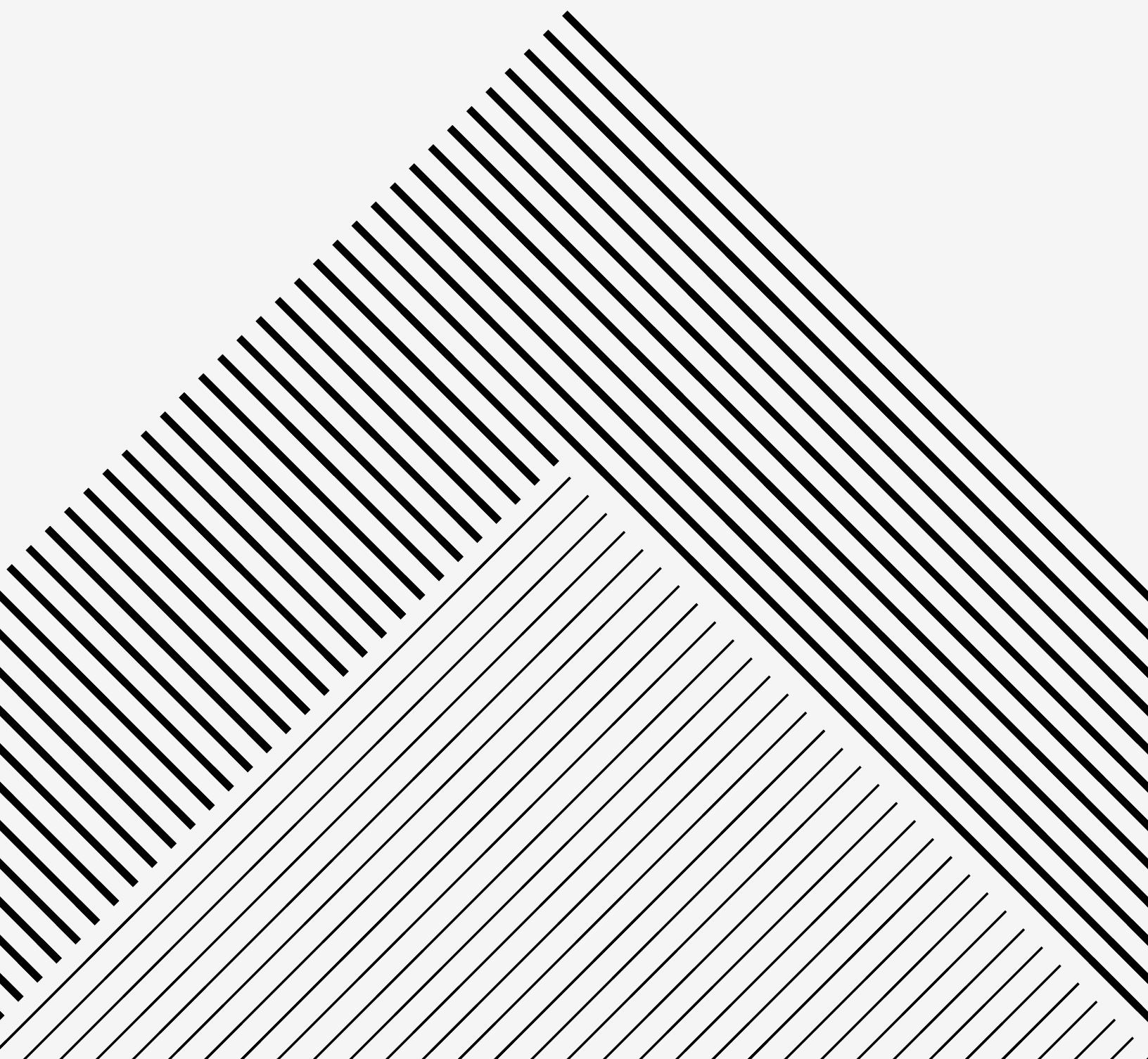


Enjeux Sociaux
environnement sécurité énergie.



T I P E

Problématique: Le retourneur temporel pour les téléphones 5G peut-il être une alternative moins énergivore pour la planète ?

On veut donc comparer la consommation des antennes 5G aux antennes 5G utilisant le retourneur temporel.

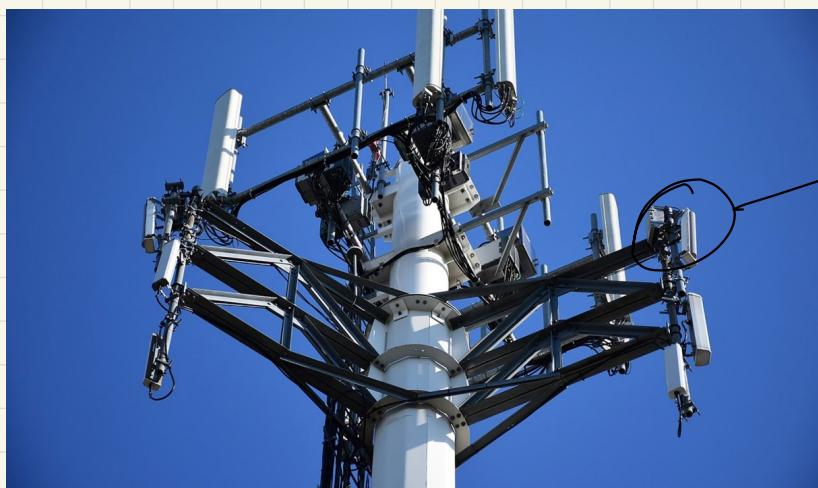
Expérience

I. Les antennes 5G.

II. Les antennes 5G utilisent le retourneur temporel.

Recherche 5G RS
5G optimisée :

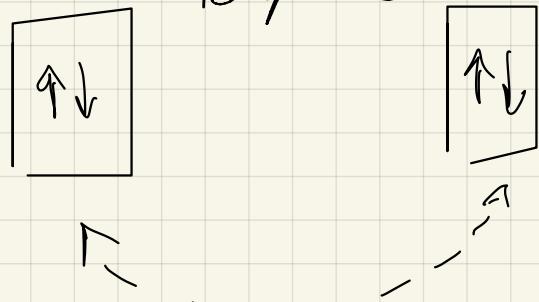
Spectre d'onde utilisé par les antennes 5G : 700 MHz



Small cells
5G

Antennes de puissance réduite, elles peuvent être placées dans des zones diverses, tout les 300 m.

