme de fiabilité des transmissions.

L'une des solutions à proposer:

- Optimisation de la technique d'accès au canal.  
⇒ Un nouveau processus pour les communications "Uplink".



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

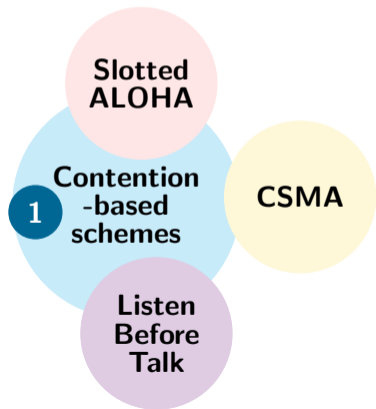
Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

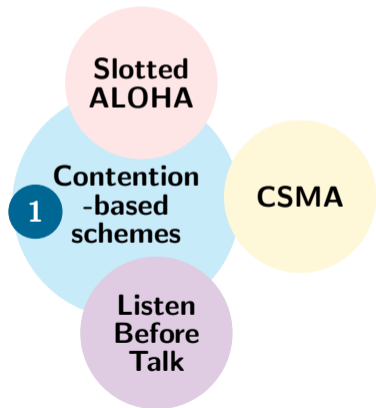
Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement



- S-ALOHA efficace pour LoRaWAN à petite échelle.
  - Plus d'énergie consommée avec CSMA et LBT.
  - Les collisions persistent.
- **Nécessité d'une approche qui garantit un accès au canal sans collision.**

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

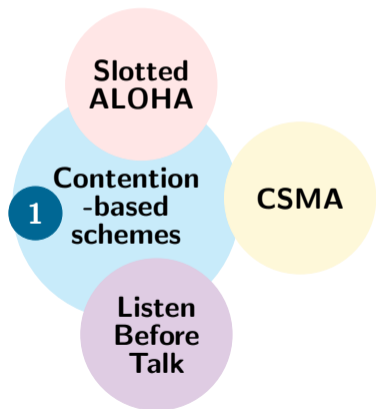
Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement



- S-ALOHA efficace pour LoRaWAN à petite échelle.
- Plus d'énergie consommée avec CSMA et LBT.
- Les collisions persistent.

→ **Nécessité d'une approche qui garantit un accès au canal sans collision.**

Technique d'ordonnancement

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

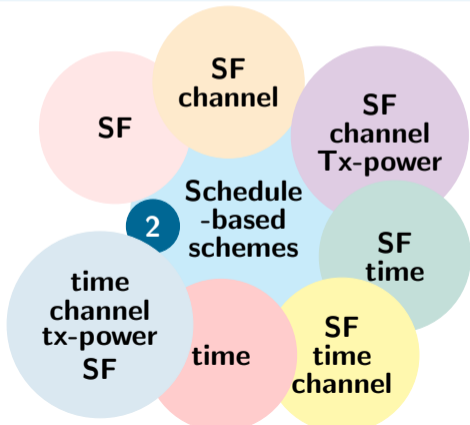
LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

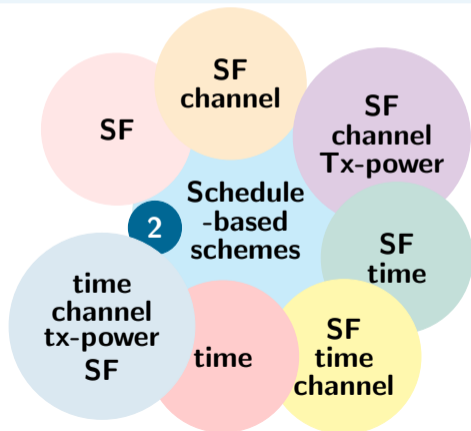
Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

## Deux types de solutions en littérature

- 1 Techniques à base contention
- 2 Techniques à base ordonnancement



## Modifications majeures apportées à LoRaWAN

- Un processus de synchronisation pour des end-devices de classe A.
- Modification du processus des communications "downlink".
- Une nouvelle structure du "Beacon".
- Modification de l'architecture du réseau et du hardware.
- Une nouvelle couche MAC.

