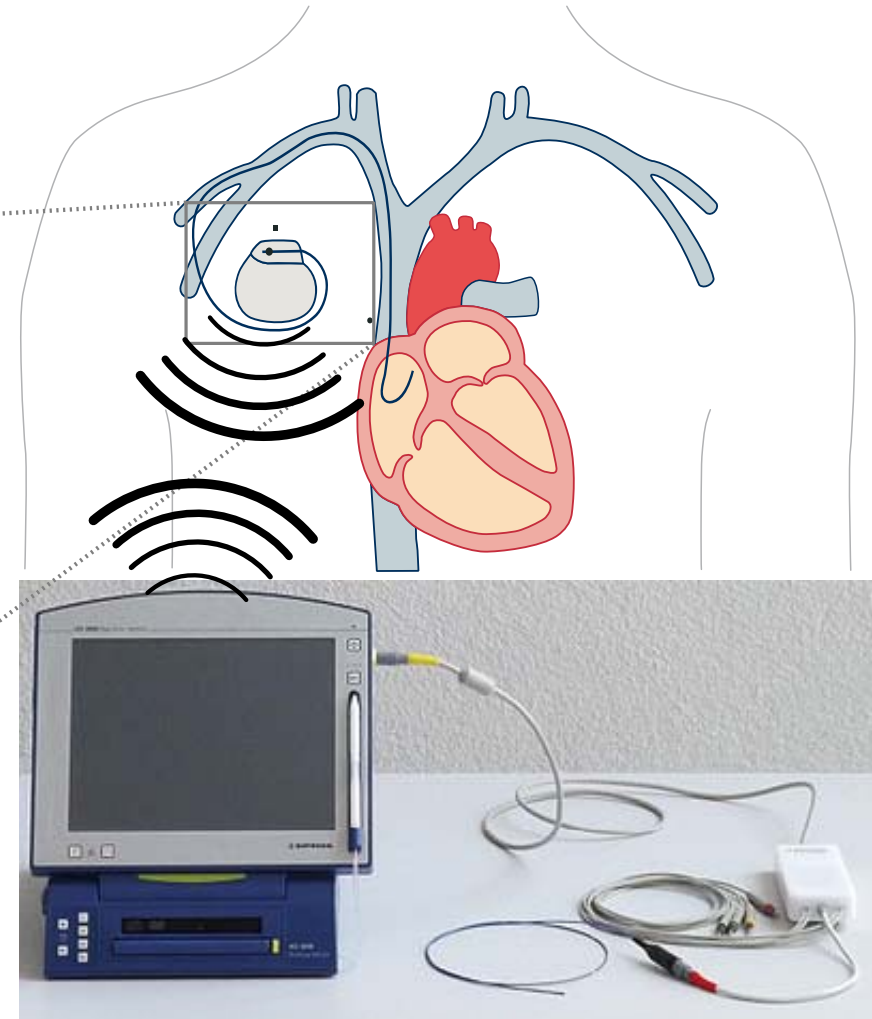
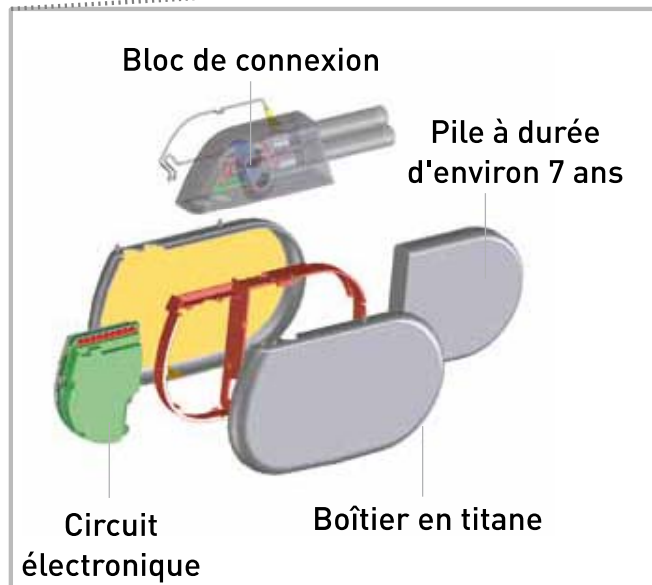


# Communiquer de façon optimale avec un stimulateur cardiaque



••••• Dispositif Médical Implantable (IMD)

••••• Programmeur

# Communiquer de façon optimale avec un stimulateur cardiaque

Cahier des charges

Diagramme des cas d'utilisation

## 1- Protocole de communication

- a. Etude statistique optimisant la qualité de la communication

## 2- Modélisation du système

- a. Simulation informatique
- b. Conception en laboratoire de physique

## 3- Influence des paramètres extérieurs

- a. Influence de la distance
- b. Influence du milieu d'échange

# Les Dispositifs Médicaux Implantables

Les dispositifs médicaux implantables:

- Pacemaker
- Défibrillateur cardiaque implantable (ICD)

Historique:

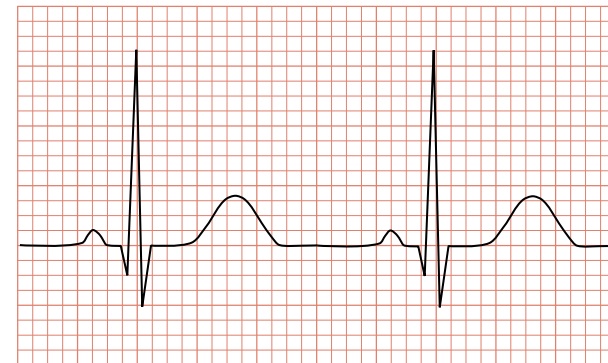
- Inventé en 1781 par Luigi Galvani
- Initialement externe et interne depuis 1958 (Wilson Greatbatch)
- Plus de 1 000 000 de stimulateurs cardiaques sont implantés annuellement dans le monde

Caractéristiques:

- Pèse une centaine de grammes
- Réduit la mortalité des patients à risque d'un tiers

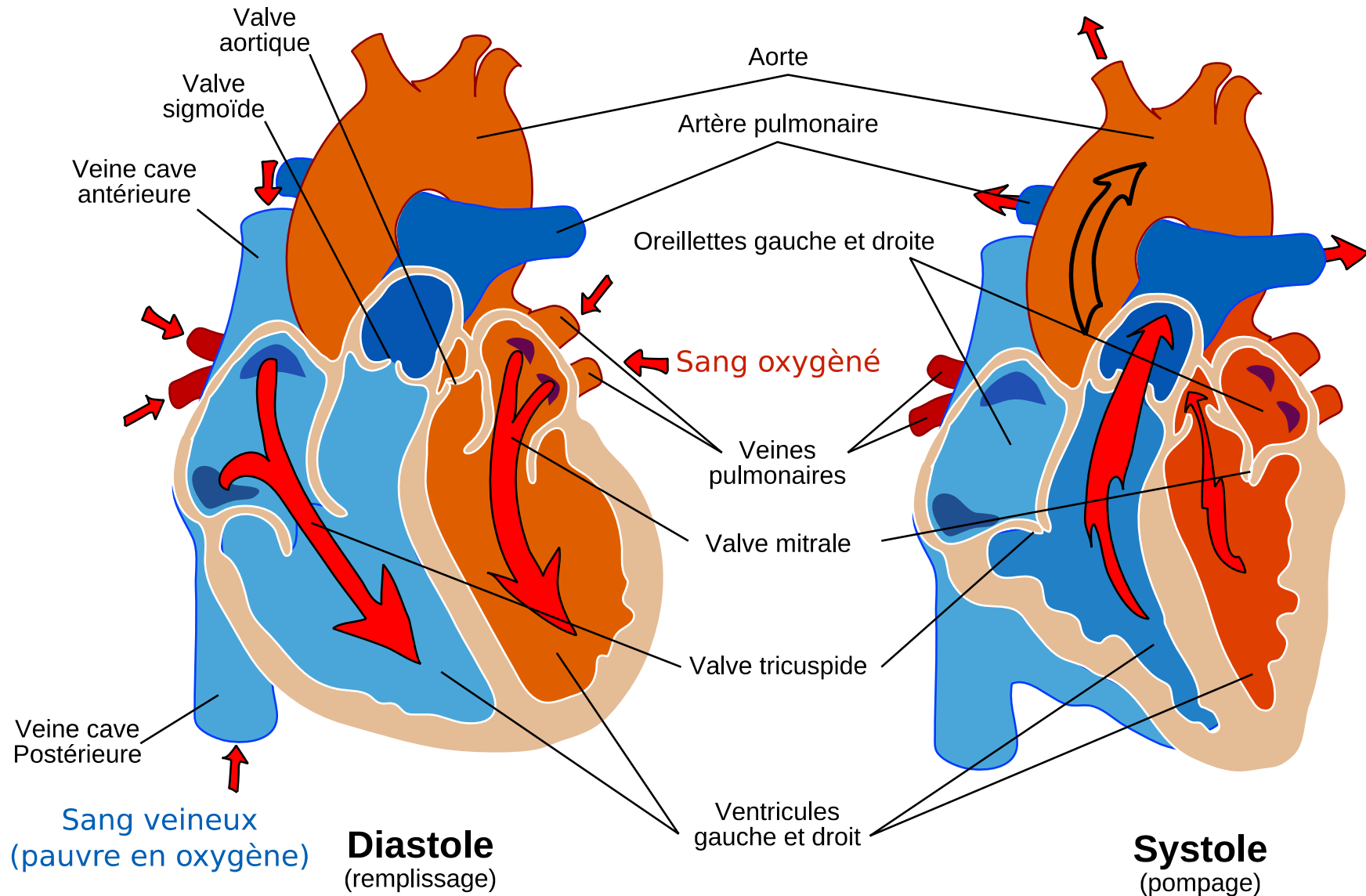


••• Pacemaker



••• Electrocardiogramme

# Le pacemakers dans le fonctionnement du cœur



# Les normes des systèmes de communication médicale implantable

---

Référentiel: EN 301 839 (2009)