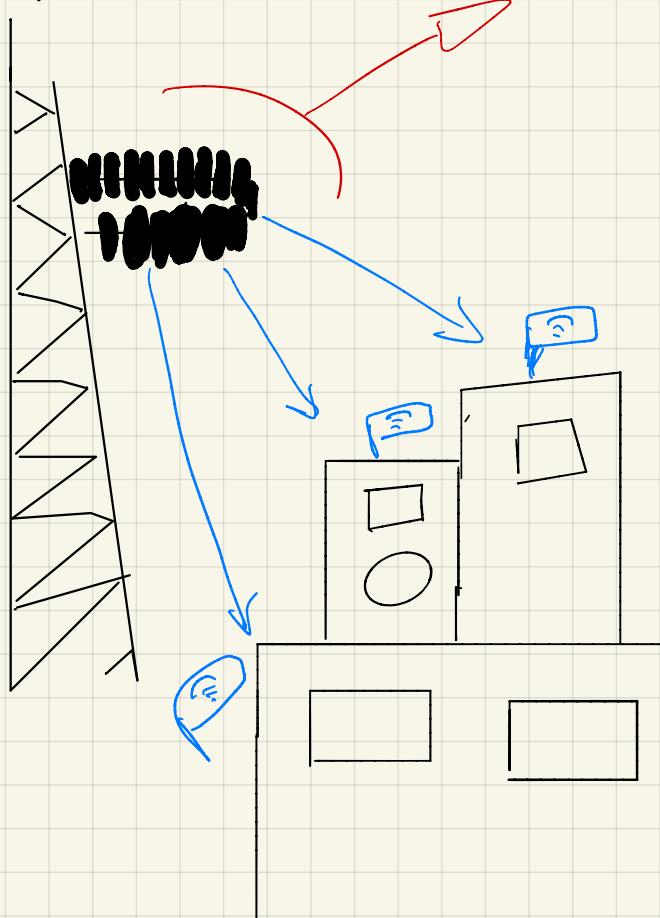
Full Duplex 5G :



Un émetteur - récepteur peut émettre et recevoir des informations en **même temps** sur la même fréquence -

⇒ Technologie qui permet de doubler la capacité des réseaux téléphoniques et des données.

Beamforming :



100 connecteurs // Passive Antenne

Les utilisateurs du réseau possèdent une utilisation adaptée des signaux :

- le signal émet des ondes radio à la ou elles sont utilisées ce qui permet un signal adapté aux besoins des utilisateurs.

Consommation électrique :

Ex moins d'énergie que la 4G. (Actuellement)

D'ici 2025 objectif : 10 x moins d'énergie
 utilisée qu'au début du déploiement
 de la 5G.

(Utilisation du
 retournement temporel)

Traffic Load	4G	5G Lors des tests	4/5G Energy Consumption Ratio
100%	1044.72W	3674.85W	5G/4G=3.5
50%	995.06W	2969.97W	5G/4G=3
30%	949.22W	2579.83W	5G/4G=2.7
0%	837.21W	2192.57W	5G/4G=2.6

Traffic délivré	Objectif 2025 :	5G
100 %		367,485W
50 %		296,997W
30 %		257,983W
0 %		219,257W

Ligne bleue de Huawei : voir annexe



Figure 2 Trend of spectrum evolution

Expérience :

Matériel :

- 3 récepteurs / émetteurs
- un oscilloscope
- un générateur
- cable + BNC Bananes
- Ordinateur + interface graphique (Latis Pro) Ⓛ analyse de Spectre (Audacity)
- Boîtier avec port pour connecter récepteur / émetteur à l'ordinateur.

Protocole : - On branche les 2 récepteurs à l'oscilloscope (les 2 récepteurs ne sont pas à la même distance l'un de l'autre ! -)

- Un émetteur sera branché sur GBF (celui-ci sera statique)

On réglera le GBF sur des impulsions d'ondes sonores (les ultrasons), l'amplitude sera de 1 V pcp.

- On fera varier la fréquence utilisée pour observer une différence de consommation électrique.

(fréquence 5G, VS 5G utilisant le retour en temps)