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

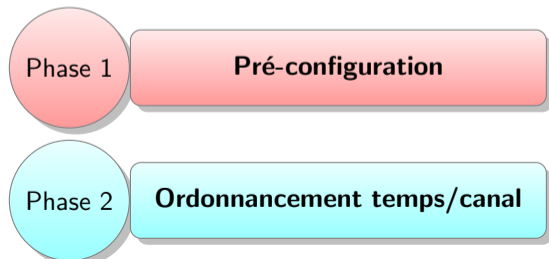
LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

## Spécifications à considérer:

- ① Une approche déterministe pour l'allocation des slots temporels et du canal de transmission.
- ② Un mécanisme "collision-free": 100% of PDR.
- ③ Aucune modification majeure n'est apportée à la spécification LoRaWAN.

## Un mécanisme de deux phases [8]:



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnancement: description

Phase de pré-configuration: affecter  $(SF_i, g_{index})$  à chaque end-device lors de son activation (OTAA).

- 1 Allouer  $SF_i$  à l'end-device en fonction de sa localisation.

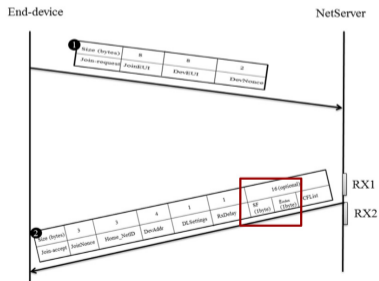


Figure 6: La procédure Join (OTAA)

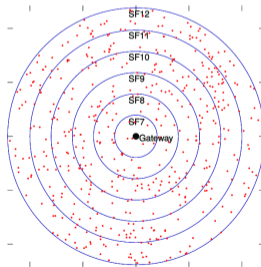


Figure 7:  $SF_i$  as a function of localisation

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnancement: description

Phase de pré-configuration: affecter  $(SF_i, g_{index})$  à chaque end-device lors de son activation (OTAA).

- 1 Allouer  $SF_i$  à l'end-device en fonction de sa localisation.
- 2 Regrouper les end-devices en des groupes de 4Eds au maximum. Les Eds de chaque groupe doivent avoir des SFs disjoints.

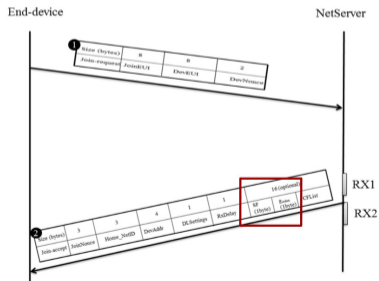


Figure 6: La procédure Join (OTAA)

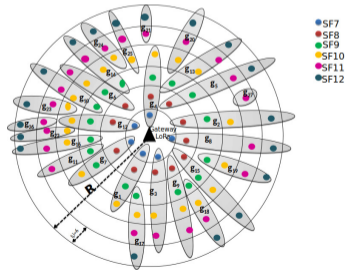


Figure 7: Regroupement des end-devices

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnement: description

Phase de pré-configuration: affecter  $(SF_i, g_{index})$  à chaque end-device lors de son activation (OTAA).

- 1 Allouer  $SF_i$  à l'end-device en fonction de sa localisation.
- 2 Regrouper les end-devices en des groupes de 4Eds au maximum. Les Eds de chaque groupe doivent avoir des SFs disjoints.
- 3 Suite à son activation, l'end-device va switcher vers la classe B.

