

*Inria*

# Contribution à la conception d'un réseau de capteurs sans fils enfouis sous la terre pour l'agriculture de précision

**Damien WOHWE SAMBO**  
**(FUN Team – Inria Lille)**

[https://wsdamieno.github.io/Site\\_perso/#home](https://wsdamieno.github.io/Site_perso/#home)

Equipe d'encadrement:

Prof. Anna FÖRSTER, Université de Brême, Allemagne

Prof. Blaise Omer YENKE, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Prof. Paul DAYANG, Université of Ngaoundéré, Cameroun

**Journée LPWAN 2022, du 7 au 8 Juillet à Toulouse**

# Sommaire

01. Introduction
02. Modèles d'atténuation des ondes radio
03. Propositions et évaluations
04. Modèle léger pour les communications fiables
05. Conclusion

# 01

## Introduction

# Agriculture $\Leftrightarrow$ Moyen de subsistance

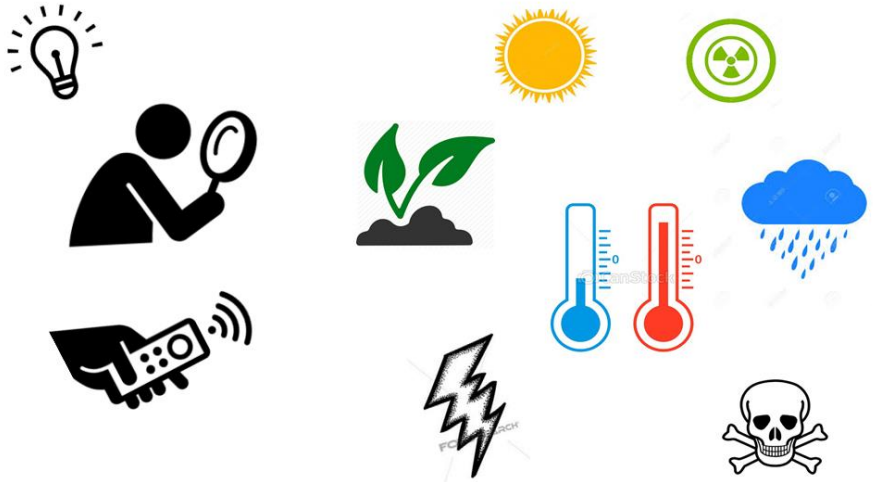
- Agriculture comme
  - Source d'appro. alimentaire;
  - Indice de développement d'un pays
- Faible production  $\Rightarrow$  Pénuries locale de denrées;
- L'Afrique a dépensé **\$64.5 Milliards** dans l'importation alimentaire (AfDB, 2017);
- Augmentation jusqu'à **\$110 Milliards** en 2025;



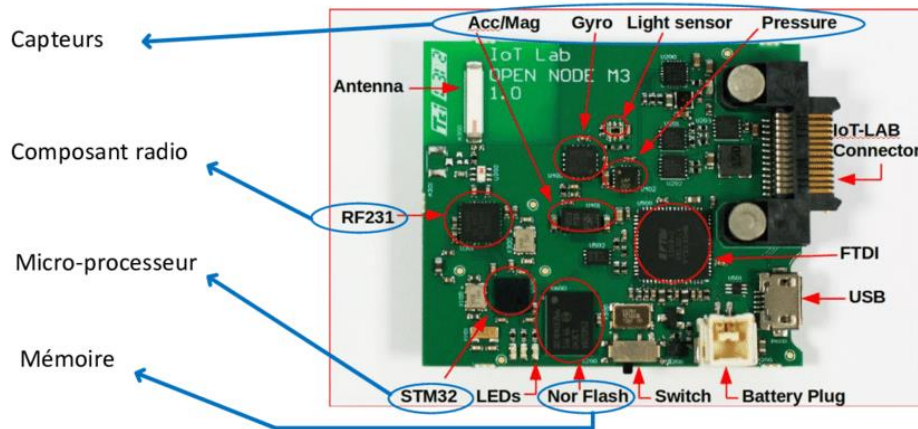
*PAMACC<sup>1</sup> : “La production agricole en Afrique va exploser si les technologies sont mises à la disposition des producteurs”*

<sup>1</sup> Pan African Media Alliance for Climate Change (PAMACC) est une association de journalistes africains qui font des reportages sur le changement climatique, l'environnement, le développement durable et les sujets connexes

# Les réseaux de capteurs



- Besoin d'observer et contrôler:
  - **Température;**
  - **Humidité**
  - **Etc.**
- Évolution de la Micro-électronique;
- → Apparition des capteurs;
- Ressources limitées;
- Interconnexion : WSN
- Plusieurs applications.



# Plusieurs domaines d'application

Appli.



Type de WSN



Militaire



Tracking de bateaux/sous marins



Surveillance de catastrophes



Industrie



Mines



Detection d'animaux aquatiques



Tracking de mines aquatiques



Maison intelligente



WSN



Santé



Forage



Véhicule intelligent



Surveillance des aires de sport



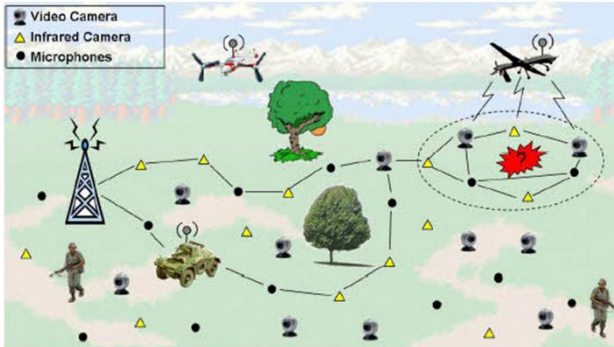
Agriculture de précision



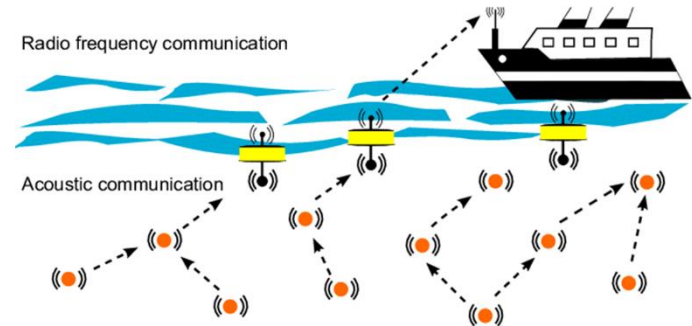
Immeuble intelligent

# 3 principaux types : TWSN, UWSN et WUSN

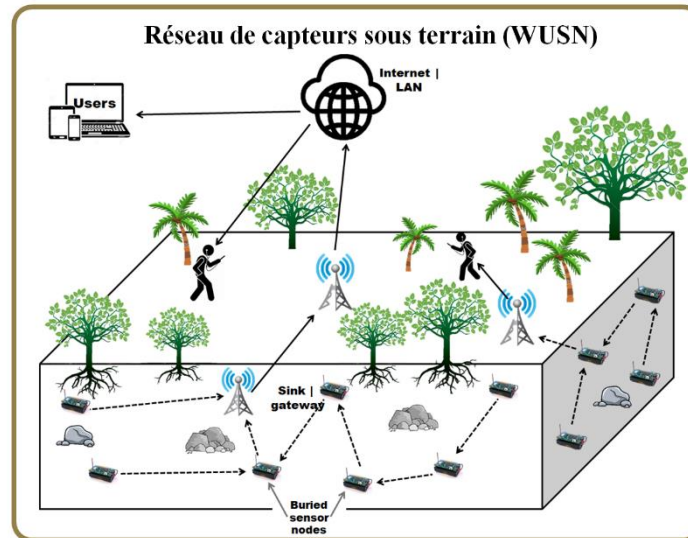
Réseau de capteurs terrestre (TWSN)



Réseau de capteurs sous marins (UWSN)