- On visualisera les signaux grâce à Latis-Pro -

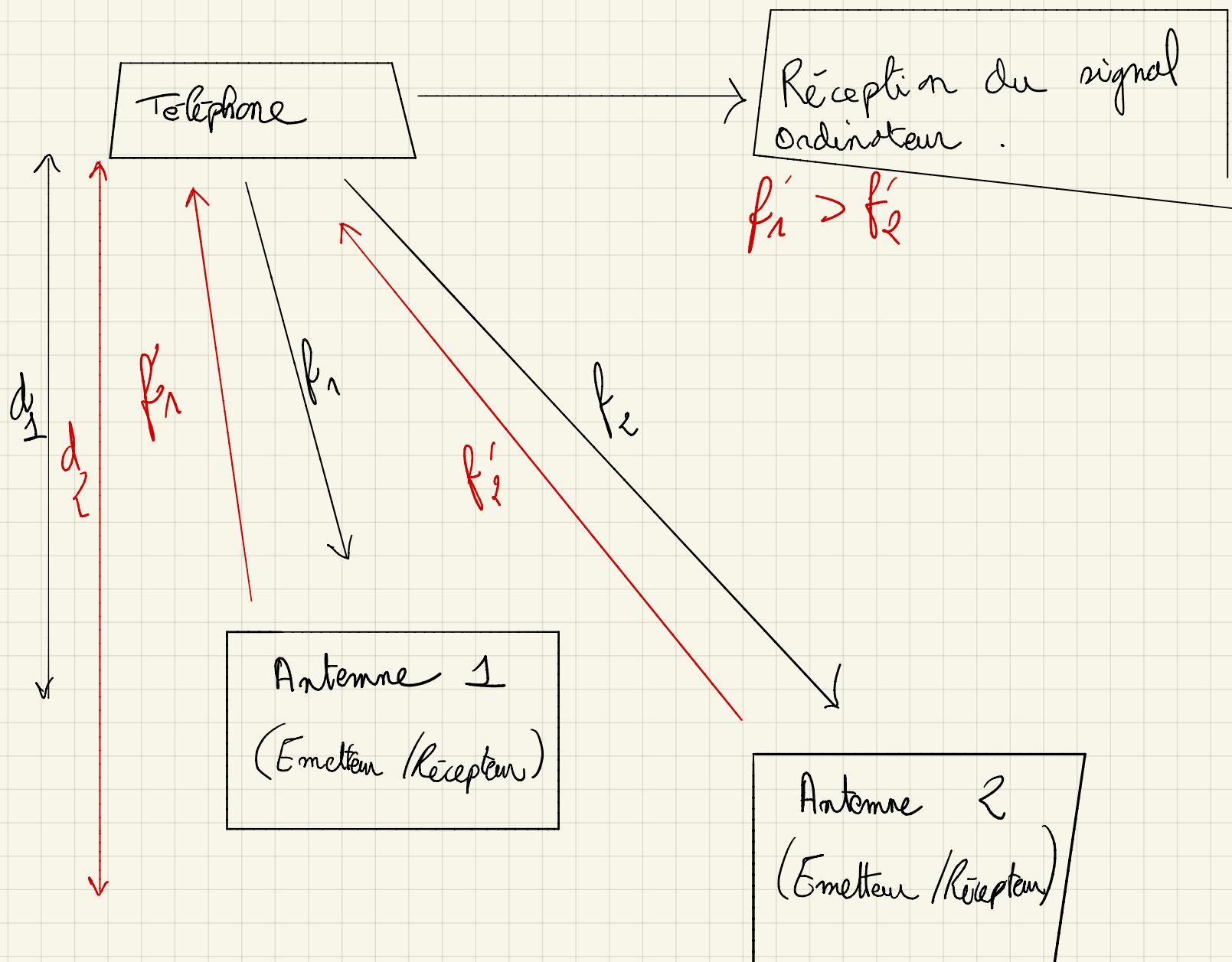
- Pour effectuer les mesures, on fera varier la distance entre les émetteurs / récepteurs pour observer des interférences constructives.

- On mesurera l'intervalle de temps entre chaque signal pour observer le déphasage.

- Pour illustrer le renvoi en phase (le retour en temps), un émetteur / récepteur proche de l'émetteur / récepteur qui envoie l'impulsion sera donc envoi une impulsion plus forte pour compenser les autres signaux. Une renvoi en phase devrait apparaître.

- Le retournement temporel devrait alors être illusté
- Nous pouvons donc conclure que l'on a pas besoin d'augmenter la puissance utilisée (Antenne 5G classique), le retournement temporel permettrait alors une antenne 5G économique en énergie.

Schéma :



1.2 Le Retournement Temporel dans les télécommunications

- Le canal équivalent se rapproche d'un canal dit "sans mémoire". Cela signifie que l'Interférence Entre Symboles (IES) est négligeable voire nulle.
- Les systèmes multi-antennes sont simples à mettre en oeuvre car ils ne nécessitent pas de codage particulier, les différents signaux arrivant en phase au récepteur.
- Les interférences inter-utilisateurs sont minimisées car la puissance est localisée. Les utilisateurs situés en dehors de la tache focale ne recevront que très peu de puissance.
- Les données sont sécurisées, car un utilisateur situé en dehors de la tache focale de l'utilisateur visé ne recevra que très peu de puissance.

L'intégration dans un système de télécommunications se fait très simplement : elle consiste à appliquer un filtre sur le signal à émettre $e(t)$ (voir Figure 1.7). Sur ce diagramme, c_k représente le symbole à émettre, $g_e(t)$ représente le filtre d'émission, $h(t)$ représente la Réponse Impulsionnelle (RI) du canal et $r(t)$ représente le signal reçu. Ce filtre est constitué de la RI

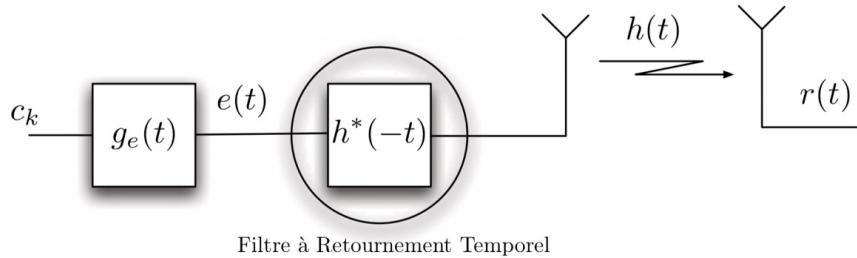


FIGURE 1.7 – Schéma d'un système de communication utilisant le Retournement Temporel

du canal retournée dans le temps et conjuguée $h^*(-t)$. Cela nécessite évidemment d'avoir la connaissance de la RI du canal à l'émission. En réception, le signal reçu devient alors :

M. Dubois développe sur les différentes utilisations du retournement temporel.

Il l'applique au :

- retournement temporel en acoustique
- retournement temporel en électromagnétisme
- retournement temporel en télécommunication.