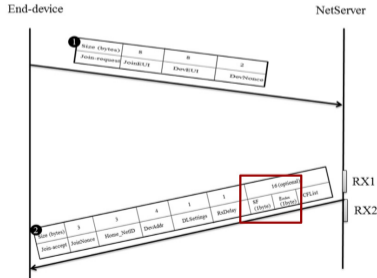


Figure 6: La procédure Join (OTAA)

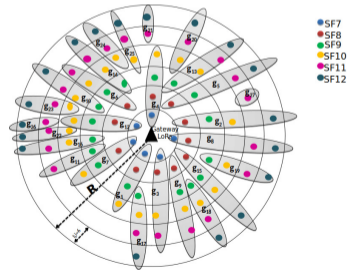


Figure 7: Regroupement des end-devices

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnancement: description

## Phase d'ordonnancement:

Permettre à chaque groupe d'end-devices d'effectuer des transmissions avec des SFs disjoints et dans un temps et un canal spécifique.

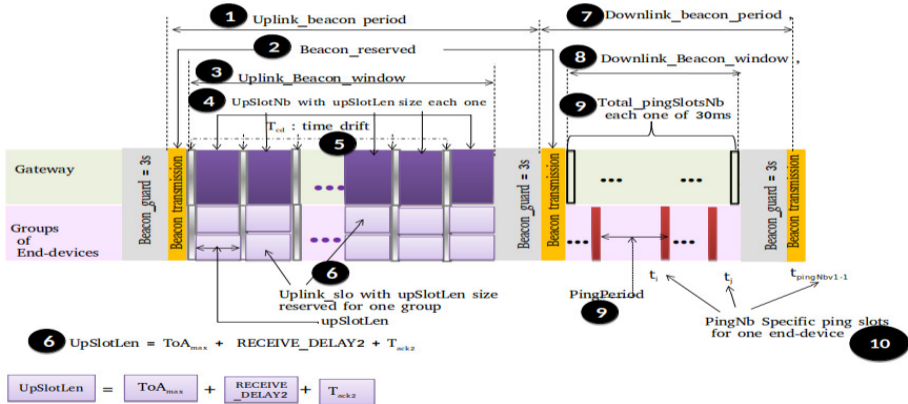


Figure 8: Structure temporelle de l'approche d'ordonnancement

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnement: description

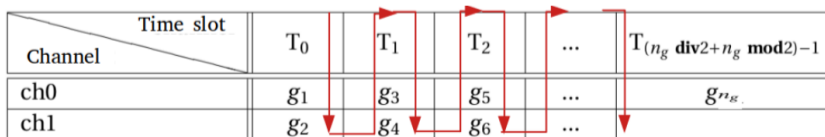
Pour un nombre de groupes  $n_g$  et 2 canaux:

- Le nombre total des slots temporels:

$$UpSlotNb = n_g \mathbf{div} 2 + n_g \mathbf{mod} 2. \quad (1)$$

- Allocation de la cellule  $(ch_p, T_k)$  par le groupe  $g_i$  pour les transmissions "uplink" où : 
$$\begin{cases} k = (i \mathbf{div} 2 + i \mathbf{mod} 2) - 1 \\ p = (i + 1) \mathbf{mod} 2 \end{cases} \text{ where } i = [1..UpSlotNb].$$

Channel \ Time slot	$T_0$	$T_1$	$T_2$	...	$T_{(n_g \mathbf{div} 2 + n_g \mathbf{mod} 2) - 1}$
ch0	$g_1$	$g_3$	$g_5$	...	$g_{n_g}$
ch1	$g_2$	$g_4$	$g_6$	...	



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



## Latence $L_{Scheduling}$ :

- $L$ : La durée entre le temps de délivrance d'un paquet de la couche applicatif et le temps de la réception d'un acquitement pour ce paquet.