-Limiter les MICS à la bande 402-405 MHz

Les objectifs de cette norme sont:

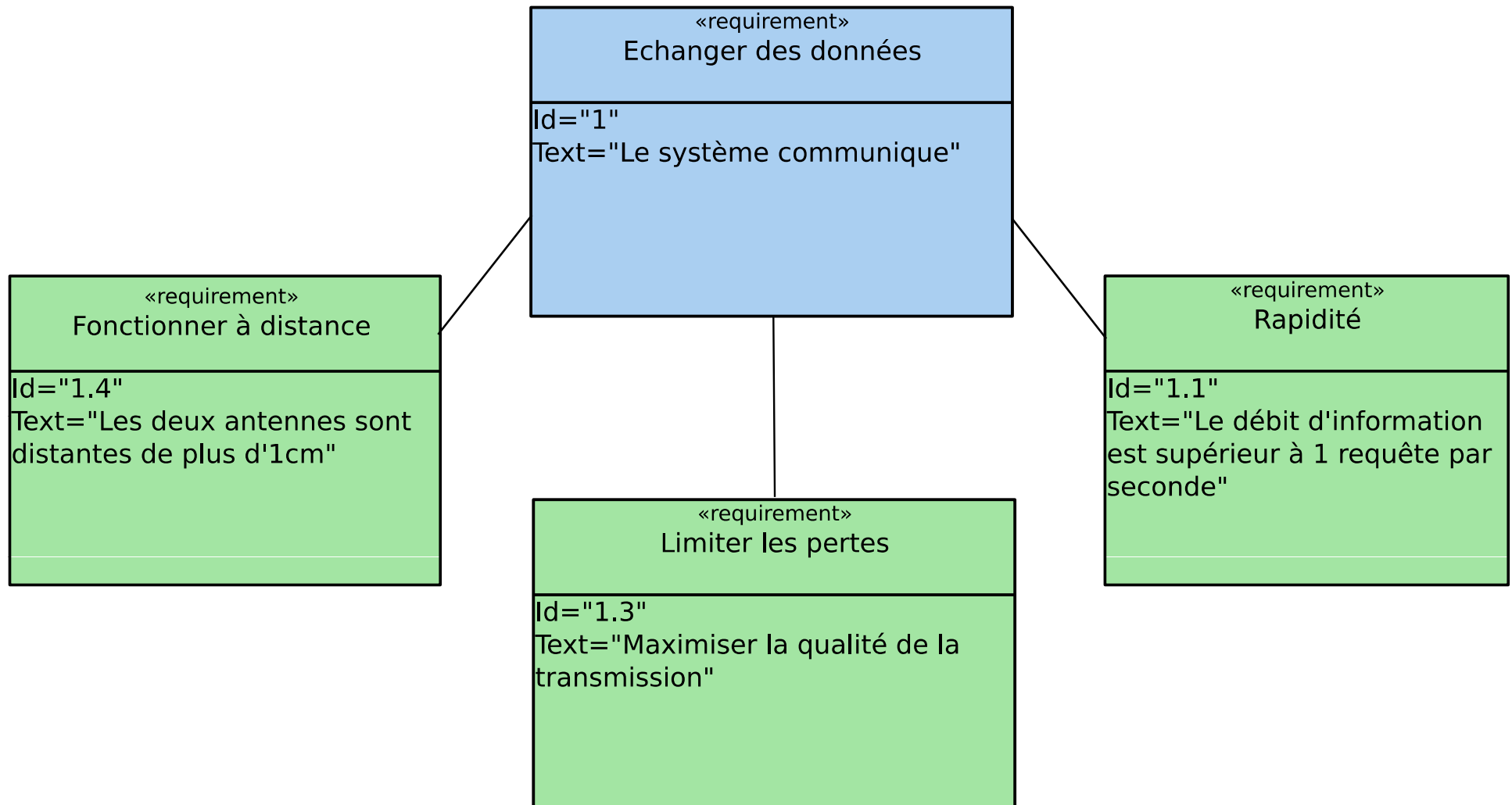
- Définir une puissance radiée efficace maximale: 25  $\mu$ W
- Imposé un espacement de 25kHz entre chaque canal de bande passante 300kHz
- Les programmeurs doivent écouter avant d'émettre



**World Class Standards**

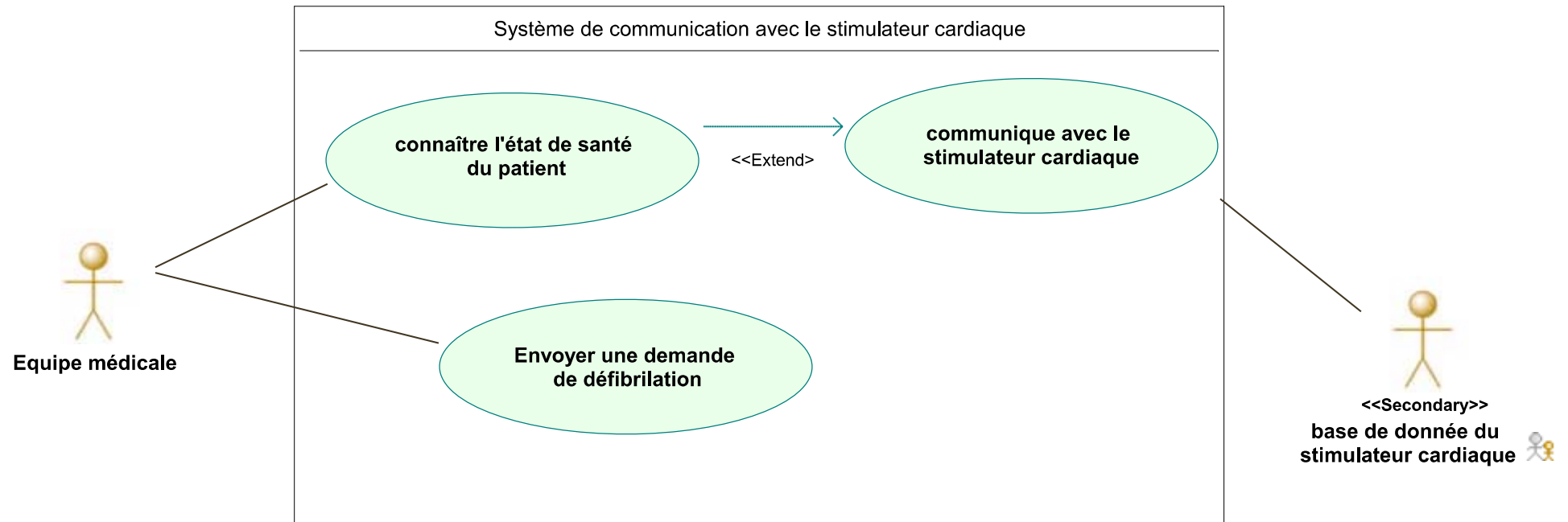
••• Institut européen des  
normes de  
télécommunications

# Cahier des charges



••••• Diagramme simplifié des exigences

# Diagramme des cas d'utilisations



# 1- Protocole de communication

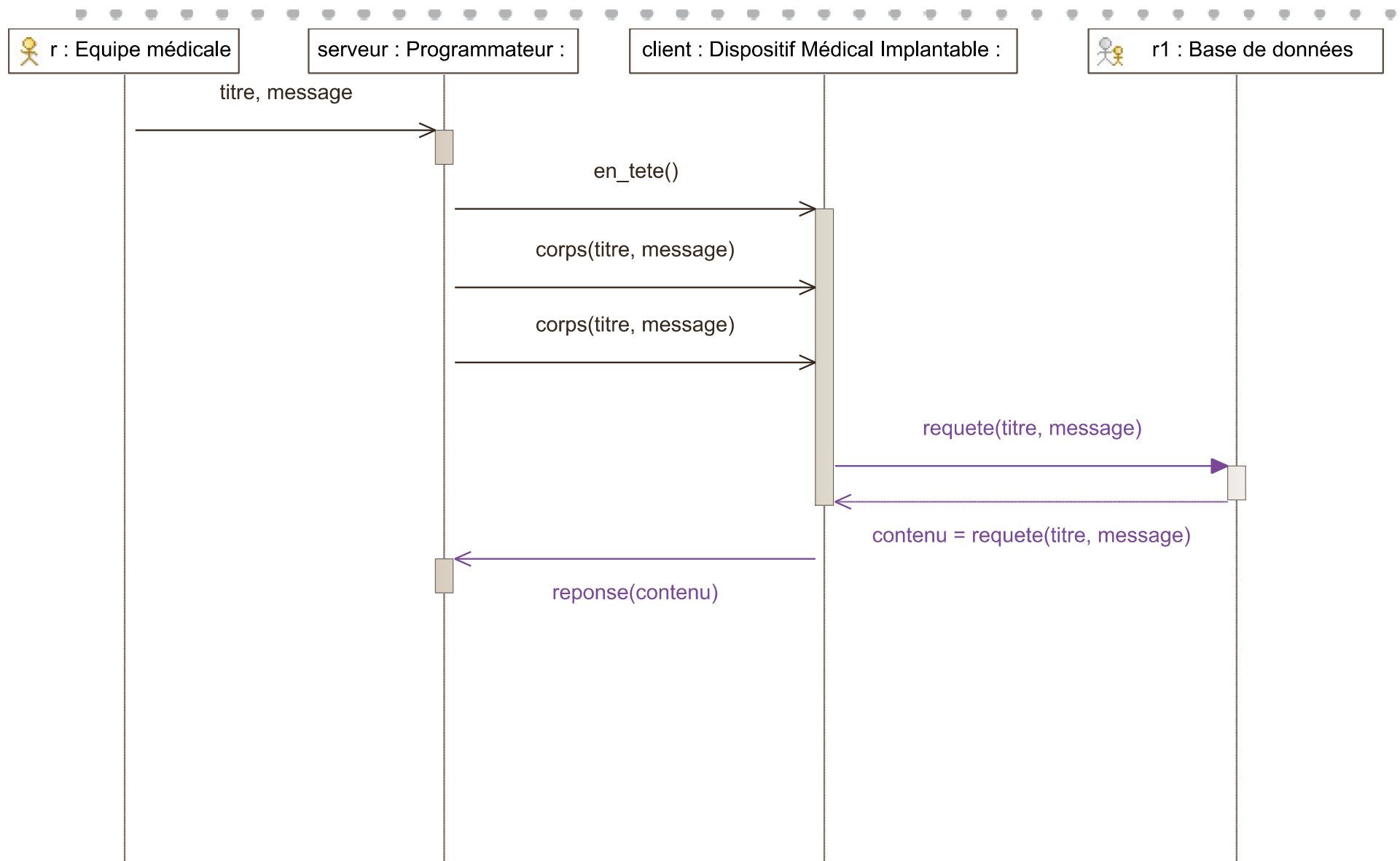
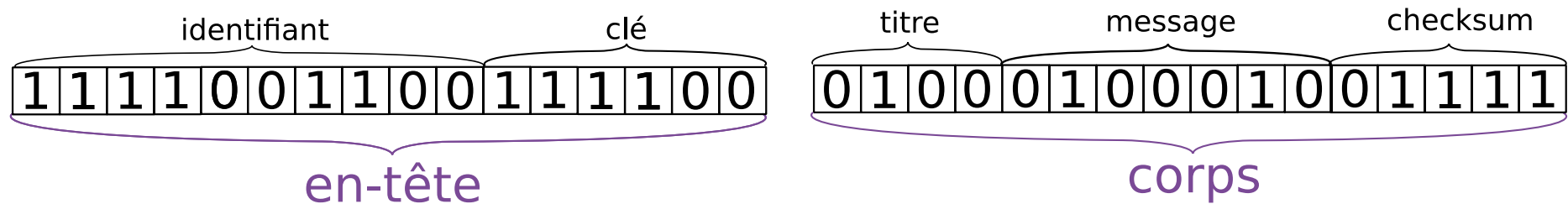