NGMN (Alliance pour les réseaux mobiles de nouvelles générations) estime en 2015 que :

la 5G devra supporter dans les dix prochaines années une augmentation de trafic de données d'un facteur 1000, avec une consommation énergétique réduite de moitié par rapport à ce que les réseaux consomment aujourd'hui. » Le challenge est donc grand, puisqu'il s'agit d'augmenter l'efficacité énergétique des réseaux mobiles d'un facteur 2000.

→ Choix d'une technologie de retournement temporel.

Afin de réussir la focalisation d'une onde entre l'antenne et un objet mobile, les chercheurs de la collaboration ont misé sur une technologie de retournement temporel. « L'idée est d'exploiter une propriété mathématique : une solution aux équations d'onde est correcte, que la valeur du temps soit positive ou négative » présente Patrice Pajusco, chercheur en télécommunications à IMT Atlantique. Il détaille au travers d'une illustration : « Prenons une goutte d'eau. Si nous la faisons tomber sur un lac, elle créera une onde qui se propagera vers les rives. Et bien si nous reproduisons ce même front d'onde depuis les rives, nous pouvons créer une onde qui va converger vers le point du lac où la goutte d'eau serait tombée. Les mêmes phénomènes vont se reproduire de nouveau à la surface du lac, mais avec une valeur du temps inversée. »

Appliqué à la 5G, le principe de retournement temporel se base sur une première transmission du terminal mobile vers l'antenne. Celui-ci, en transmettant par exemple sa position, envoie une onde électromagnétique qui se propagera dans l'air, à travers les reliefs, sera réfléchie par le terrain, et arrivera donc à l'antenne avec ses différents échos et un profil spécifique à son parcours. L'antenne reconnaît alors ce profil et est capable de le réémettre à l'envers pour qu'il converge vers le terminal de l'utilisateur. L'équipe d'IMT Atlantique est notamment engagée dans le projet sur partie modélisation et caractérisation du canal de communication ainsi créé. « Selon que des échos viennent de plusieurs directions ou soient espacés plus ou moins différemment, les propriétés physiques du canal de propagation seront différentes, et il faut donc bien les caractériser pour que la conception du système de communication soit efficace » souligne Patrice Pajusco.

SOURCE :

[https://blogrecherche.wp.imt.fr/
2017/02/06/5g-moins-couteuse-
énergie/](https://blogrecherche.wp.imt.fr/2017/02/06/5g-moins-couteuse-energie/)

Enjeu de la focalisation :

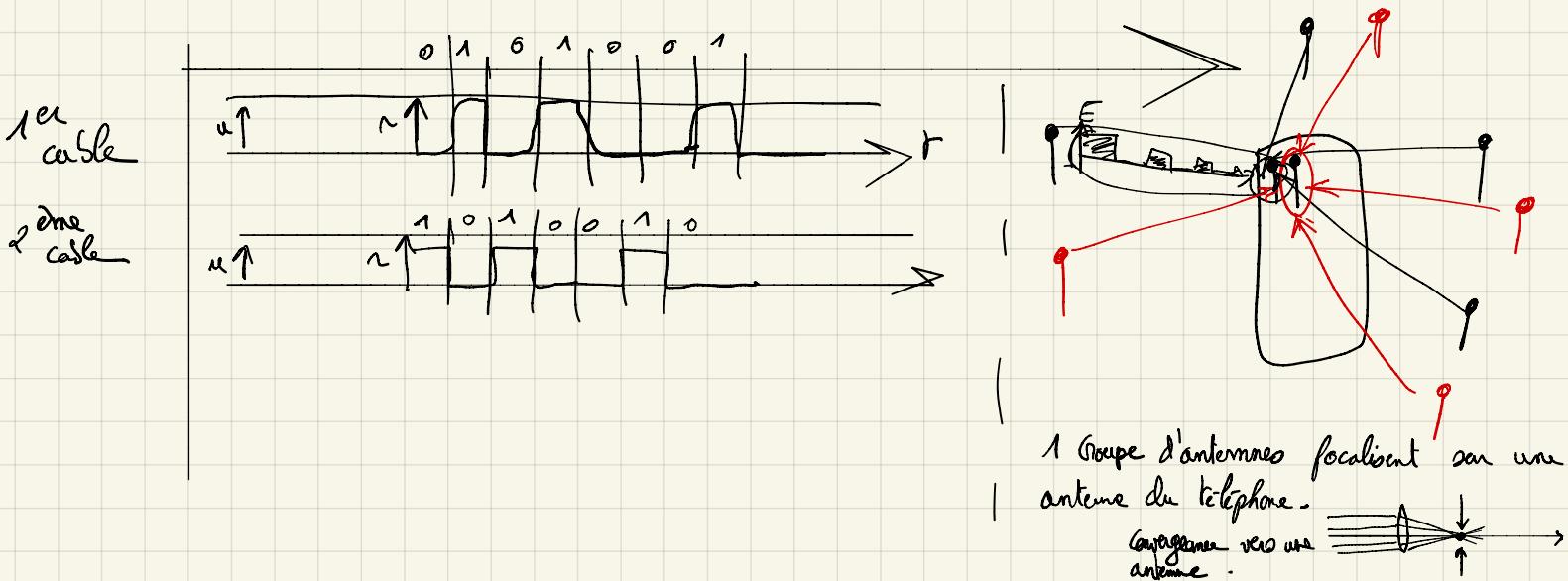
Dans la mesure où il est possible de faire une focalisation sur une antenne en particulier, cette connexion avec le terminal représente donc une information. « Nous pourrions alors transmettre plusieurs bits d'information simplement en changeant d'antenne de focalisation » résume Patrice Pajusco.