① **Cas 1:**  $T_{app} \bmod T_{mac} = 0$ :  $\Rightarrow L_{Scheduling} = RECEIVE\_DELAY2$

② **Cas 2:**  $(T_{app} > T_{mac}) \ \& \ (T_{app} \bmod T_{mac} \neq 0)$

$$L_{Scheduling} = \frac{\sum_{p_{index}=1}^{n_{packets}} L_{p_{index}}}{n_{packets}}, \quad (2)$$

$n_{packets} = S_t \text{div} T_{app}$ : the number of all the packets delivered by the end-device during  $S_t$ .

## Consommation énergétique $E_{Scheduling}$ :

$$E_{scheduling} = n1 \times E_{bcUptx} + n2 \times E_{bcUpOff} + n3 \times E_{bcDown}. \quad (3)$$

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

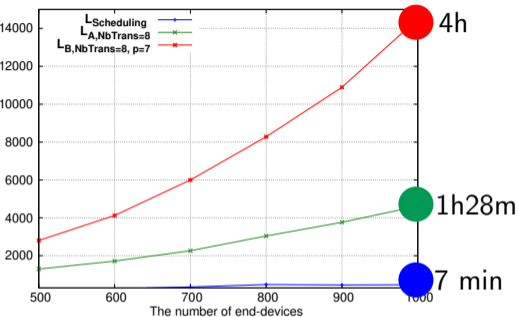


Figure 9: Mécanisme d'ordonnancement:  
Latence des communications

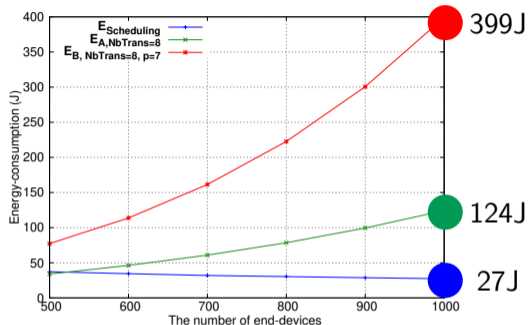


Figure 10: Mécanisme d'ordonnancement:  
Consommation énergétique

- Réduction de la latence jusqu'à 7 minutes.
- Une consommation énergétique relativement élevée mais minimisée par rapport à la classe A/B classique pour des transmissions fiables.

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnement: résultats d'évaluation

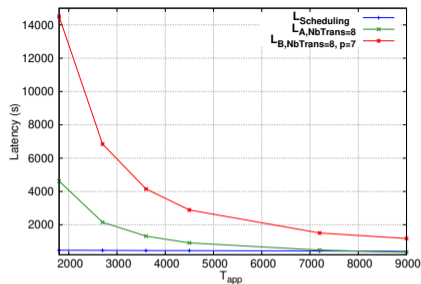


Figure 11: Mécanisme d'ordonnement: Latence des communications par  $T_{app}$

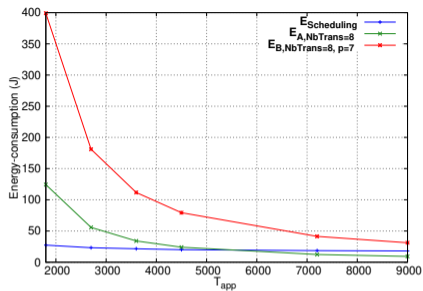


Figure 12: Mécanisme d'ordonnement: Consommation énergétique par  $T_{app}$

$(T_{app} \nearrow) \Rightarrow$  Latence + énergie consommée  $\searrow$

- $T_{app} \geq 1h30min \Rightarrow$  class A plus performante que le mécanisme d'ordonnement.
- Jusqu'à  $T_{app} = 2.5h$ : Un mécanisme d'ordonnement plus performant que la classe B.

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Nouvelle approche d'ordonnancement: observations

- Ordonnancement des slots temporels/canaux de transmissions sans modification majeure de la spécification LoRaWAN.
- Un mécanisme plus performant que la classe A pour des applications IoT avec une périodicité de trafic inférieur à 1h30 minutes.