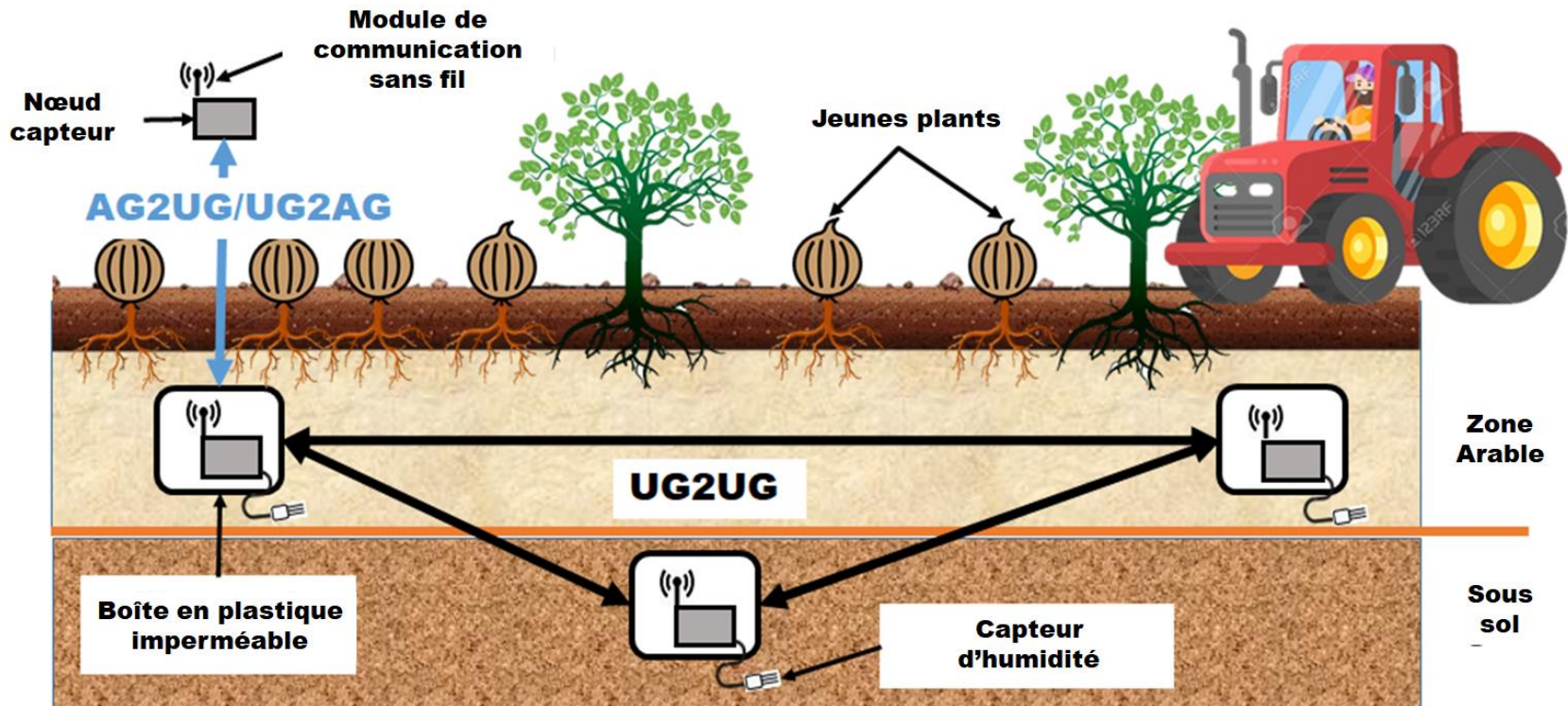
Réseau de capteurs sous terrain (WUSN)



- Agriculture de précision;
- Surveillance souterraine;
- Surveillance de réservoirs de gaz et de pétroles;
- Détection d'intrusions;
- Etc.



# Un WUSN en agriculture de précision ...

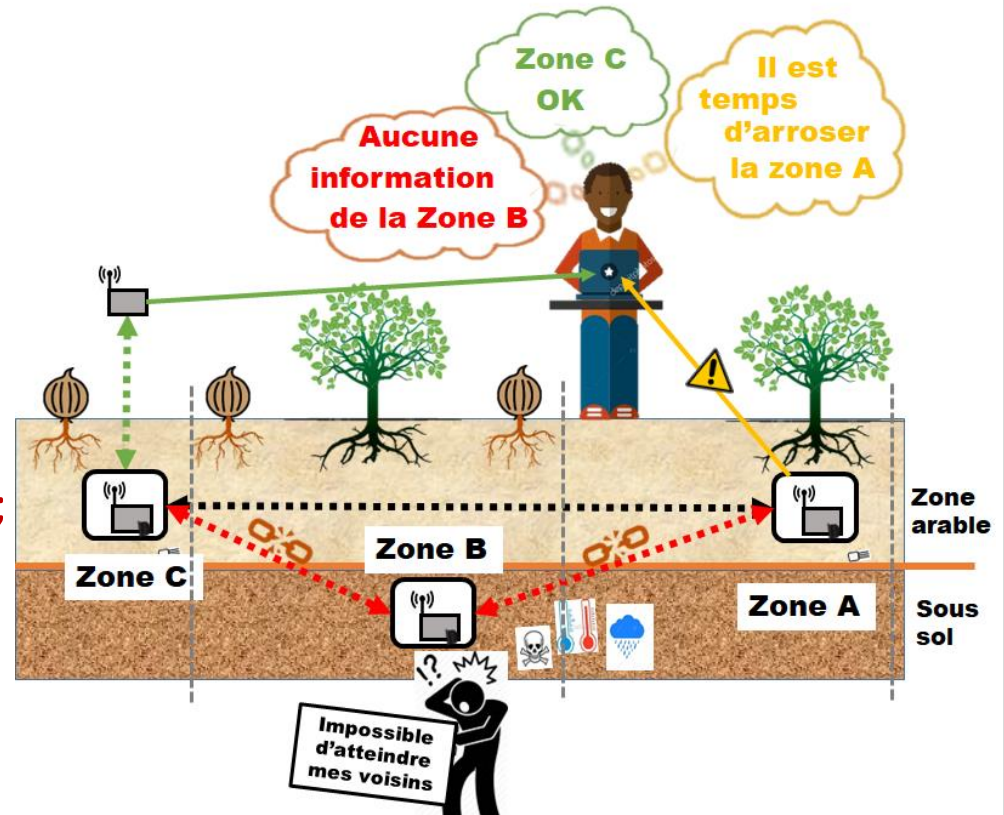


- 03 types de communications possibles : UG2UG, UG2AG et AG2UG;
- Deux régions du sol : Zone arable ( $\leq 30\text{cm}$ ) et sous sol ( $> 30\text{cm}$ ).



# Challenges des WUSNs en agriculture

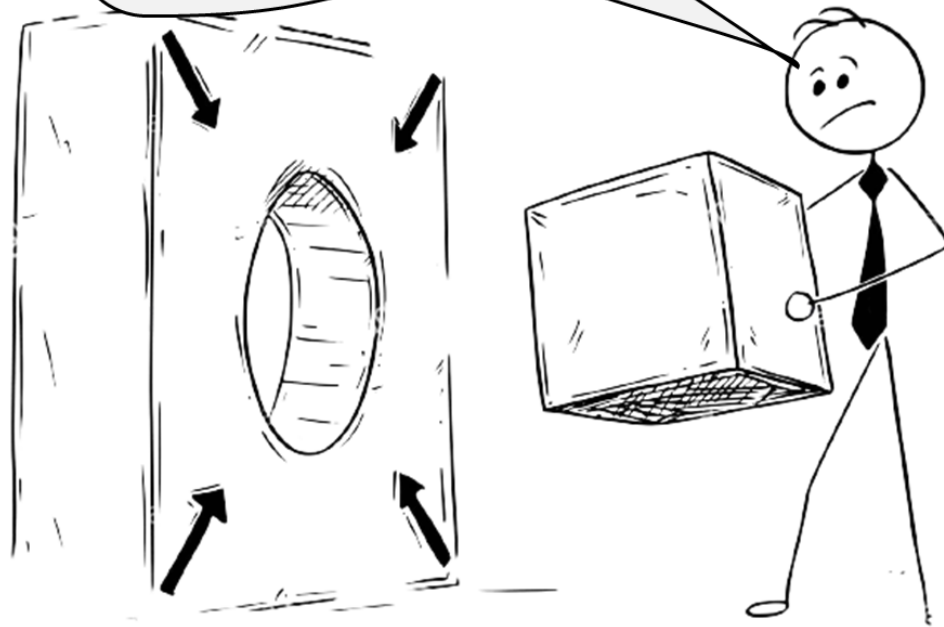
- Support de communication : **SOL**;
- Atténuation des communications sans fils
- Changement des propriétés du sol  $\Rightarrow$  qualité des liens;
- Présence de l'eau  $\Rightarrow$  réflexion, réfraction, ... des ondes radio;
- e.g. Système d'arrosage intelligent ;



- Gaspillage d'énergie lors d'envoi de données non reçues

# Problème très problématique !

Comment Permettre Une Communication Sans Fil Fiable  
En Tenant Compte Des Ressources Limitées Des  
Nœuds De Capteurs Afin De Réduire Le Gaspillage  
D'énergie Pour Une Application En Agriculture De  
Précision ?