Ce nouveau projet embarque comme partenaire supplémentaire Centrale Supélec, établissement « expert dans ce domaine de la modulation spatiale » assure Patrice Pajusco. S'il s'avérait concluant, il pourrait à terme proposer une technologie concurrente des antennes MIMO basées sur l'utilisation d'une multiplicité d'émetteurs et de récepteurs pour transmettre un signal. « En utilisant la modulation spatiale et la focalisation, nous pourrions avoir une solution bien moins complexe que le système MIMO conventionnel » espère le chercheur. La capacité de la focalisation à apporter une forte valeur sur la 5G est en tout cas déjà bien réelle. Son applicabilité à des véhicules en mouvement a déjà été jugé comme l'une des approches techniques les plus prometteuses par le projet H2020 METIS, référence du partenariat public privé européen sur la 5G.

Système fil MO remplace par SM-MI MO

<https://anr.fr/Projet-ANR-15-CE25-0016>

Schéma : Focalisation

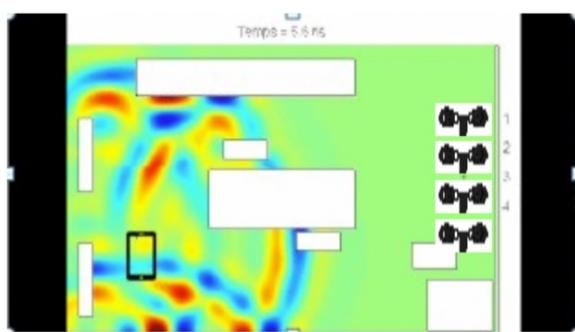


<https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news-vers-une-5g-verte-pour-les-objets-connectes-dinh-thuy-phan-huy-recoit-le-grand-prix-ferrie-2018/>

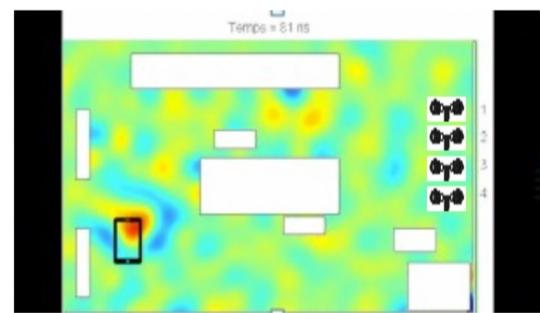
Voir doc : Focalisation des ondes radio
pour un internet-des-objets efficace en énergie

La focalisation par retournement temporel

1) Le mobile émet un signal pilote et le réseau apprend le canal de propagation



2) Le réseau focalise en utilisant l'inverse temporelle de la réponse impulsionnelle du canal



- G. Lerosey, J. d. Rosny, A. Tourin, A. Derode, G. Montaldo and M. Fink, "Time reversal of electromagnetic waves and telecommunication," in *Radio Science*, vol. 40, no. 06, pp. 1-10, Dec. 2005.
- H. Terchoune, D. Lautru, A. Gati, M. F. Wong, J. Wiart and V. Fouad Hanna, "Investigation of space-time focusing of time reversal using FDTD," *2009 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Boston, MA, 2009, pp. 273-276.

Orange

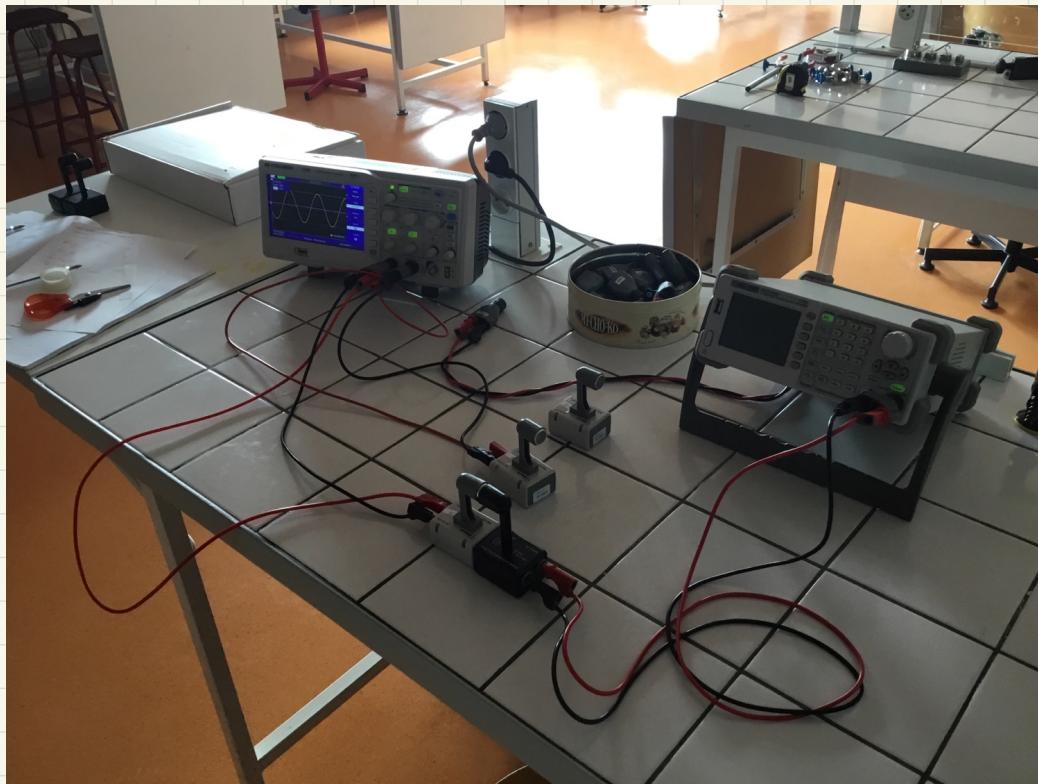
Grand Prix Général Ferrié 2018

1^a séance :

① Nous cherchons à observer le retard de réception.