Diagramme d'interaction

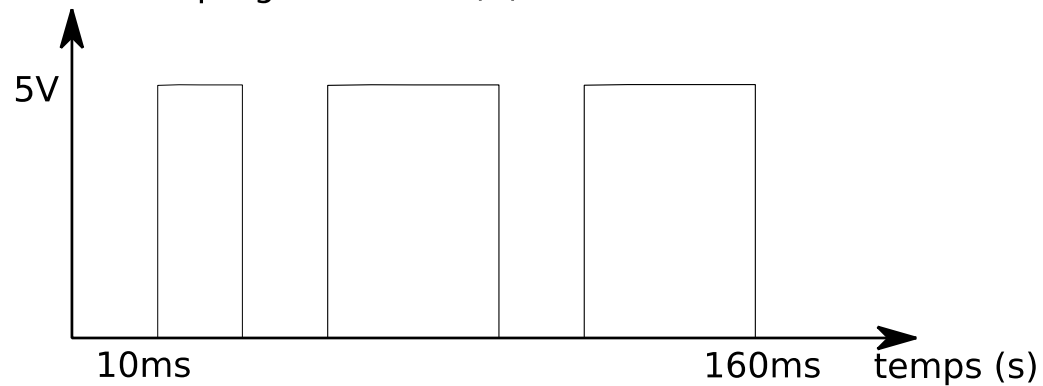


# 1- Protocole de communication



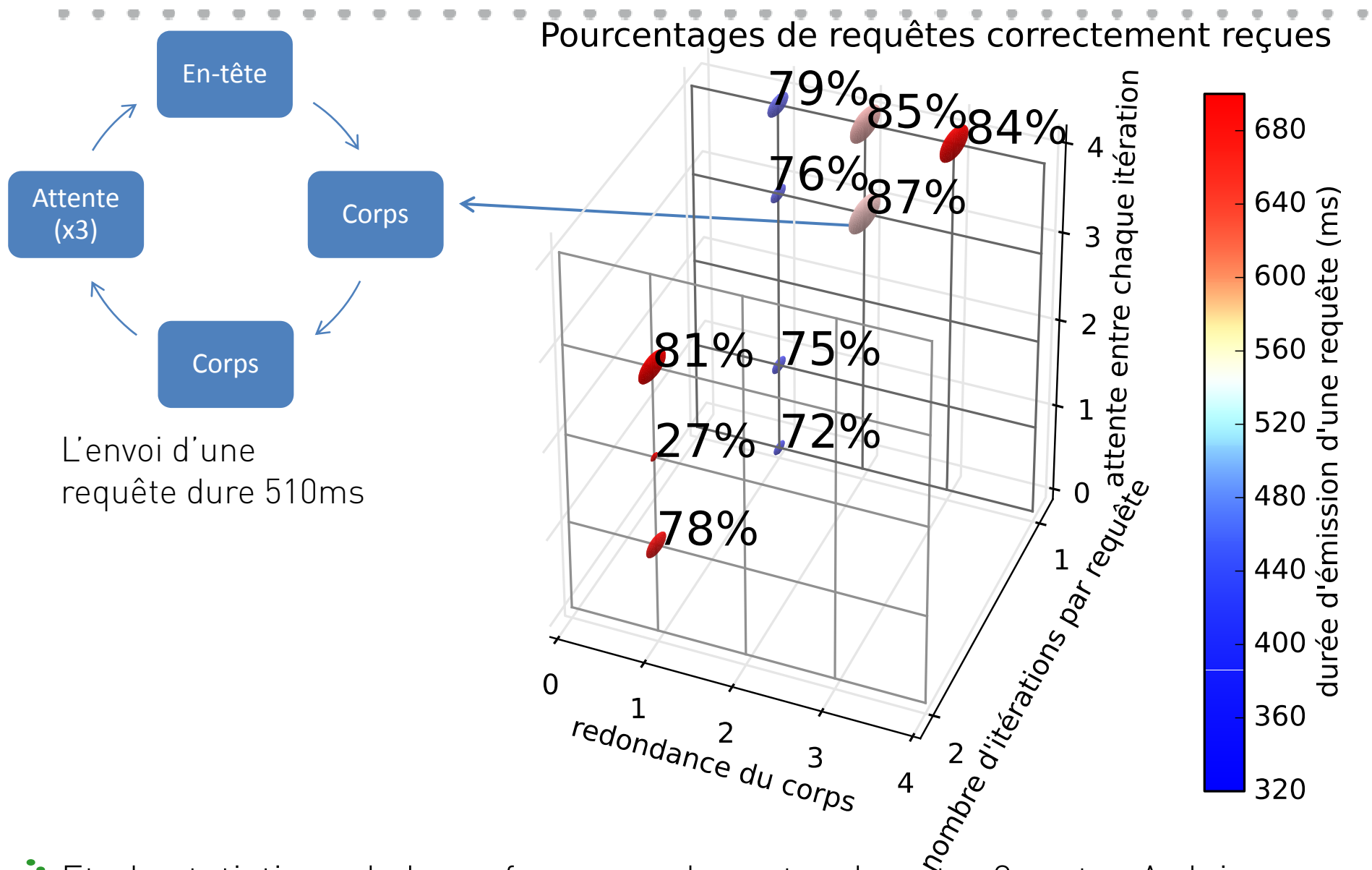
- $\text{Checksum} = (\text{titre décimal} + \text{message décimal}) \% 32$   
-> 5 bits

Signal en sortie du programmeur(V)



❖ Signal en sortie du programmeur

## 1- a. Etude statistique optimisant la qualité de la communication



## 2- Modélisation du système

---

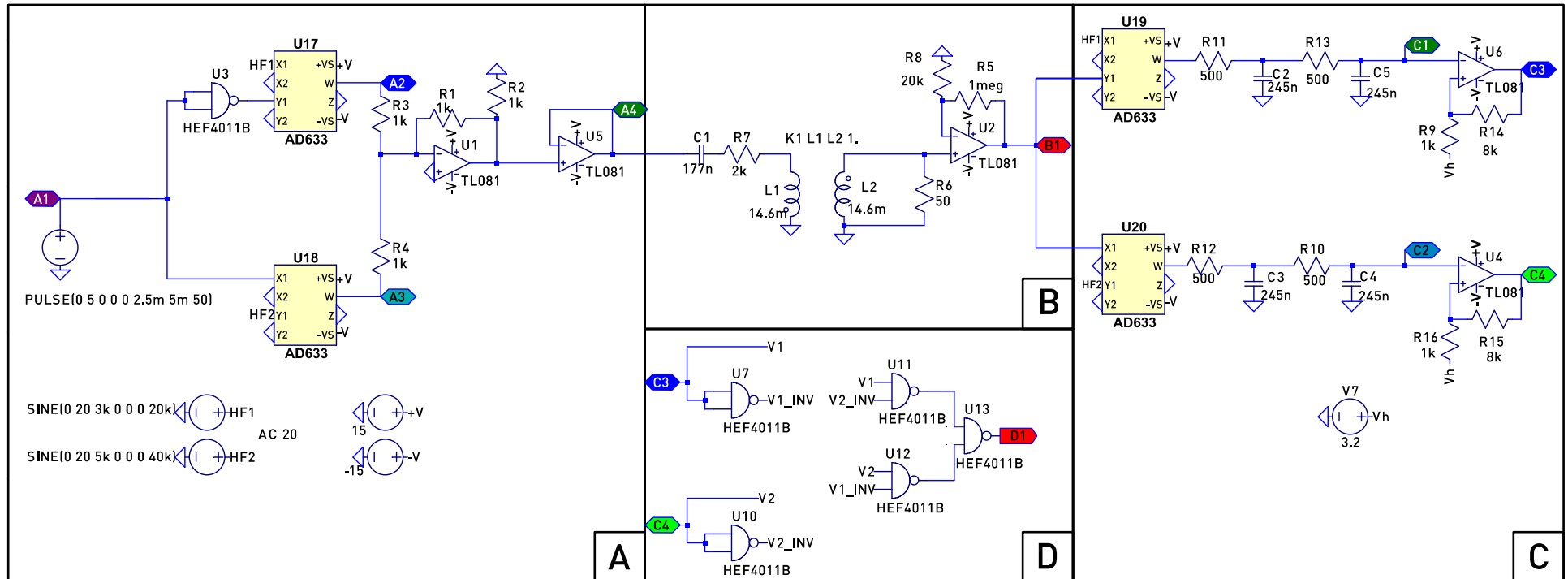
Normes:

- 175 kHz: communications faible portée (ancienne)
- 402-405 MHz: implants médicaux

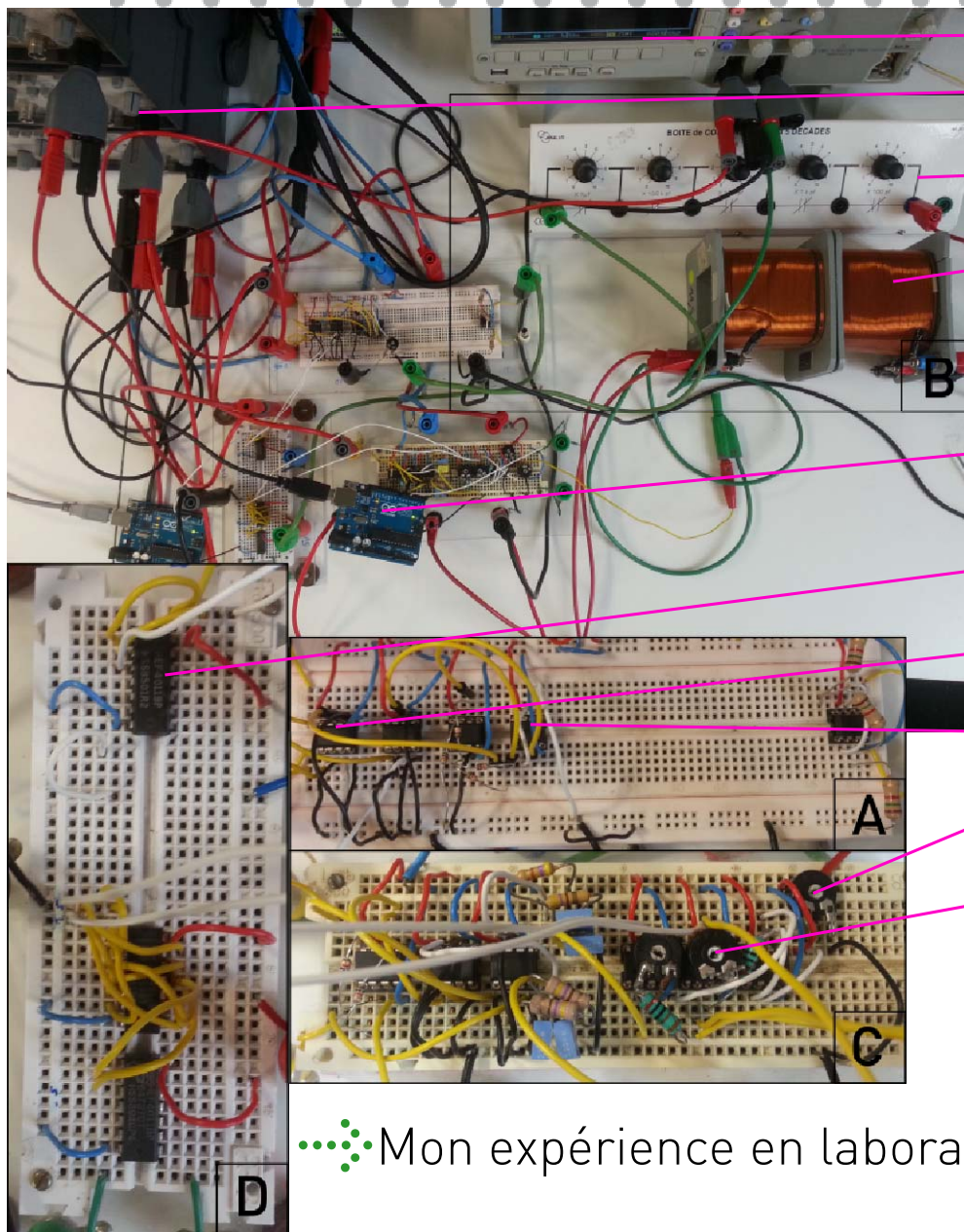


••••• Visite du pôle de recherche avancé de Livanova

## 2- a. Simulation Informatique



## 2- b. Conception en laboratoire de physique



Oscilloscope

Générateur Basse Fréquence

Condensateur Variable

Induction magnétique  
avec deux bobines

Microcontrôleur (Arduino Uno)

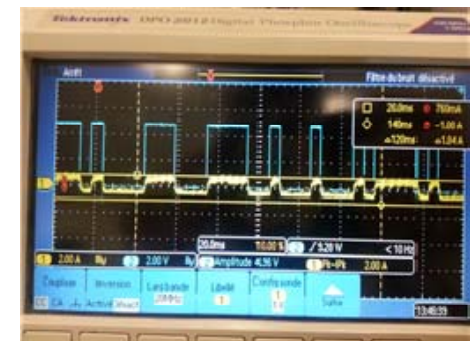
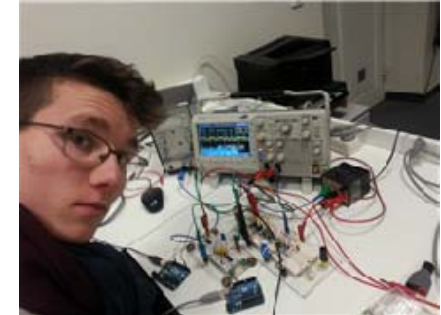
Porte Nand (HEF4011BP)

Multiplieur (AD633)

Amplificateur Opérationnel (TL081)

Potentiomètre

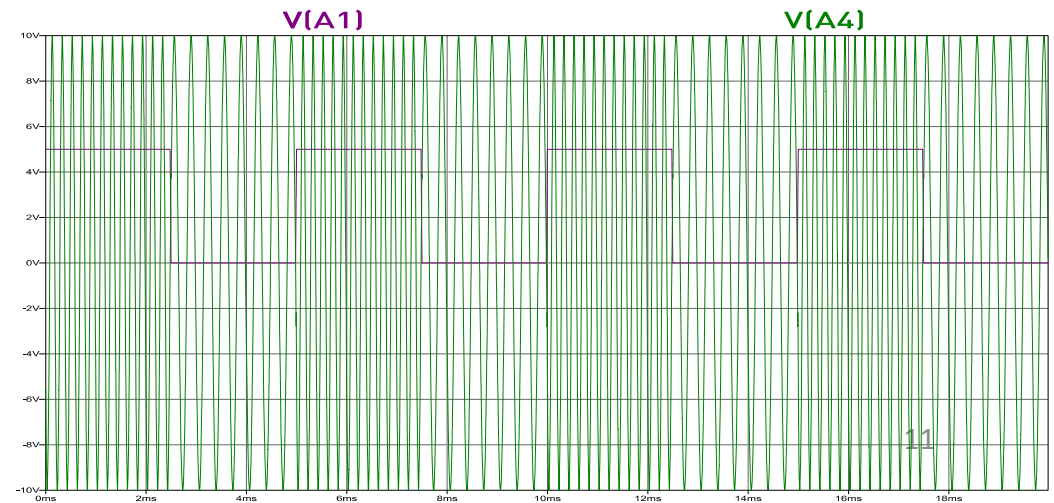
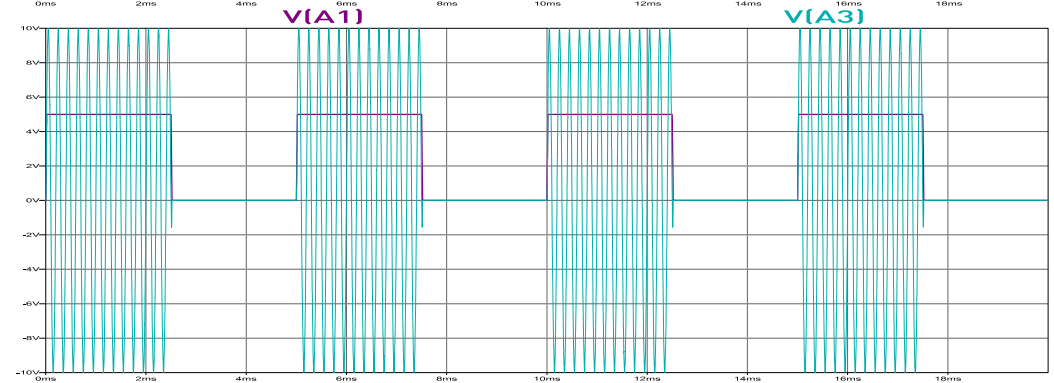
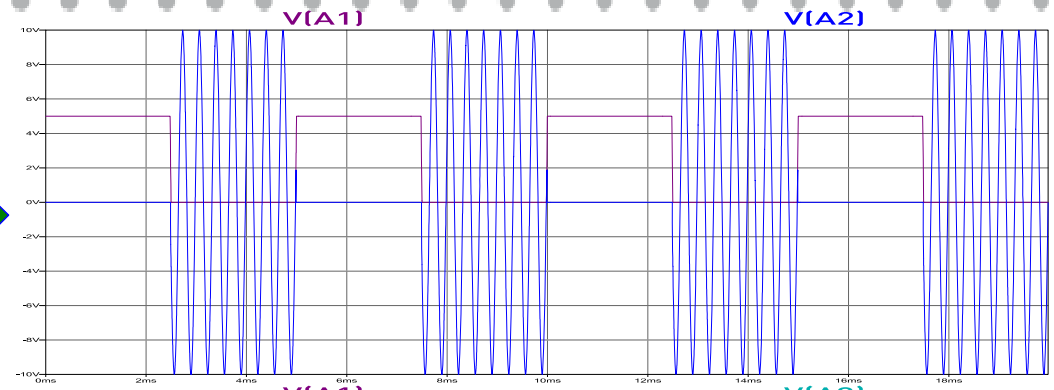
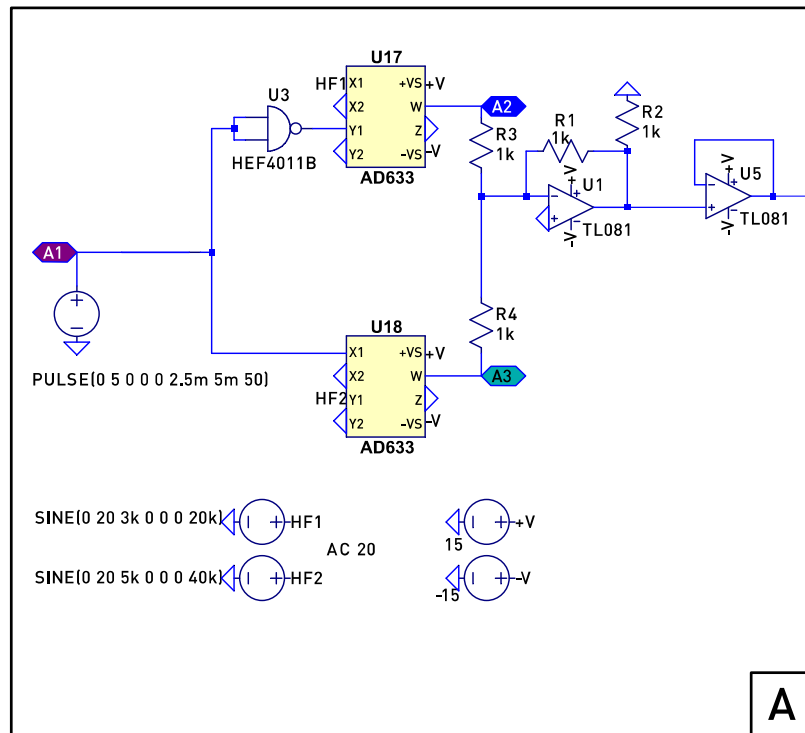
Résistance variable