# Et si ... ?

**Et si chaque nœud  
était capable de prédire  
en temps réel si les données  
collectées seront reçues  
ou perdues avant qu'elles  
ne soient envoyées ?**



# Ce que nous souhaitons faire !

## ▪ Objectif principal :

Maintenir la topologie d'un WUSN en réduisant les consommations énergétiques lors des transmissions afin d'accroître la durée de vie du réseau

## ▪ Objectifs spécifiques

Proposition d'un modèle de prédiction des atténuations d'ondes radios dans les WUSNs

1

Proposition d'un modèle de prédiction de perte de signaux dans une application en agriculture de précision

2

Proposition d'une solution légère pour éviter la perte de données en tenant compte des ressources des capteurs

3

*Inria*

# 02

## Modèles d'atténuation d'ondes radio

# A quoi servent-ils ?

- Analysent l'atténuation des ondes radios dans le sol;
- Se basent sur le modèle d'atténuation terrestre : FRIIS;
- Considèrent les propriétés diélectriques du sol (Constante Diélectrique Complexe **CDC**);
- Certains phénomènes optiques;
- Plusieurs approches existantes.





# Quelques modèles en bref !

- **Contribution;**
- **Prédiction de la CDC**
- **Limites**

Tableau 1: Comparaison des modèles d'atténuation dans le sol

Modified Friis (Li et al. 2007)	CRIM-Fresnel (Bogena et al. 2009)	NC-Modified Friis (Chaamwe et al. 2009)	TDR-Modified Friis (Sadeghioon et al. 2017)
Basé sur le modèle d'atténuation en milieu libre (Friis);	Considère l'effet de réflexion dans le sol;	Ajout des effets de réflexion et réfraction au Modified Friis	Évaluation en temps réel de la CDC (plus précis);
Evaluation du CDC par Peplinski;	Evaluation du CDC par l'approche CRIM	Evaluation du CDC par Peplinski;	Utilisation du réflectomètre temporel (TDR)
Requiert des analyses en laboratoire	Requiert des analyses en laboratoire	Requiert des analyses en laboratoire	Coût élevé du TDR
Plusiers entrées (7)	Plusieurs entrées (7)	Plusieurs entrées (7)	

- **Importance de la prédiction de la valeur de CDC**

# Amélioration de la prédiction du CDC

- **Mineralogy-Based Soil Dielectric Model (V. Mironov et al. 2009);**
  - Prediction plus fiable du CDC (plus de paramètres influenceurs);
  - Basé sur un large ensemble de sol;

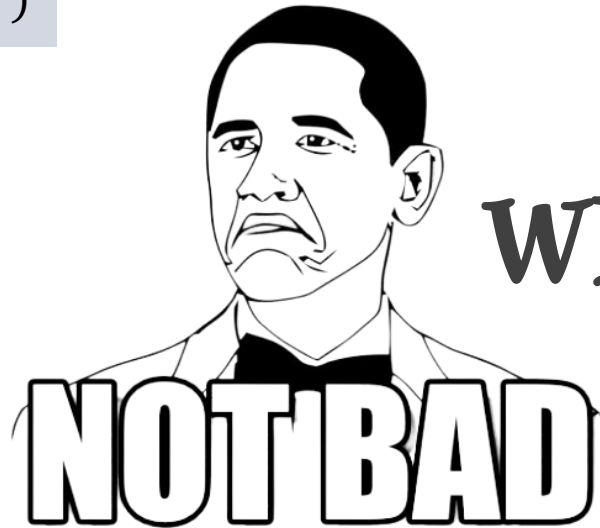
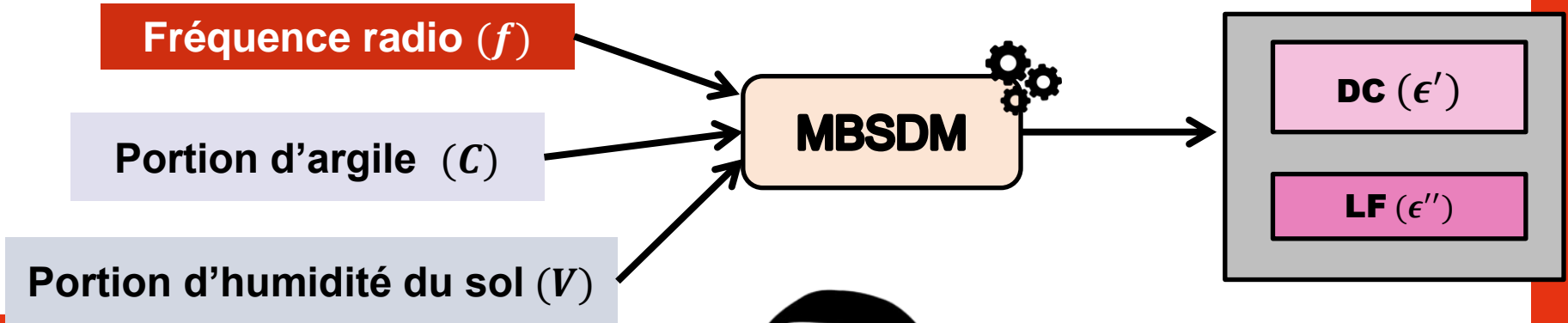
$$\epsilon' = n_m^2 - k_m^2; \quad \epsilon'' = 2n_mk_m \quad (1)$$

$$n_m = \begin{cases} n_d + (n_b - 1)m_v; & m_v \leq m_{vt} \\ n_d + (n_b - 1)m_v + (n_f - 1)(m_v - m_{vt}); & m_v > m_{vt} \end{cases} \quad (2)$$

$$k_m = \begin{cases} k_d + k_b m_v; & m_v \leq m_{vt} \\ k_d + k_b m_{vt} + k_f(m_v - m_{vt}); & m_v > m_{vt} \end{cases} \quad (3)$$

- $n_{d,b,f}(C, m_v, f)$ ,  $k_{d,b,f}(C, m_v, f)$  et  $m_v(C)$  sont obtenus empiriquement.

# Fonctionnement simplifié de MBSDM



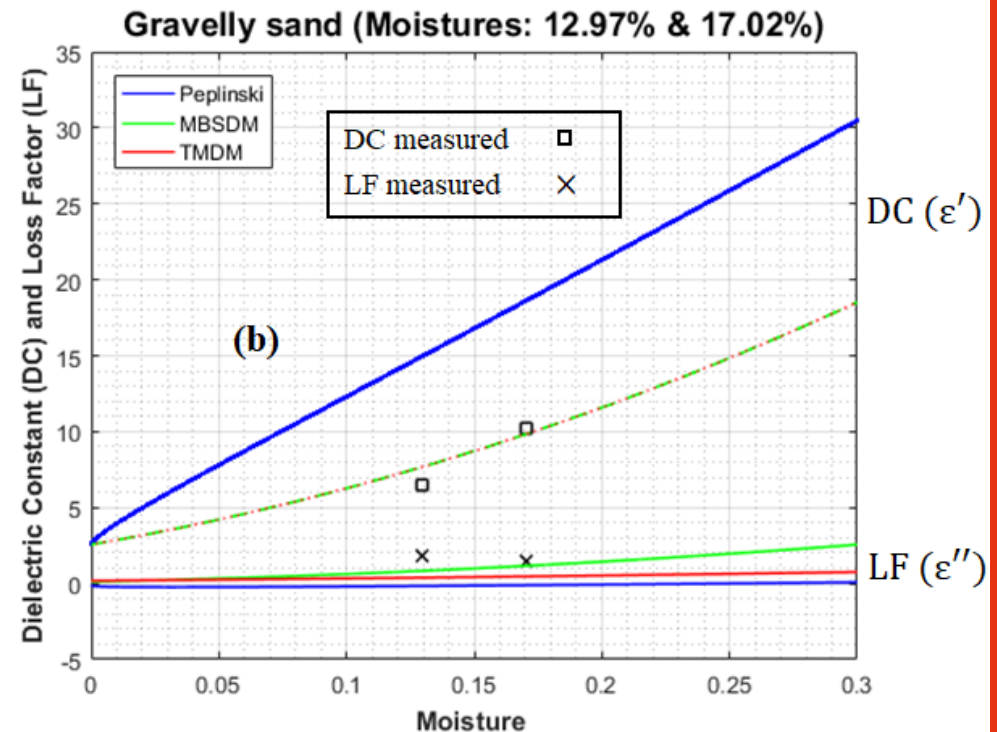
Why not ?