Amplitude max des 3 récepteurs :

- | | |
|----------|--|
| ① 22.0 V | Il va falloir coniger ces amplitudes, diviser par une intensité. |
| ② 18.9 V | |
| ③ 22.3 V | |



$$\text{GBF : } f = 40 \text{ kHz}$$

$$A = 20 \text{ Vpp}$$

can émettre : 40 kHz
+/- 20 Vmax

①	22 V	<u>1/2 3,1 V</u>
②	18.9 V	<u>1/3 ± 0,3 V</u>
③	22.3 V	<u>2/3 ± 3,4 V</u>

$$\textcircled{1} \sim \textcircled{2}$$

Pour ① et ②
 $\rightarrow A \pm 3 \checkmark$

$$A_{m-2} = 19 \pm 3 \checkmark$$

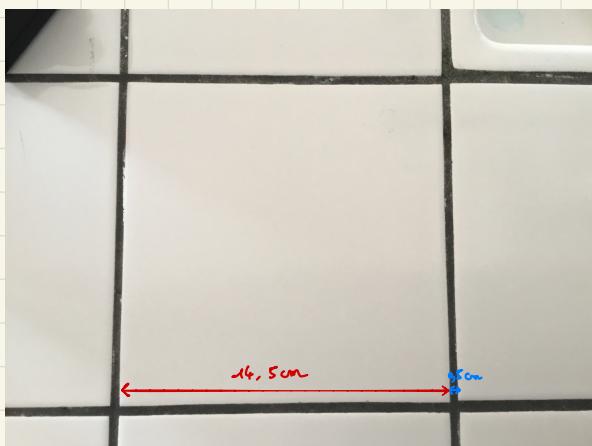
Récepteur et émetteur 1 : Téléphone



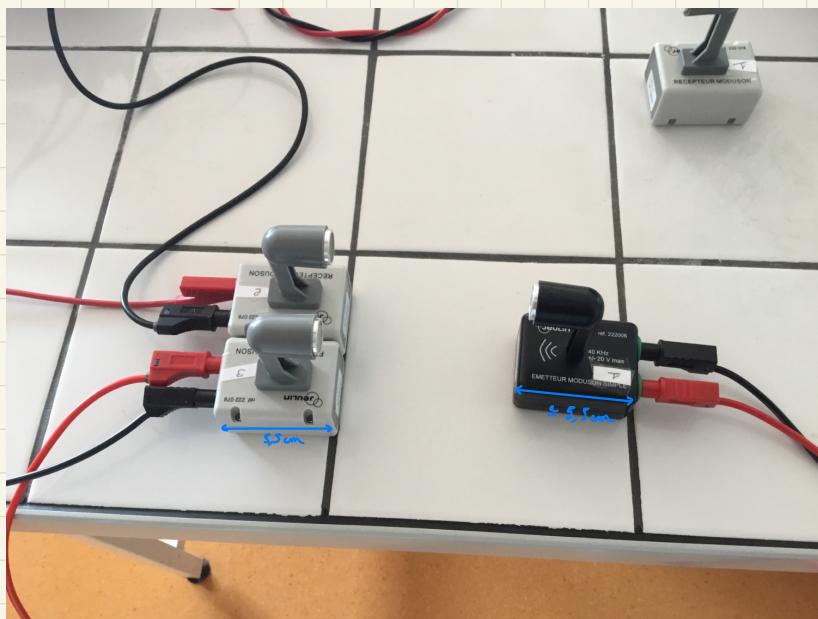
Récepteur et émetteur 2 : Antenne la plus proche

Récepteur et émetteur 3 : Antenne la plus éloignée

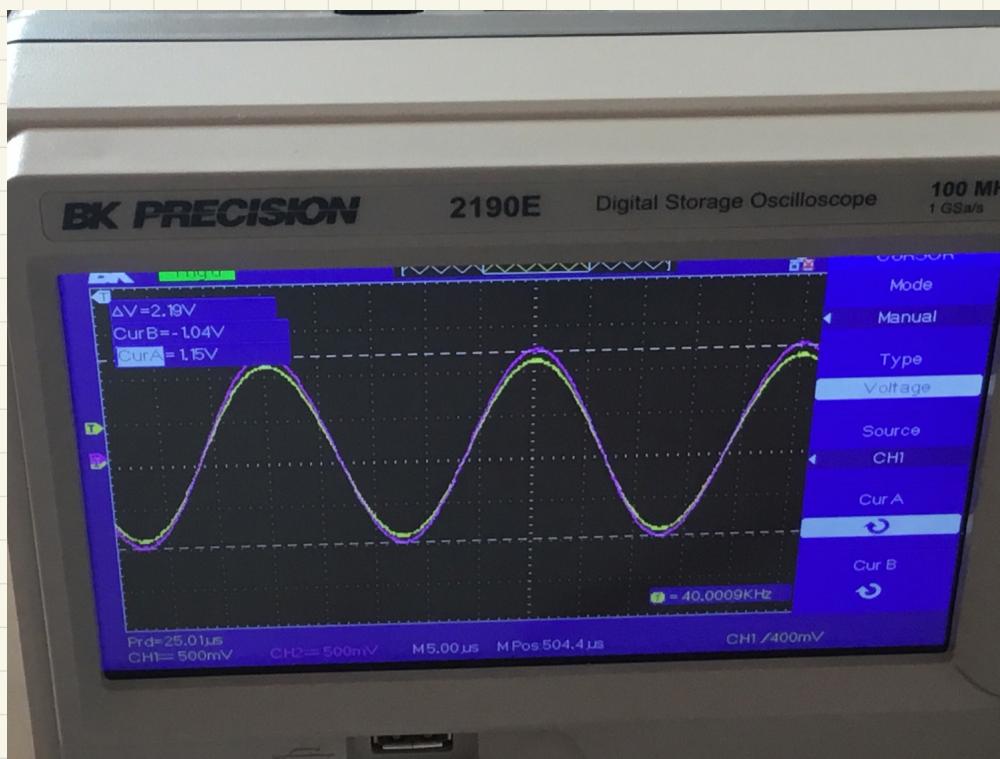
- Distance 1 cannel = 14,5cm \oplus le joint 5mm



On cherche à faire varier la distance entre R (2) et E (1).