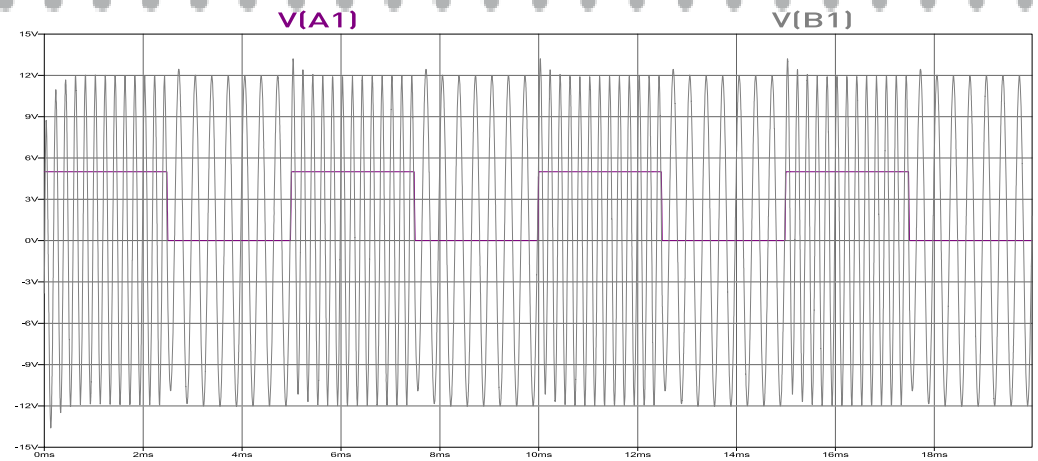
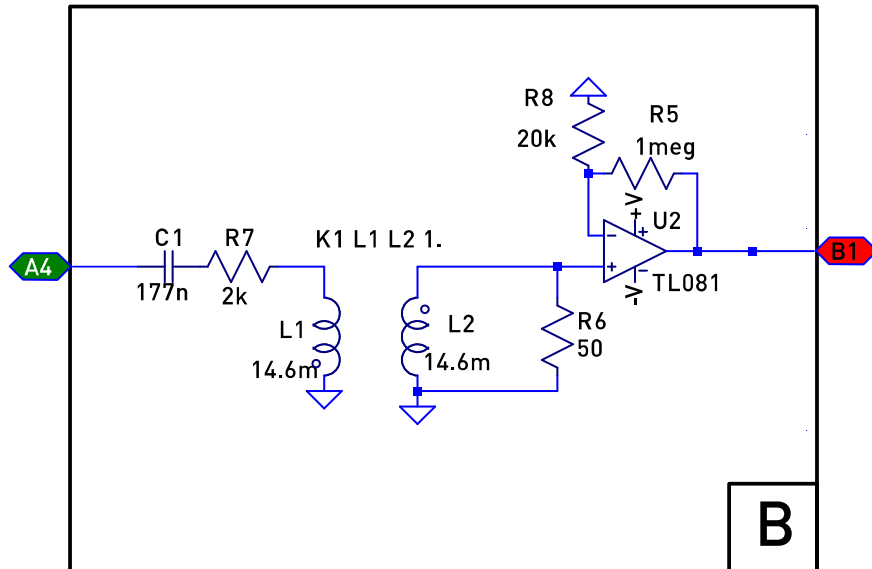
••••• Mon expérience en laboratoire



## 2- Modélisation du système



## 2- Modélisation du système



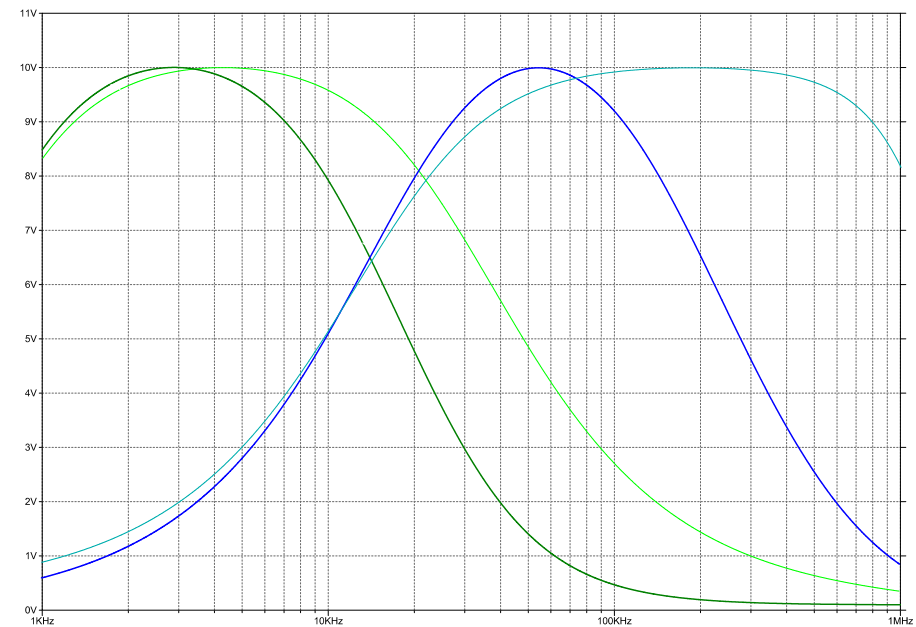
Mauvais couplage  
Bon couplage

R6=50Ω

V(B1)  
V(B1)

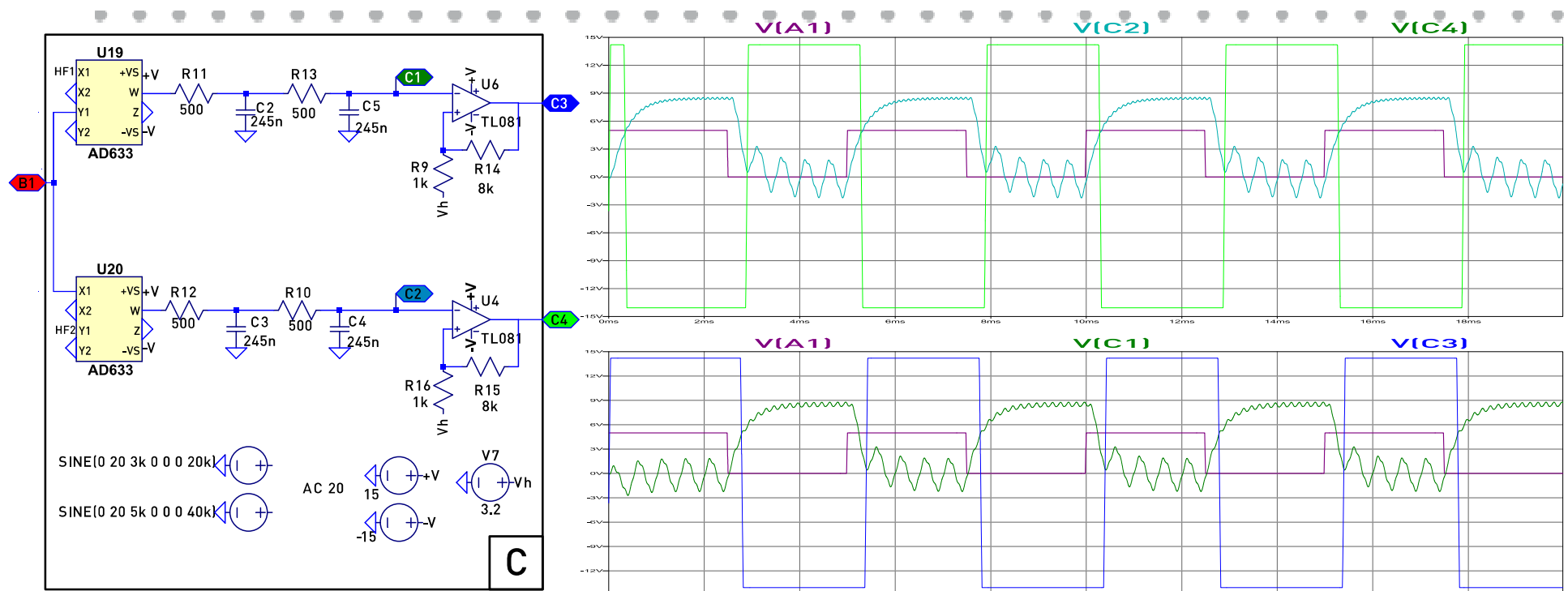
R6=10kΩ

V(B1)  
V(B1)