# 03

## Propositions et évaluations

# Validation expérimentale du MBSDM (1)

- Comparé au TDR-Modified Friis;
- MBSMD est plus proche des mesures réelles du TDRs;
- **Les autres modèles sont plus mauvais;**



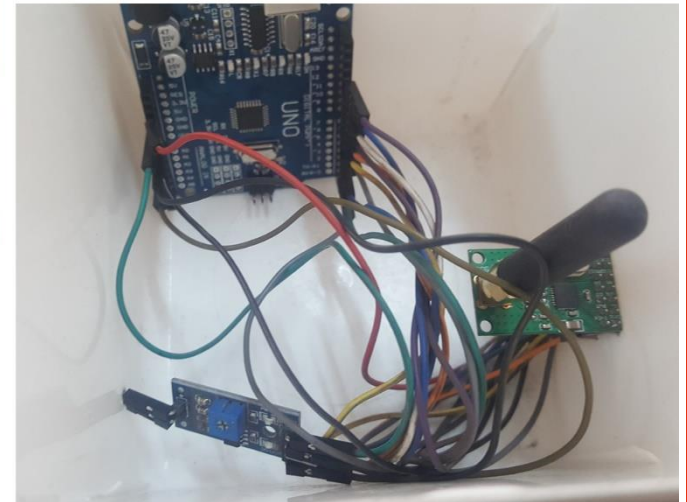
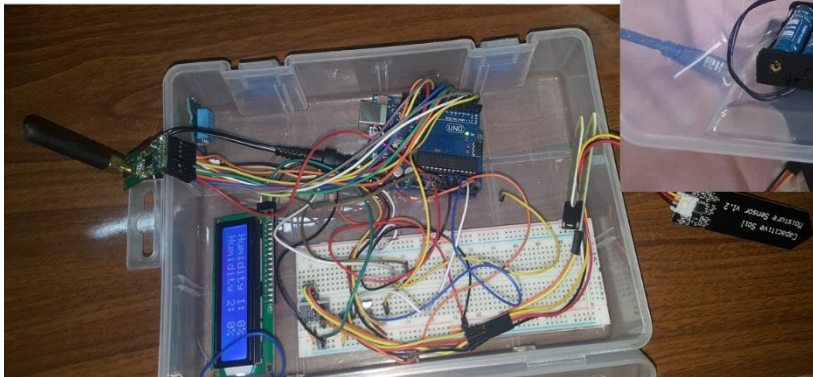
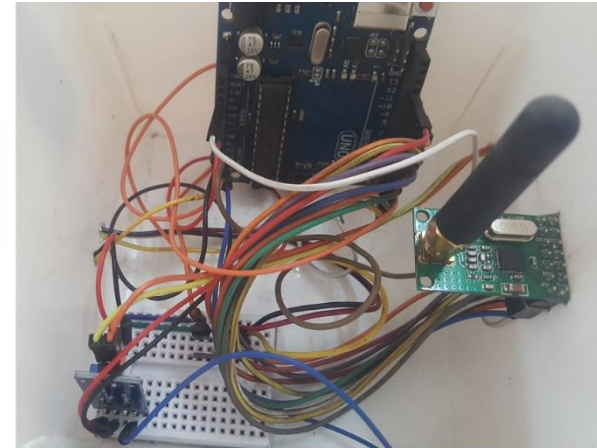
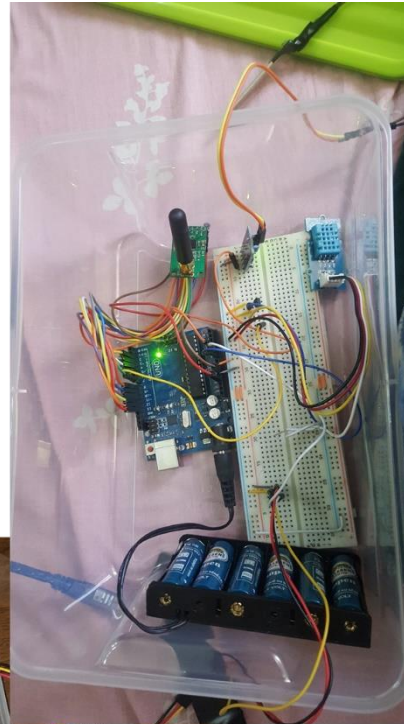
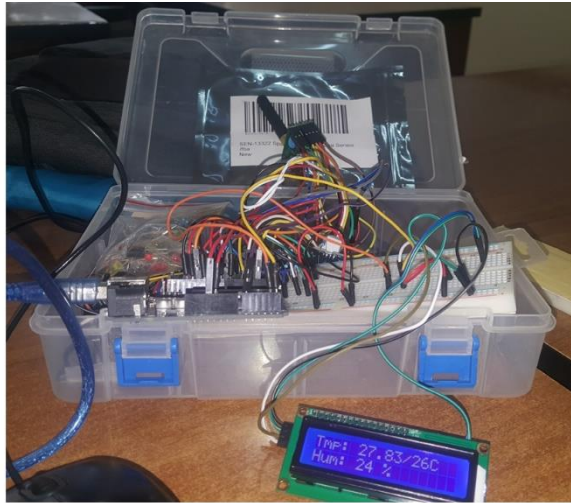
Comparaison de la prédiction du CDC du MBSDM