1msg/10min



Traffic management

1msg/15min



Air pollution monitoring

1msg/30min



Wildlife tracking

$\geq 1\text{msg}/15\text{min}$



Smart agriculture

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



## Projet LoRaWAN

- agriculture



- différentes échelles.



- amélioration: Contention + ordonnancement

- fiable + efficace en énergie



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# ChallengeOne: Une plateforme IoT satellitaire

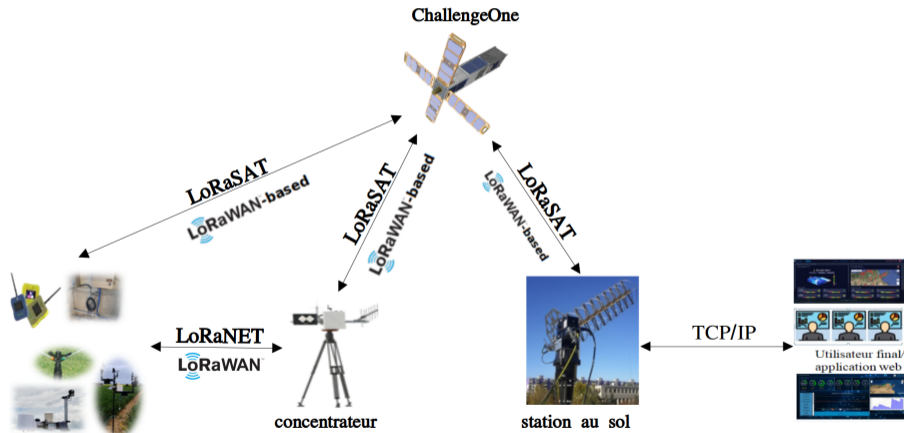


Figure 13: Architecture du réseau IoT par satellite déployé par TELNET

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

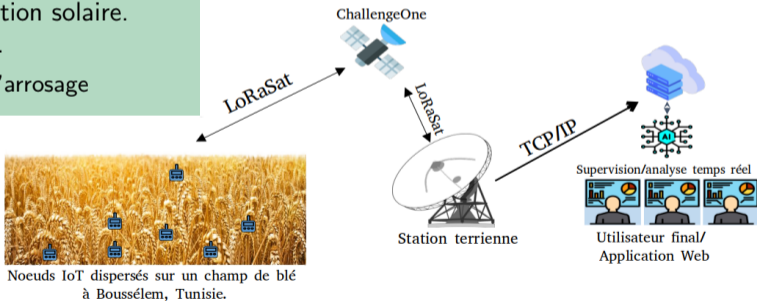
LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# ChallengeOne au service de l'agriculture

## Noeuds IoT, TELNET

- 1 Station météo:
  - a. humidité air/sol.
  - b. température.
  - c. vitesse/direction du vent.
  - d. radiation solaire.
  - e. pluie.
- 2 Noeud d'arrosage



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

Figure 14: L'agriculture intelligente par satellite à Boussélem, Tunisie: Architecture du réseau



# ChallengeOne au service de l'agriculture



Figure 15: L'agriculture intelligente par challengeOne: Application web

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion



Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

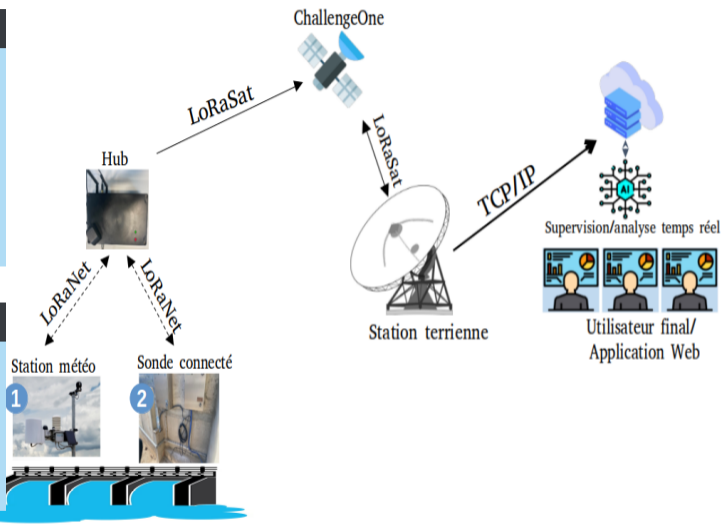
LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