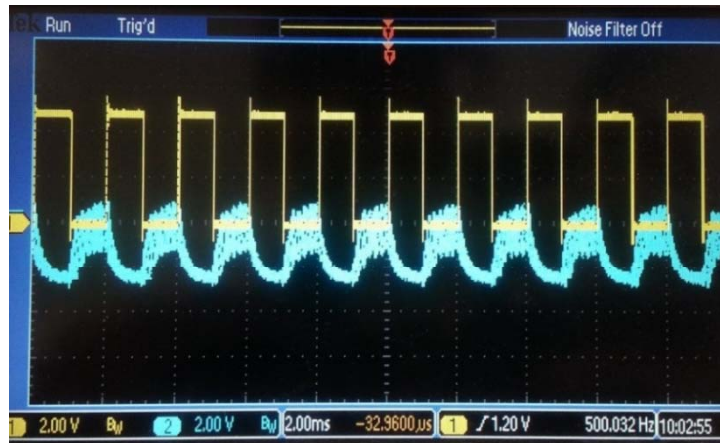
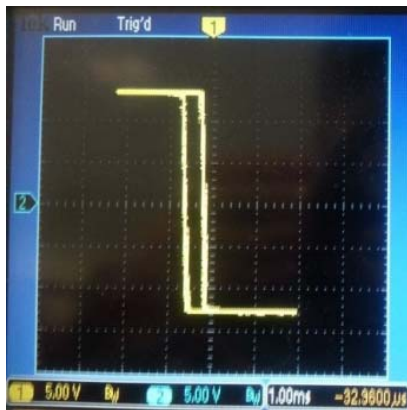


Réponse fréquentielle en amplitude

## 2- Modélisation du système



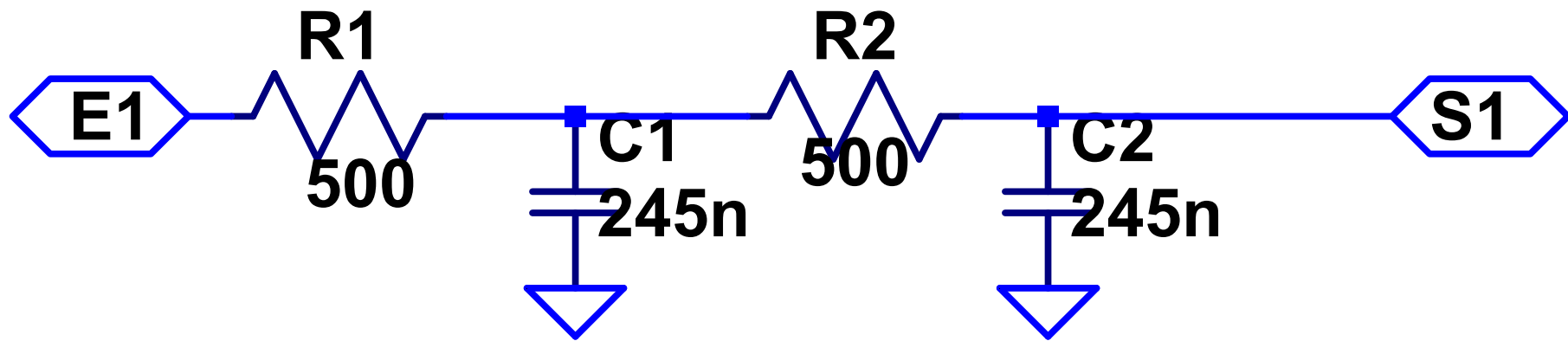
$$U_1 \cos(f_1 \cdot t + \varphi_1) * \begin{pmatrix} U_2 \cos(f_1 \cdot t + \varphi_{21}) \\ U_2 \cos(f_2 \cdot t + \varphi_{22}) \end{pmatrix} = \frac{U_1 \cdot U_2}{2} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_1 - \varphi_{21}) + \cos(2f_1 \cdot t + \varphi_1 + \varphi_{21}) \\ \cos((f_1 - f_2) \cdot t + \varphi_1 - \varphi_{22}) + \cos((f_1 + f_2) \cdot t + \varphi_1 + \varphi_{22}) \end{pmatrix}$$





## Passe-bas du second ordre

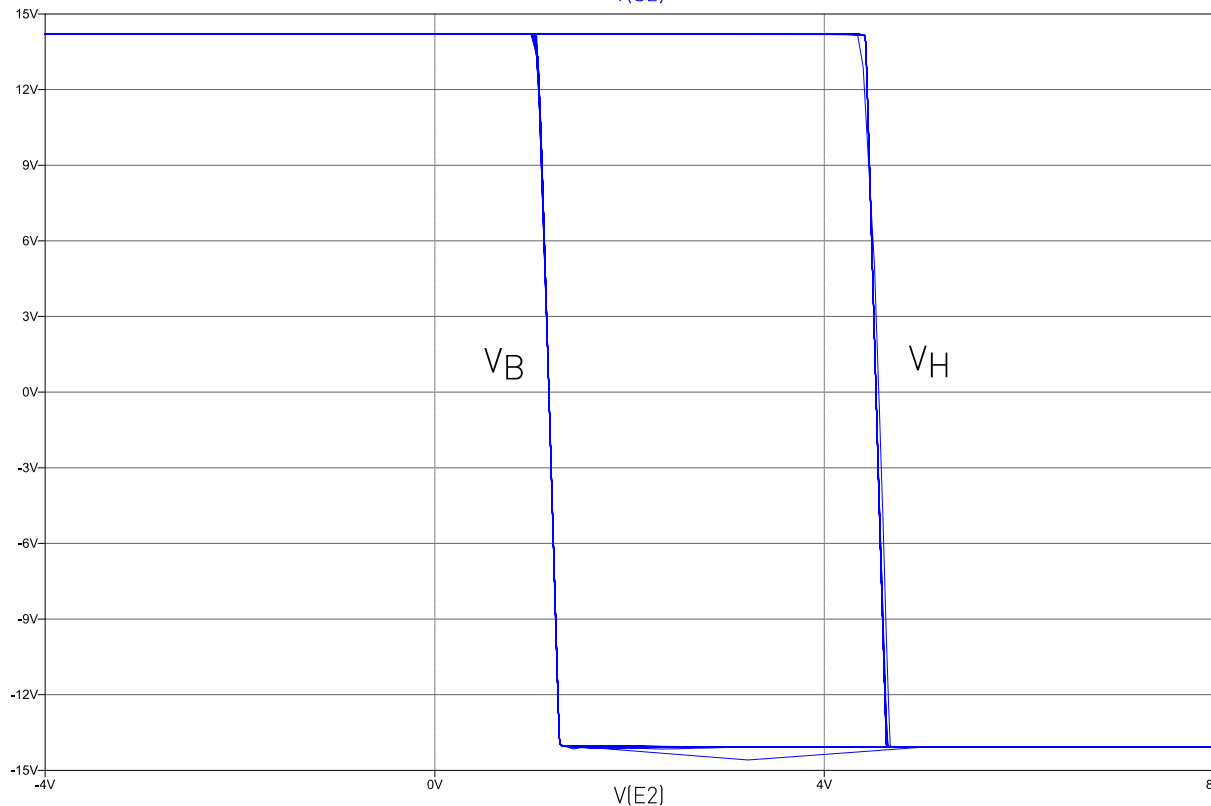
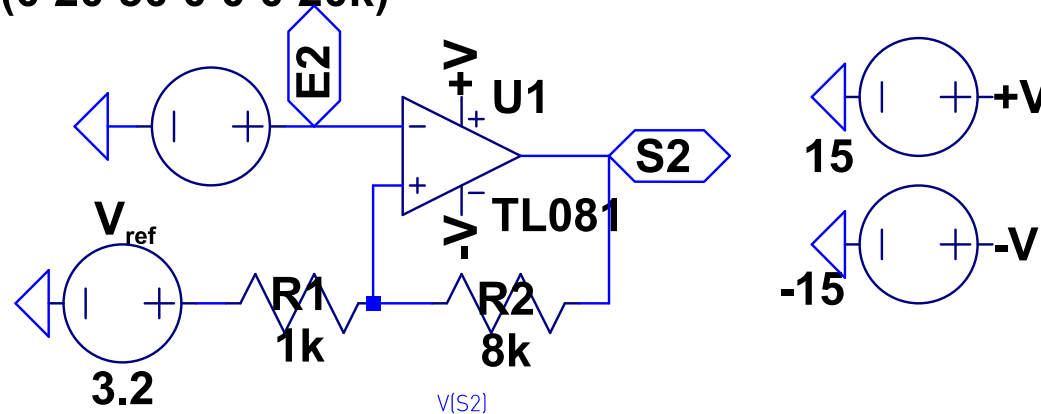
.....