# Validation expérimentale du MBSDM (2)



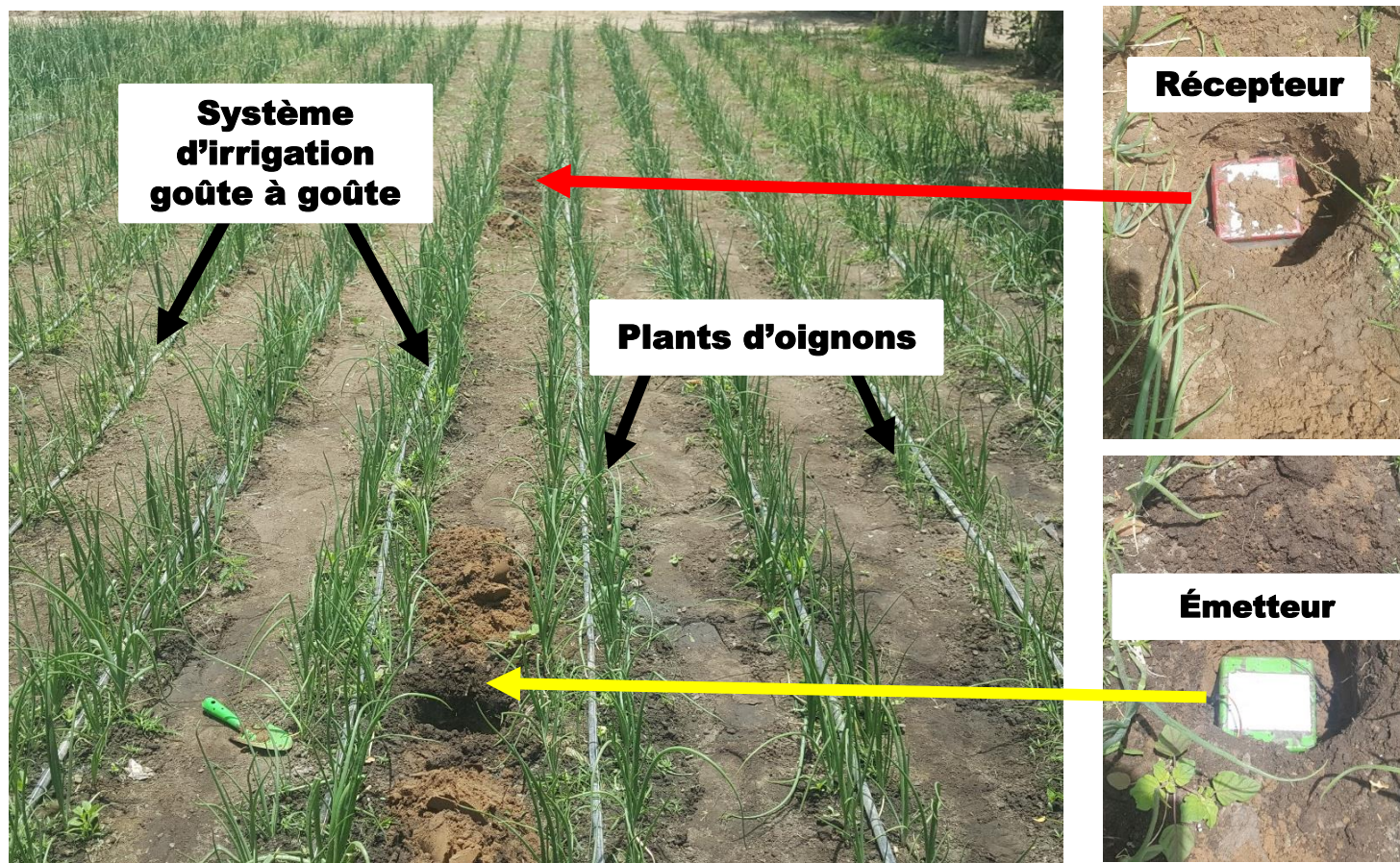


# Validation expérimentale du MBSDM (3)





# Setup expérimental



**Fig.** Champ expérimental d'oignons au jardin botanique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar

# Résultats obtenus (20% d'humidité moyenne)

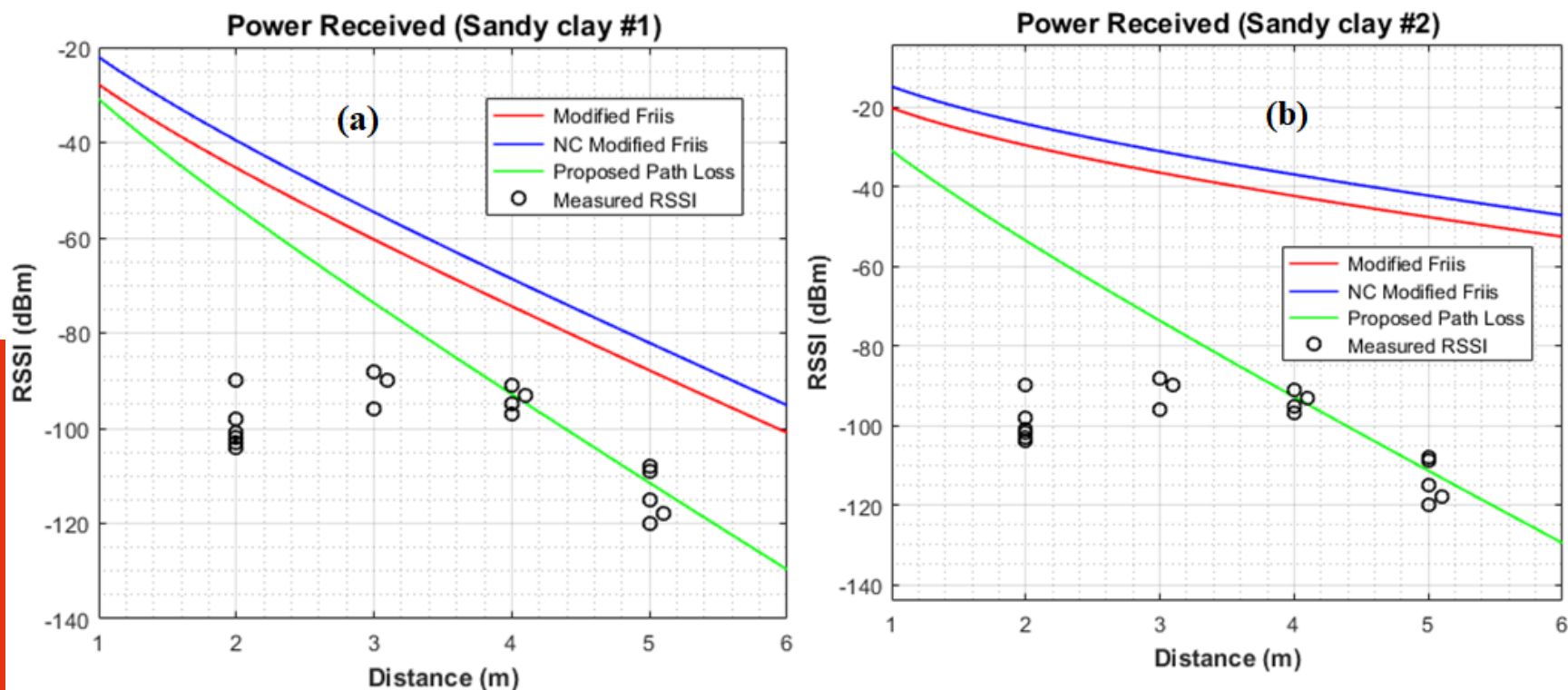
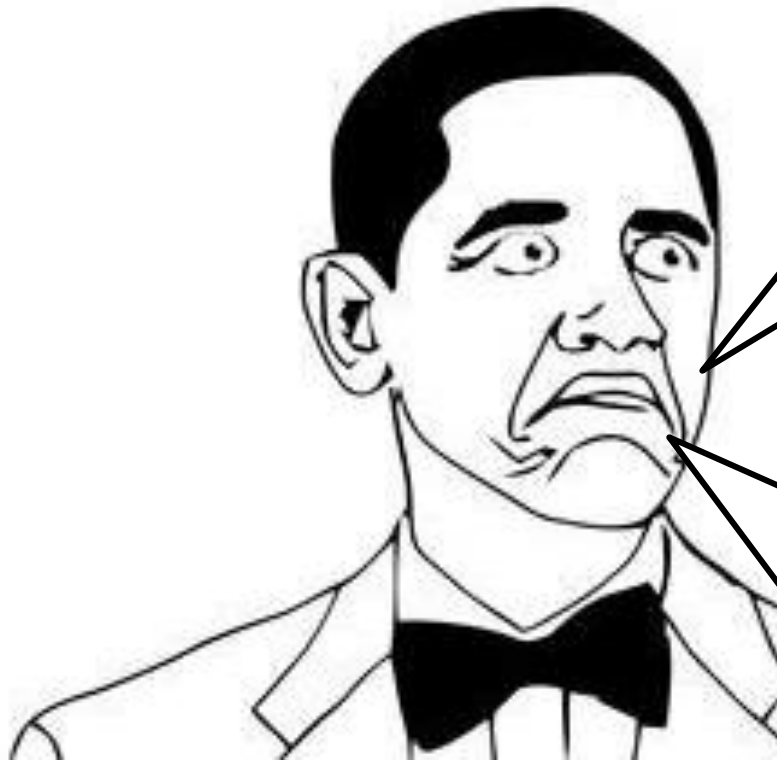