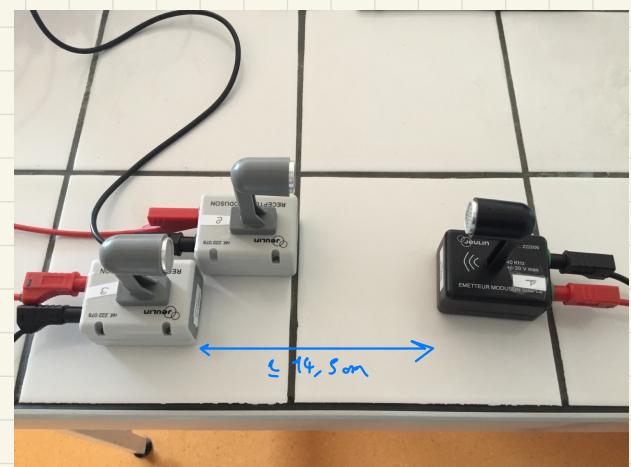
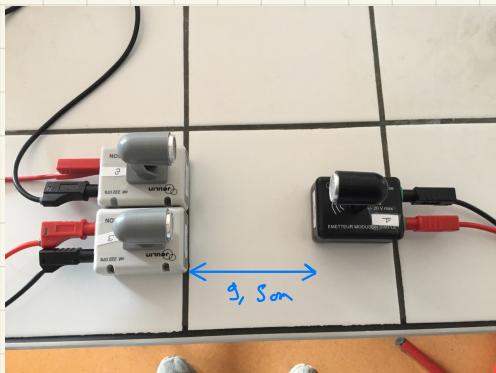
On observe une
mise en phase, il n'y
a pas de déphasage.
(Ce qui me semble être normal)

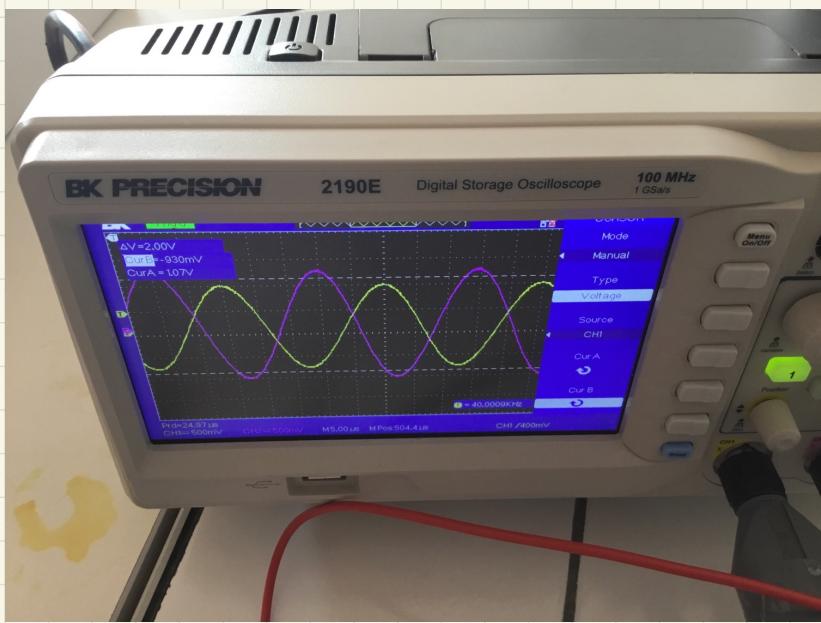


$$A = ? \text{, } 15 \text{ V (Violet) (2)}$$

$$B = ?_{100} \text{ V (Jaune) (1)}$$

Recevons l'antenne ③ :

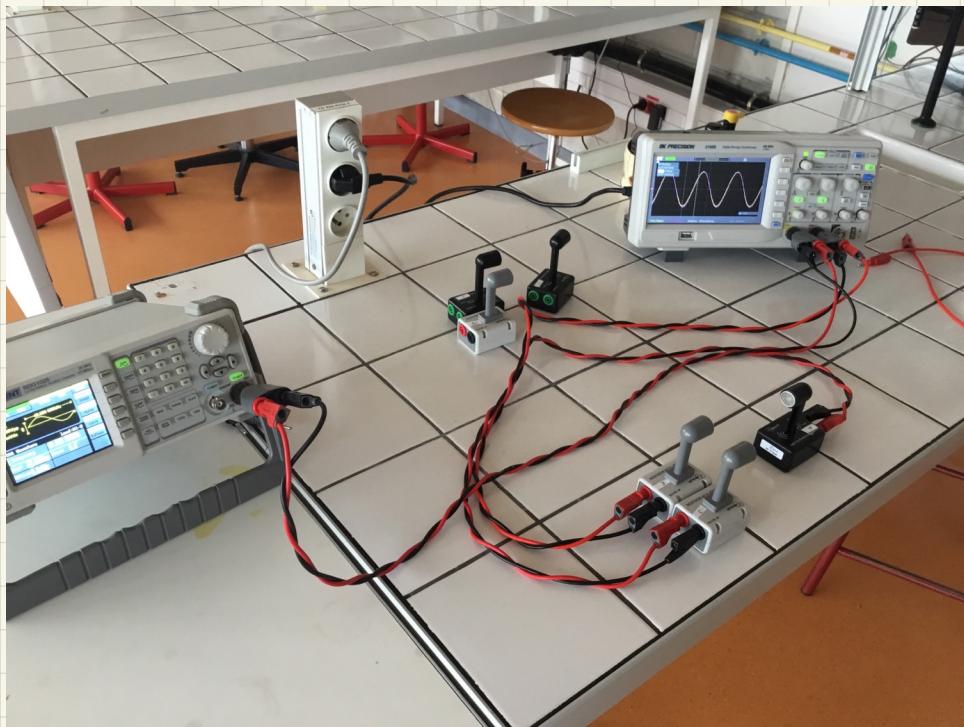




On observe un déphasage



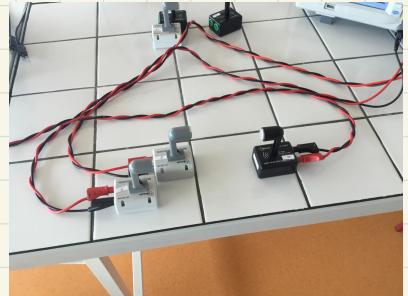
Séance 2 :