$$\frac{\underline{S1}}{\underline{E1}} = \frac{1}{1 + 3jRCw + (jRCw)^2}$$

# Le Cycle Hystérésis

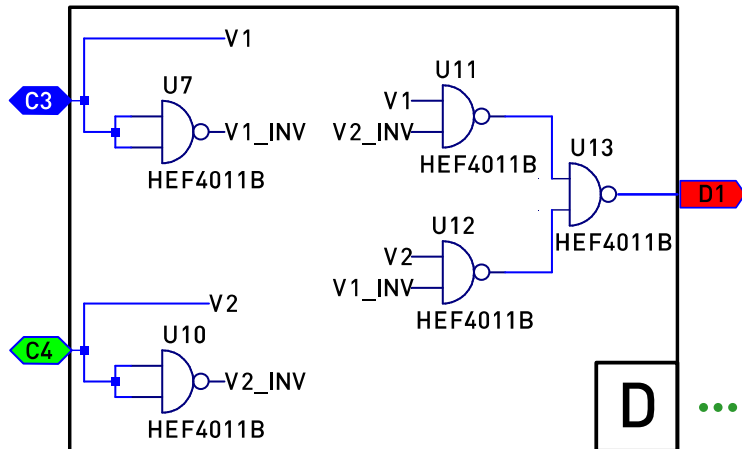
SINE(0 20 30 0 0 0 20k)



$$V_H = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} (V_{ref} + \frac{R_1}{R_2} V_{sat})$$

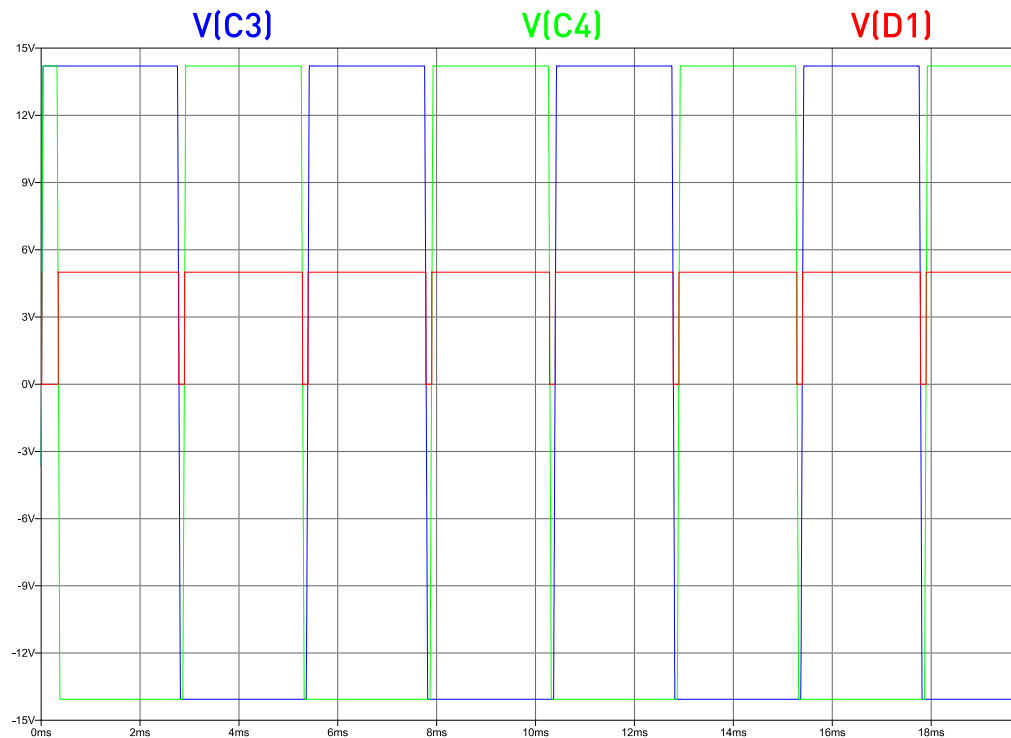
$$V_B = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} (V_{ref} - \frac{R_1}{R_2} V_{sat})$$

## 2- Modélisation du système



C3	C4	D1
0	0	0
1	1	0
0	1	1
1	0	1

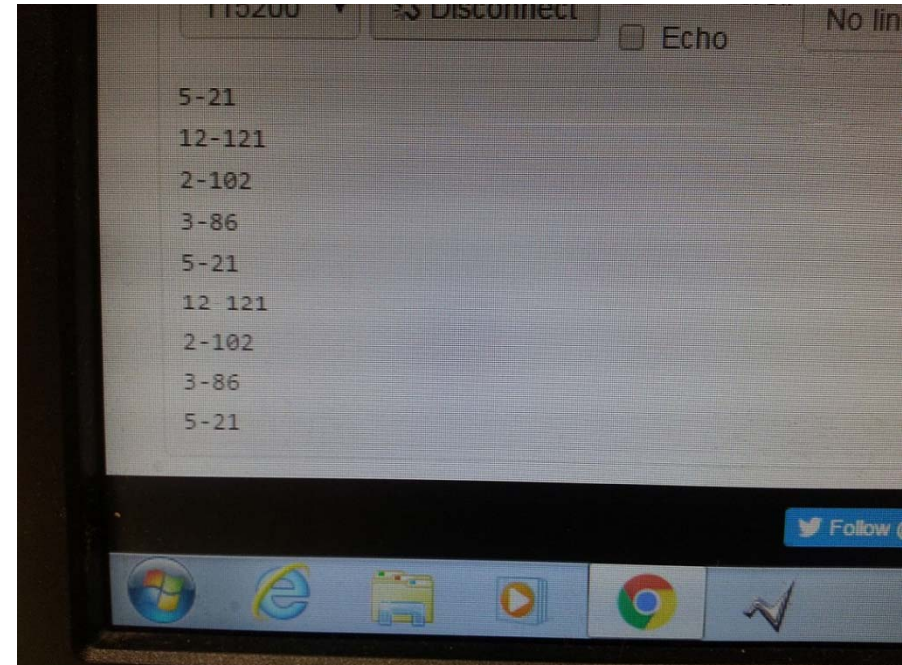
••••• Table de vérité du traitement (ou exclusif)



## 2- Modélisation du système



Allure des courbes

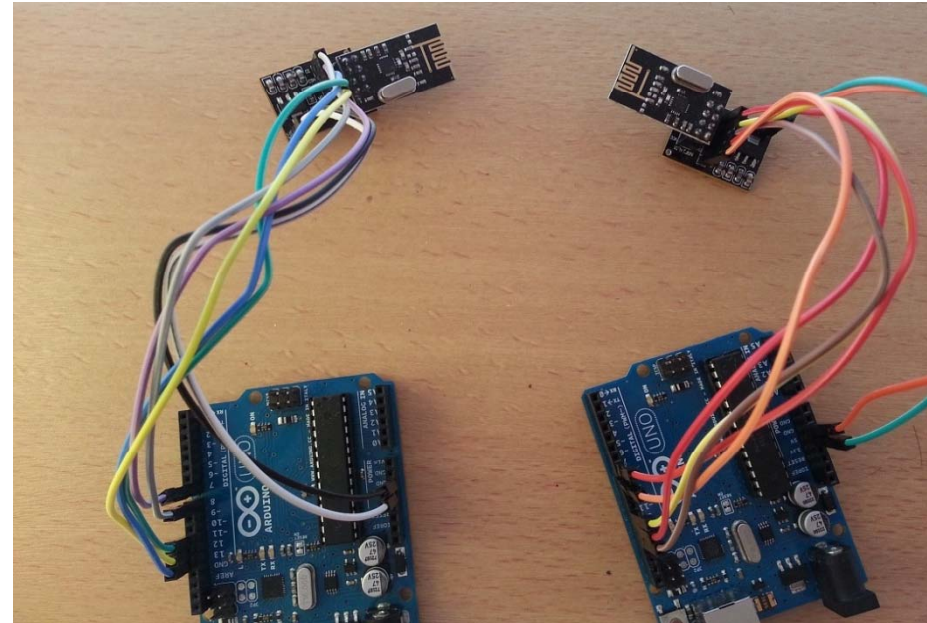


Informations reçues et décodées

### 3- a. Influence de la distance



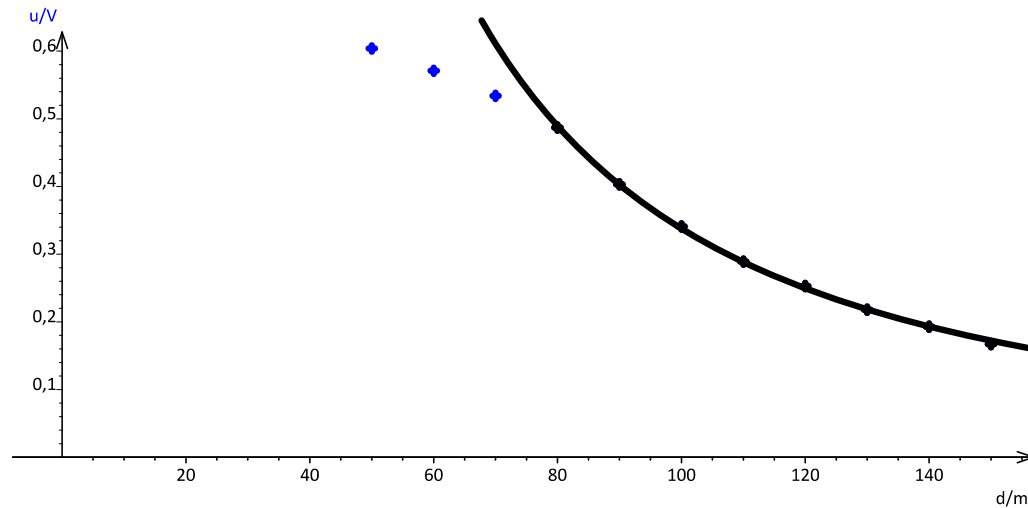
- Distance maximale de fonctionnement



- 2 modules NRF24L01+ raccordés à des cartes Arduinos (2,4GHz)