Fig. Evaluation de la perte de signal avec un taux d'humidité de 20% en moyenne

# Est-ce suffisant pour l'agriculture ?

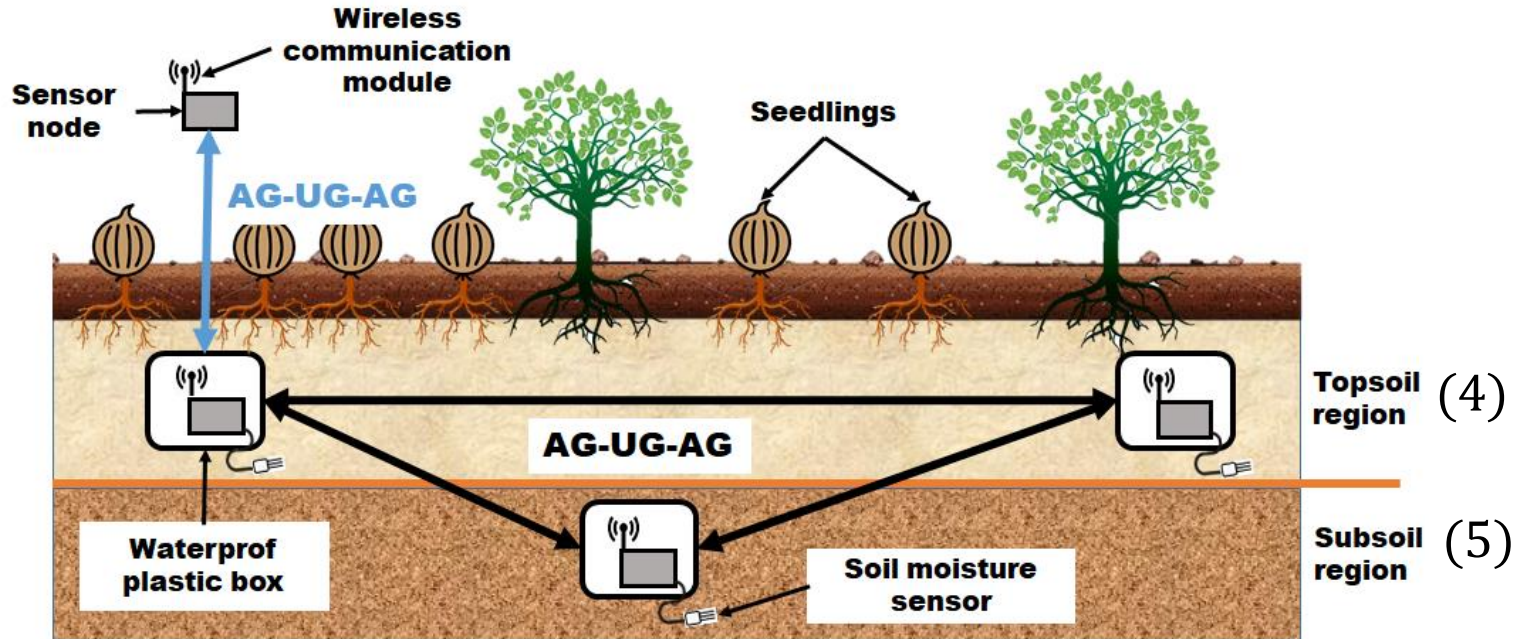


**OK!  
Mais pouvons-nous  
utiliser ça en agriculture?**

**Qu'en est-il des comm.  
UG2AG/AG2UG?  
La profondeur des  
noeuds importe peu?**



# Un modèle adapté à l'agriculture!

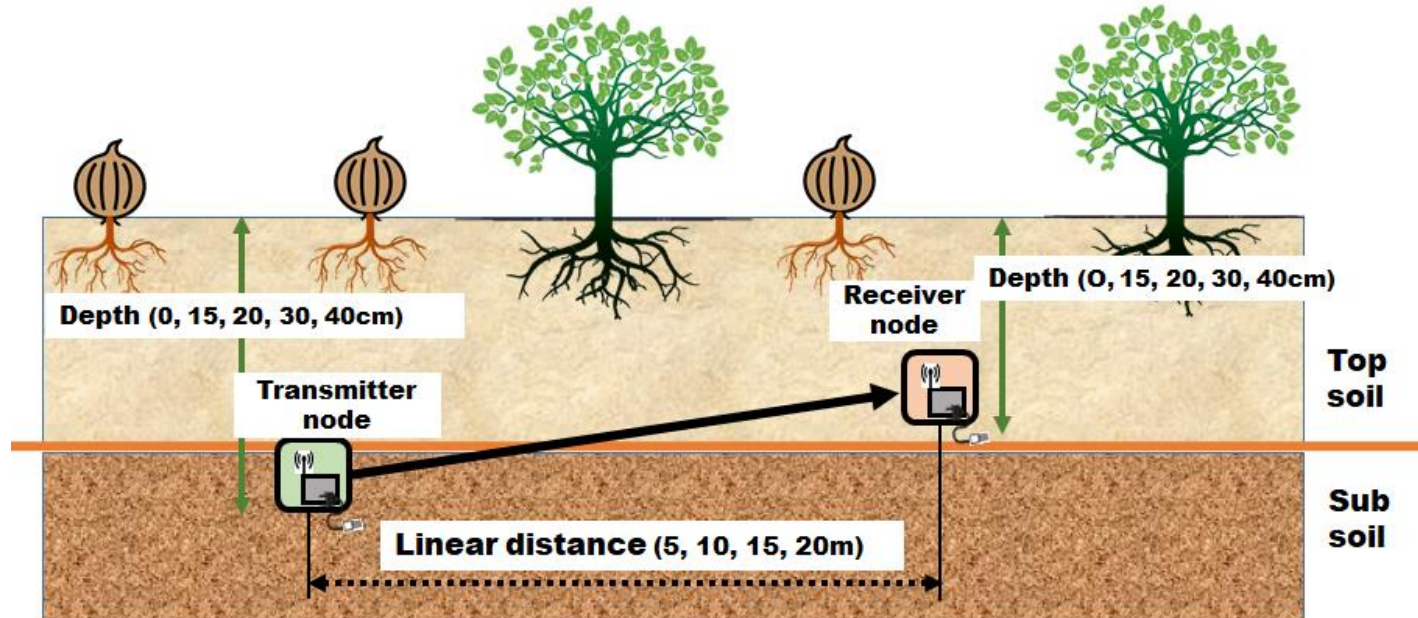


- UG2UG, UG2AG et AG2UG  $\Rightarrow$  AG2UG2AG;

$$W_{\#1} = -288.8 + 20 \log \left( d_1 \cdot d_2 \cdot d_{ug} \cdot \beta \cdot f^2 \cdot \sqrt{\frac{2R}{1+R}} \right) + 8.68\alpha d_{ug} \quad (4)$$

$$W_{\#2} = -288.8 + 20 \log(d_1 \cdot d_2 \cdot d_{ug} \cdot \beta \cdot f^2) + 8.68\alpha d_{ug} \quad (5)$$

# Collecte de données



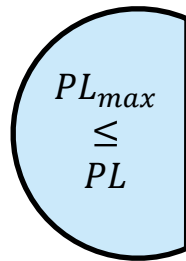
- 2 configurations du sol: sec (#A) et humide (#B);
- 2 types d'émetteur/récepteur : Sx1278 et nRF905 (fréquence = 433MHz)
- 140 mesures exploitables (80 dans #A et 60 dans #B);



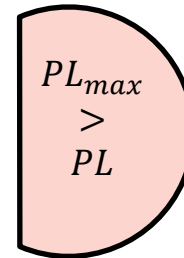
# Suppositions et résultats

- Atténuation maximale tolérable est  $PL_{max}$
- $Pr_{min}(dBm) = Sensibility\_sensor \Rightarrow PL_{max} = 114dB;$

- 2 classes:



Classe positive (réception)



Classe négative (non réception)

Tableau 3: Matrice de confusion dans #A et #B

		Obsrv	
		Rcv.	Not Rcv.
Pred.	Rcv.	88 TP	5 FP
	Not Rcv.	8 FN	19 TN

Tableau 4: évaluation des performances

PRE	ACC	SEN	SEL	bACC	MCC	AUC
87,13 %	85 %	0.92	0.70	81.06 %	0.64	0.92

# Validation de WUSN-PLM

- Métrique graphique ROC indépendante de  $PL_{max}$  ;
- Valeur calculée de l'AUC = 0.92



Notre solution a 92% de chance de prédire la réception ou la perte d'une donnée

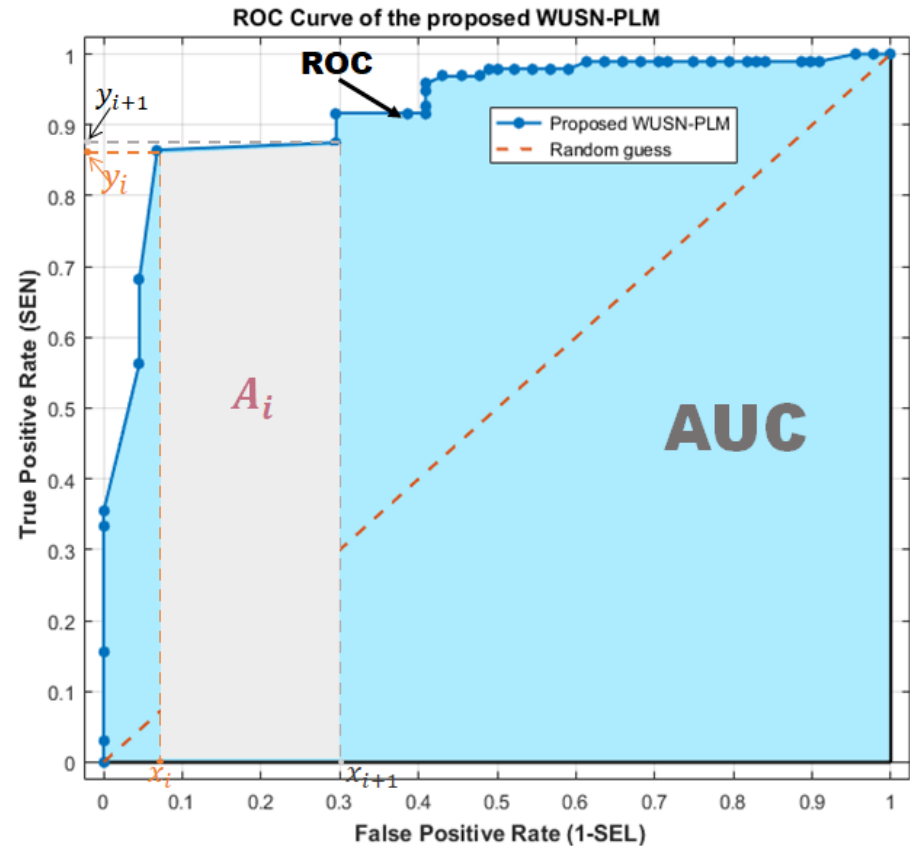


Fig. Courbe ROC et AUC

Intéressant, mais ...!