# ChallengeOne au service de la supervision des barrages

- 1- Station météo
  - a. température
  - b. humidité
  - c. vitesse/direction du vent.
  - d. radiation solaire
  - e. pluie

- 2- Sonde connecté
  - a. niveau/qualité/ pureté de l'eau
  - b. température
  - c. conductivité / salinité



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Figure 16: Supervision des barrages: Architecture du réseau

Conclusion

# ChallengeOne au service de la supervision des barrages



Figure 17: ChallengeOne au service des barrages: Application web

Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

# Conclusion

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

## LoRaWAN et nos perspectives à TELNET

- Lancement des prochains satellites:
  - assurant des communications IoT à **grande échelle** considérant LoRaWAN.  
→ Apporter les améliorations nécessaires afin d'assurer des **communications fiables** et une **consommation énergétique efficace** ( Explorer le mode low power pour les end-devices).
  - considérant **l'observation de la terre** l'une des missions.
- Produire des end-devices LoRaWAN certifiés. 
- Travailler sur un projet de constellation satellitaire avec des communications pseudo temps réels.



Généralité sur la technologie LoRaWAN

Coût de la fiabilité des transmissions en LoRaWAN à grande échelle

Une nouvelle technique d'accès au canal pour LoRaWAN à grande échelle

LoRaWAN à grande échelle: Application à la plateforme IoT par satellite ChallengeOne

Conclusion

- [1] ulich, Adam, et al. "Cybersecurity and Sustainable Development." *Procedia Computer Science* 192 (2021) : 20-28
- [2] El Fehri, Chékra, Nouha Baccour, and Inès Kammoun. "The cost of reliable uplink communication in large scale LoRaWAN." *2022 IEEE/ACS 19th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. IEEE, 2022.
- [3] Hameed Khan, Furqan, Raja Jurdak, and Marius Portmann. "A Model for Reliable Uplink Transmissions in LoRaWAN." *arXiv e-prints* (2020): arXiv-2009.
- [4] Magrin, Davide, et al. "A Configurable Mathematical Model for Single-Gateway LoRaWAN Performance Analysis." *IEEE Transactions on Wireless Communications* (2021).

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion

- [5] Sørensen, René Brandborg, et al. "Analysis of latency and MAC-layer performance for class a LoRaWAN." *IEEE Wireless Communications Letters* 6.5 (2017): 566-569.
- [6] Delobel, François, Nancy El Rachkidy, and Alexandre Guitton. "Analysis of the delay of confirmed downlink frames in class B of LoRaWAN." *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2017.
- [7] Pötsch, Albert, and Florian Hammer. "Towards end-to-end latency of LoRaWAN: Experimental analysis and IIoT applicability." *2019 15th IEEE international workshop on factory communication systems (WFCS)*. IEEE, 2019.
- [8] El Fehri, Chékra, Nouha Baccour, and Inès Kammoun. "A New Schedule-Based Scheme for Uplink Communications in LoRaWAN." *IEEE Open Journal of the Communications Society* (2023).

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion



**Merci de votre attention**

Généralité sur  
la technologie  
LoRaWAN

Coût de la  
fiabilité des  
transmissions  
en LoRaWAN  
à grande  
échelle

Une nouvelle  
technique  
d'accès au  
canal pour  
LoRaWAN à  
grande échelle

LoRaWAN à  
grande échelle:  
Application à  
la plateforme  
IoT par  
satellite  
ChallengeOne

Conclusion