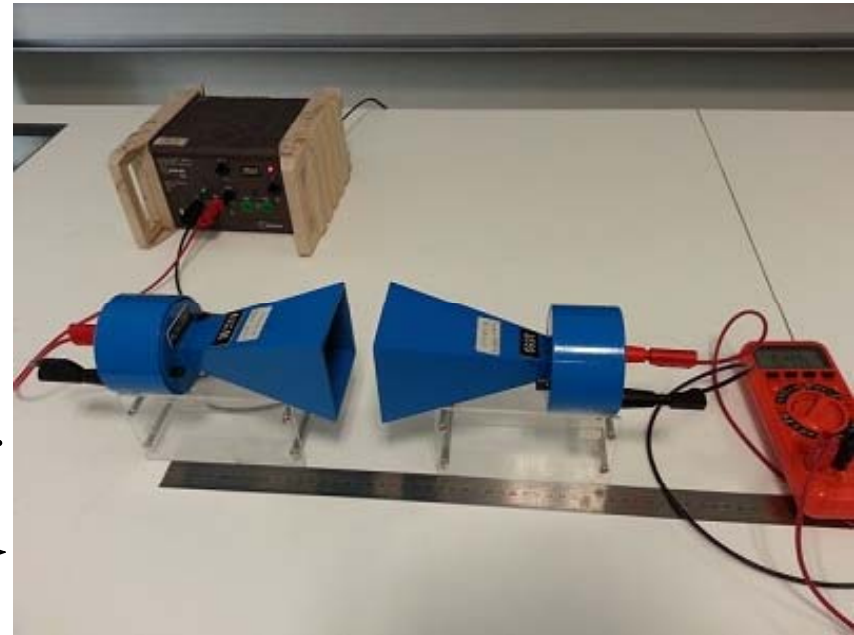
# La propagation des ondes électromagnétiques

Modélisation  
 $u = a \cdot d^b$



$a = 709 \text{ V/m}$

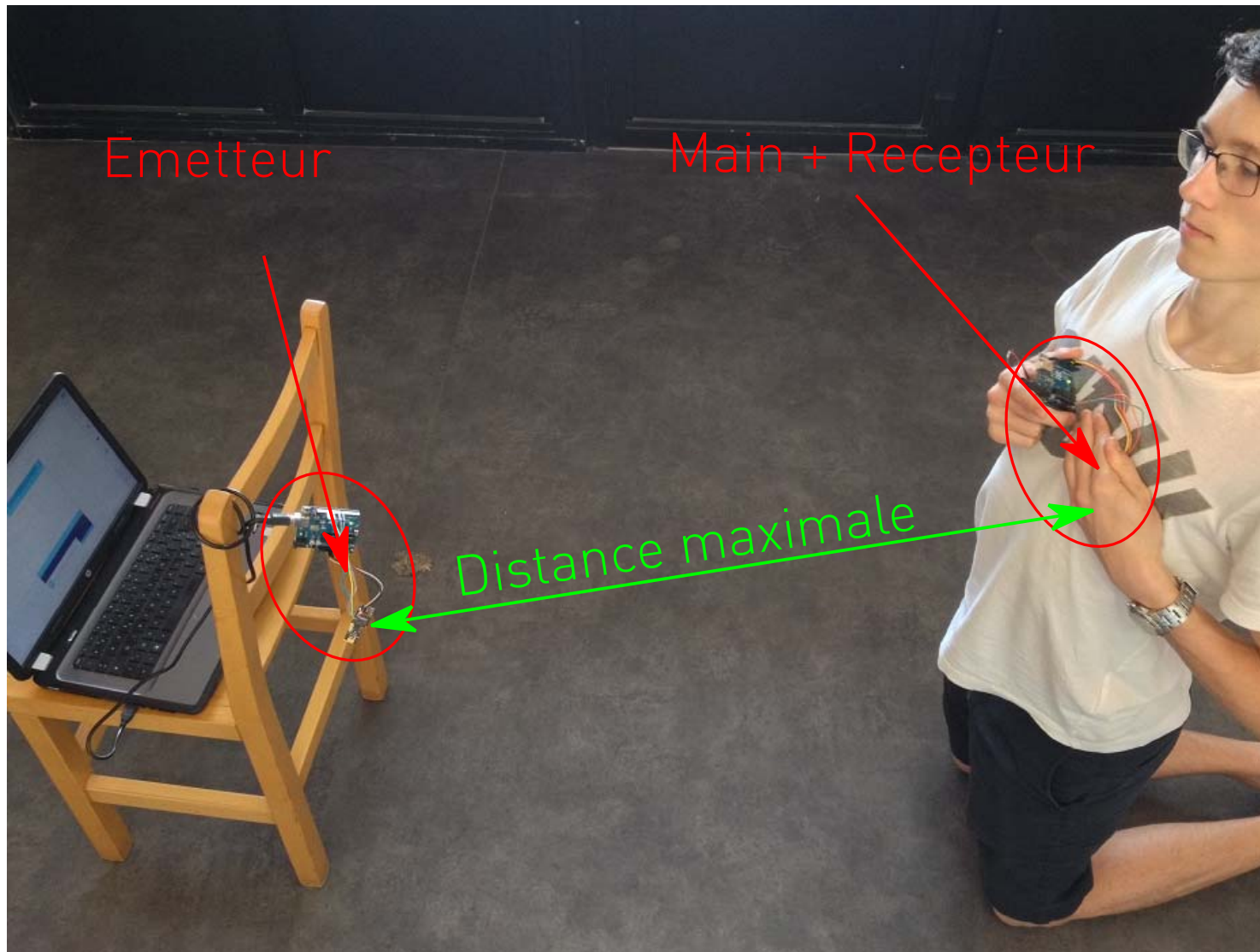
$b = -1,66$



❖ Puissance électromagnétique reçue (ondes centimétriques /10GHz)



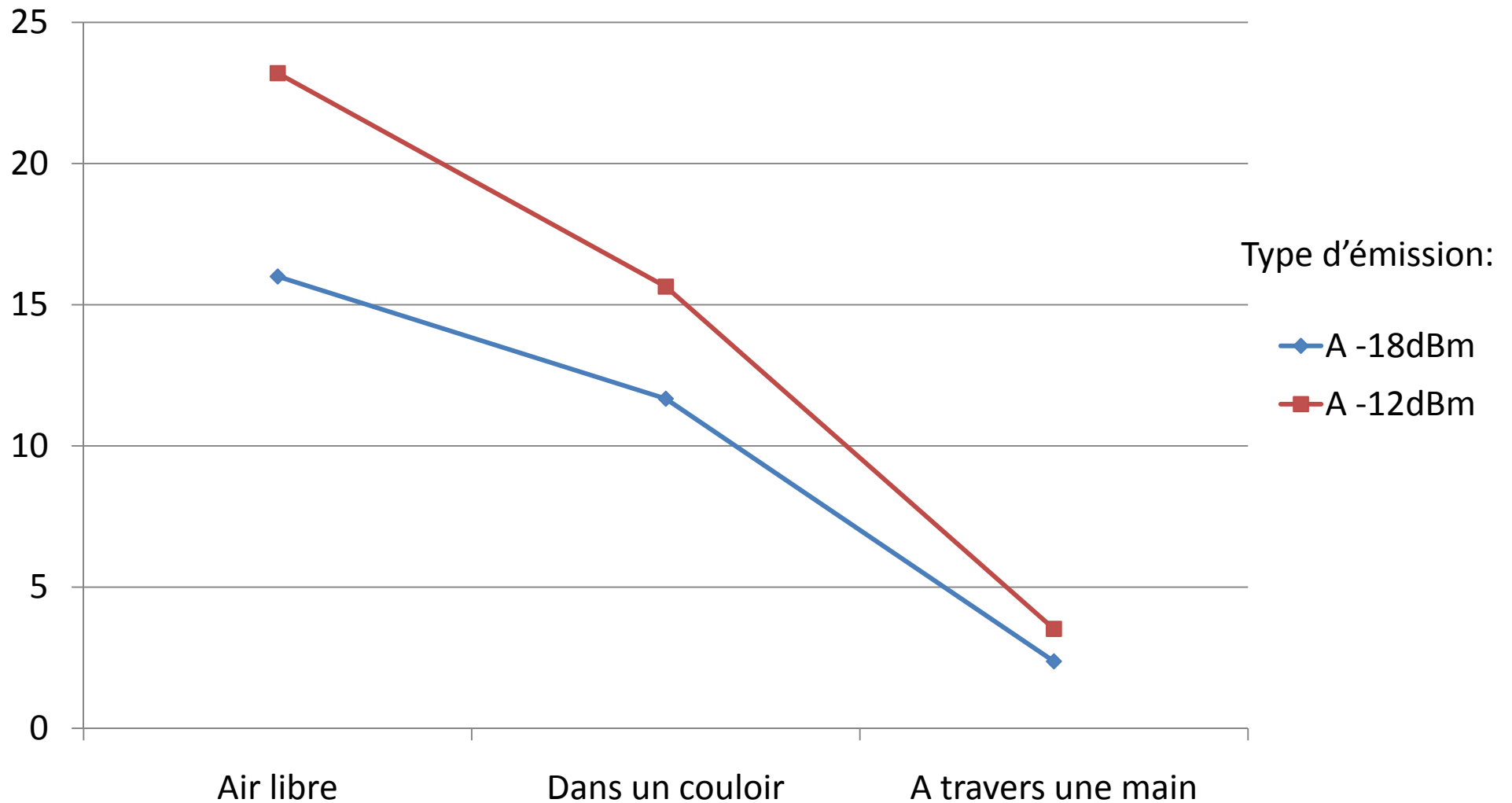
### 3- b. Influence du milieu d'échange



... Calcul de la portée des modules pour différents types d'émissions à 2,4GHz

### 3- b. Influence du milieu d'échange

Distance maximale (m)



Calcul de la portée des modules pour différents types d'émissions à 2,4GHz