**Bien joué !!!!**

**Impressionnant**

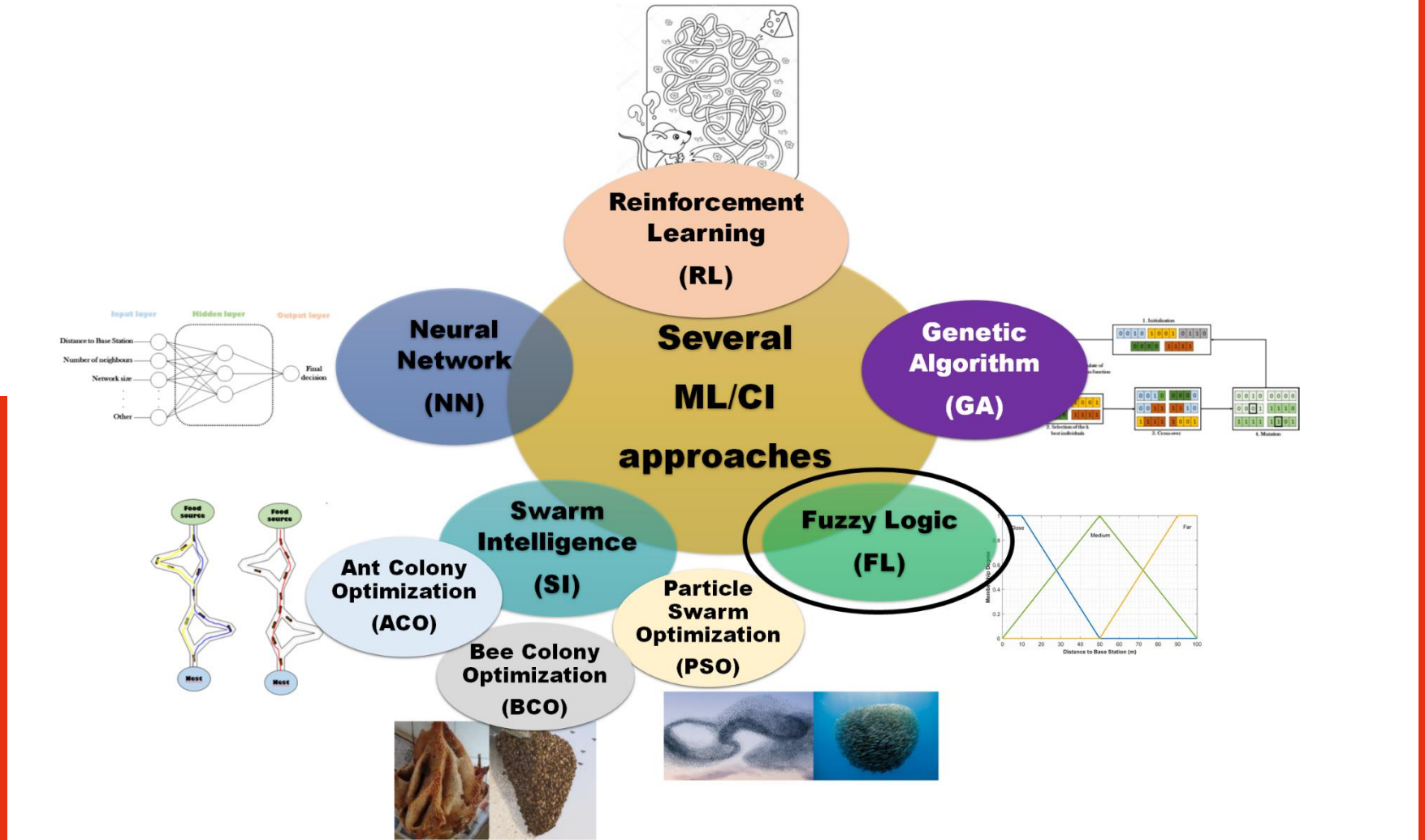
**Toutefois, il paraît que  
les capteurs n'ont pas  
assez de ressources de  
calcul !!!**



# 04

Modèle léger pour  
communication fiable

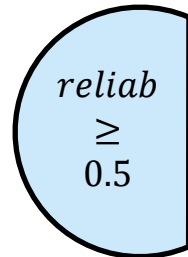
# Comment prédire sans trop de calculs ?



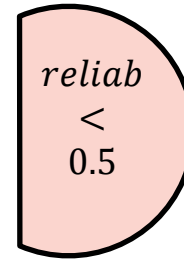
# Evaluation et validation

- Comparer à WUSN-PLM;

- 2 classes:



Classe positive (réception)



Classe négative (non réception)

Tableau 5: Comparaison des matrices de confusion

		Obsrv			
		WUSN-PLM		Approche floue	
		Rcv.	Not Rcv.	Rcv.	Not Rcv.
Pred.	Rcv.	88 TP	5 FP	93 TP	9 FP
	Not Rcv.	8 FN	19 TN	3 FN	35 TN

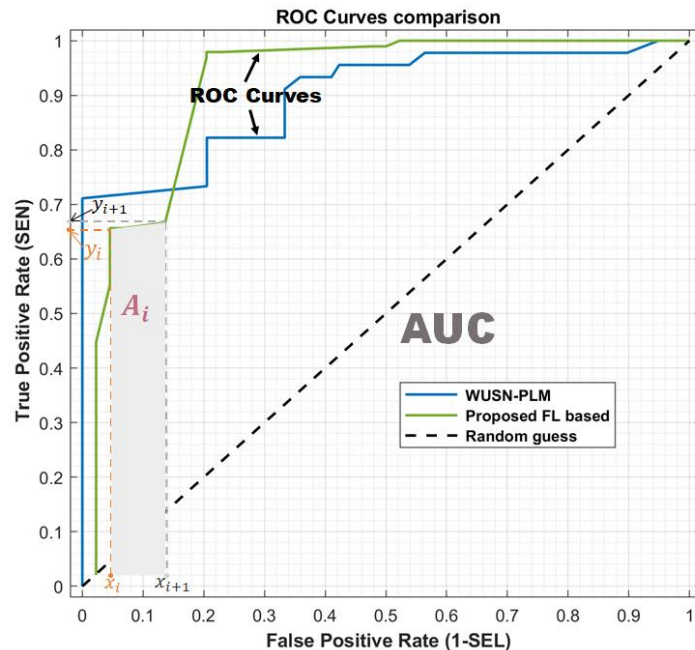
ACC = 91.429%

# Evaluation et validation (2)

- Evaluation des performances : **PRE, ACC, SEN, SEL, bACC, MCC & AUC;**

Tableau 6: évaluation des performances

	PRE	ACC	SEN	SEL	bACC	MCC	AUC
WUSN-PLM	87,129 %	85 %	0.917	0.705	81.061 %	0.643	0.92
Approche floue	91.176 %	91.429 %	0.969	0.795	88.21	0.798	0.92

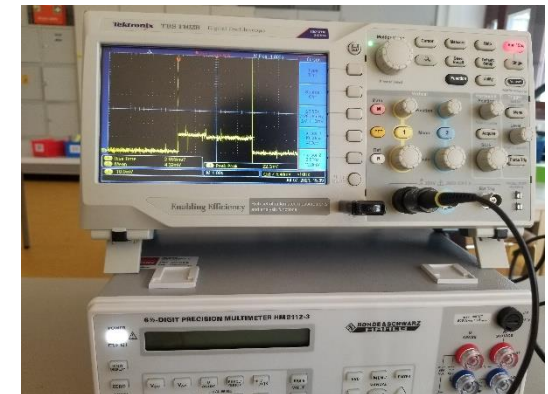
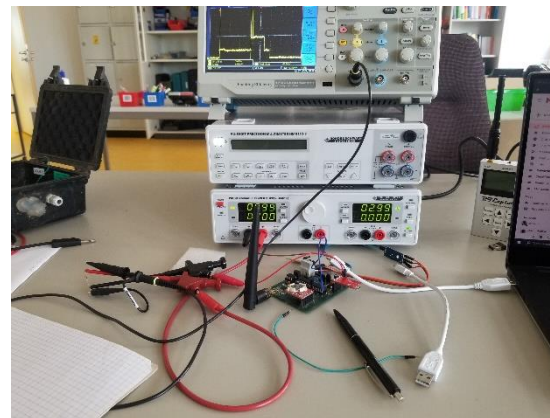
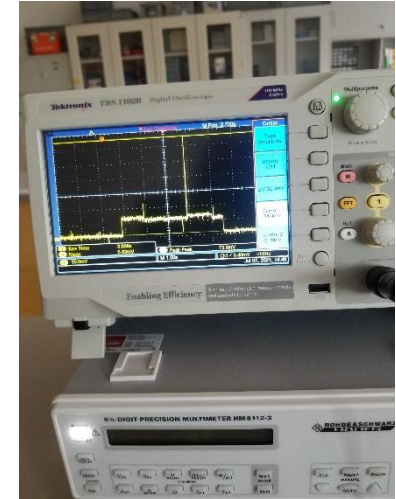
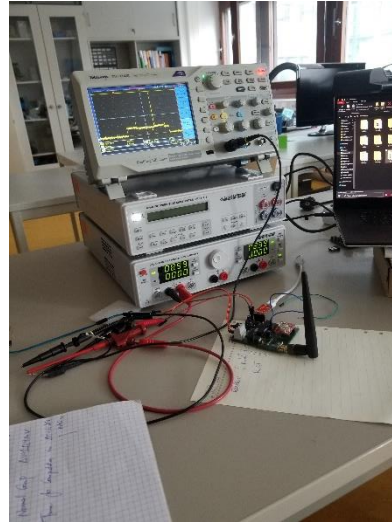
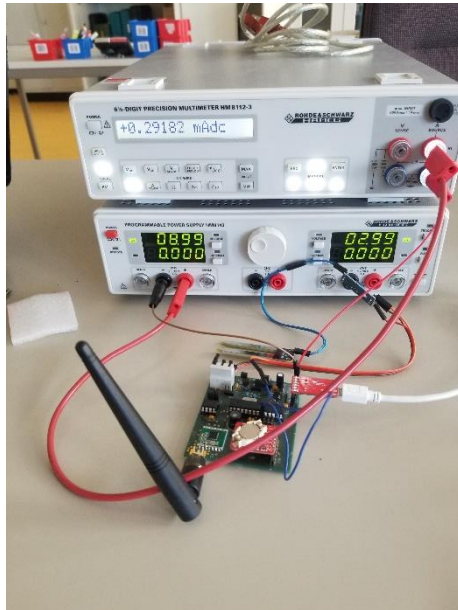


- $MCC = 0.798 \rightarrow$  forte corrélation en la prédiction et l'observation;
- Comparaison des courbes ROC;
- $AUC = 0.92 \Leftrightarrow$  92% de faire la différence entre réception et perte.

[3]. D. Wohwe Sambo, B. O. Yenke, A. Förster, J. Ndong, P. Dayang and I. Sarr, "A New Fuzzy Logic Approach for Reliable Communications in Wireless Underground Sensor Networks", Wireless Networks, 2022. (Accepted DOI: 10.1007/s11276-022-03008-7).




# Intégration et mesure d'énergie





05

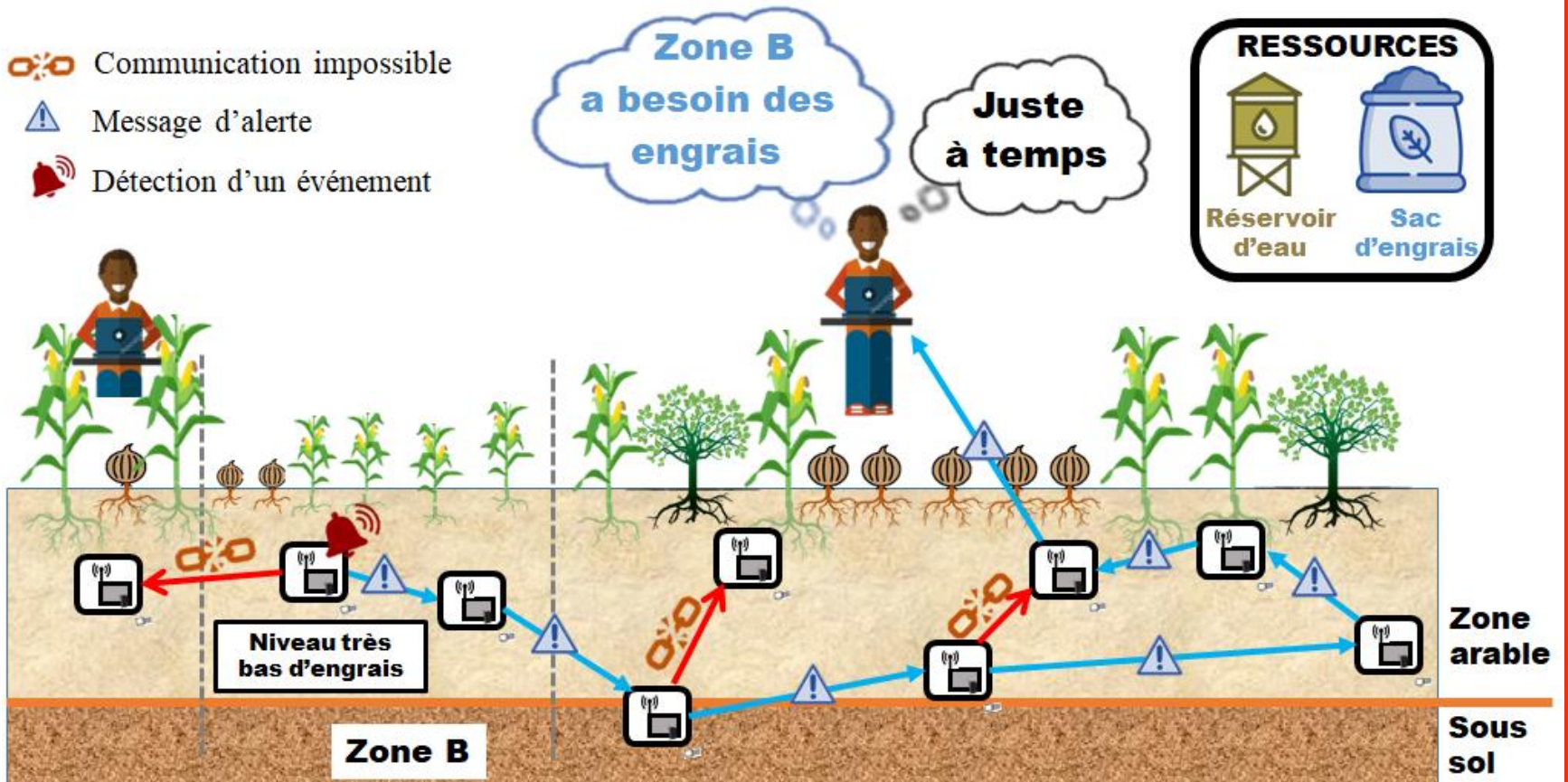
Conclusion

# En bref!

 Communication impossible

 Message d'alerte

 Détection d'un événement



## ■ Journaux:

- [D. Wohwe Sambo](#), B. O. Yenke, A. Förster, J. Ndong, P. Dayang and I. Sarr, "A New Fuzzy Logic Approach for Reliable Communications in Wireless Underground Sensor Networks", **Wireless Networks**, 2022. (Accepted DOI: 10.1007/s11276-022-03008-7).
- [D. Wohwe Sambo](#), A. Förster, B. O. Yenke, I. Sarr, B. Gueye and P. Dayang "Wireless Underground Sensor Networks Path Loss Model for Precision Agriculture (WUSN-PLM)", **IEEE Sensors Journal**, vol. 20, no. 10, pp. 5298-5313, 2020.
- [D. Wohwe Sambo](#), B. O. Yenke, A. Förster and P. Dayang, "Optimized clustering algorithms for large wireless sensor networks: a review", **MDPI Sensors**, vol. 19, no. 2, pp. 1-27, 2019.

## ■ Conférence Internationale:

- [D. Wohwe Sambo](#), A. Förster, B. O. Yenke, and I. Sarr, "A new approach for path loss prediction in wireless underground sensor networks", in **44th IEEE LCN Symposium 2019**, Osnabrück, Germany, 14th - 17th October 2019.

## ■ Conférence Nationale et workshop:

- [D. Wohwe Sambo](#), and B. O. Yenke, "Using Fuzzy Logic in a Wireless Underground Sensor Network for Precision Agriculture", in **2019 IEEE 1st Inter. Conf. on Local Res.Expl.(LOREXP 2021)**, Ngaoundéré, Cameroon, 20th - 23th April 2021.
- [D. Wohwe Sambo](#), B. O. Yenke, and I. Sarr, "Precision Agriculture of Onions and Garlics through a large Wireless Underground Sensor Network", in **9th CNRIA 2019, St. Louis**, Senegal, 24th - 28th April 2019 (Poster).

## ■ Autre:

- P. Dayang, C. Sepele Petsou and [D. Wohwe Sambo](#), "Combining Fuzzy Logic and K-Nearrest Neighbor Algorithm for Recommendation Systems", **International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)**, vol. 13, no. 4, pp. 1 –16,

Merci !

Suivez-nous sur [www.inria.fr](http://www.inria.fr)

*Inria*