1^{re} installation -

Mise en phase - OK

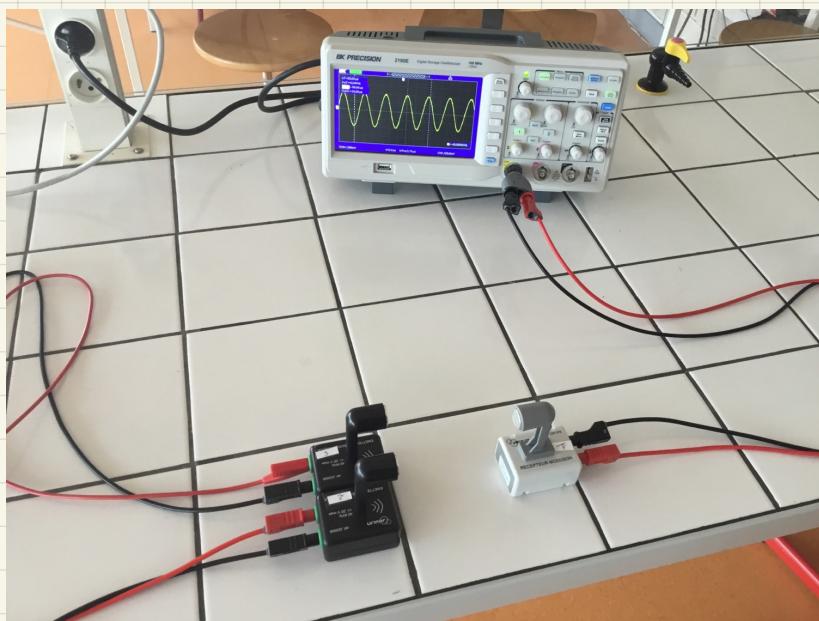
Déphasage : OK



Essayons le retourneau simple pour
éliminer ce déphasage :

- je branche les émetteurs (antennes)

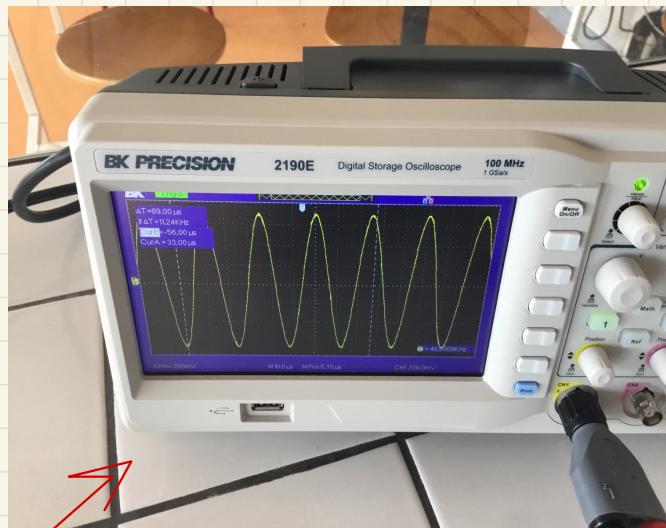
- un seul récepteur doit recevoir le signal



Lorsque l'on fait varier la phase sur l'un des émetteurs (3).

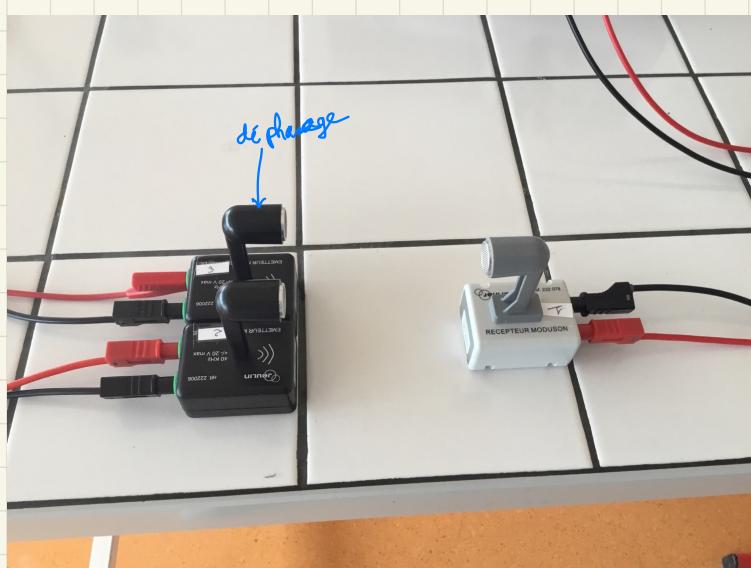
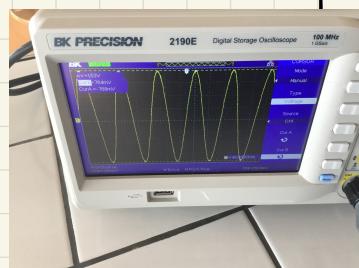
Pour modéliser, le déphasage par le signal émis initialement par le téléphone, car une antenne plus éloignée que l'autre.

Augmentation de phase (Déphasage - (3)) :

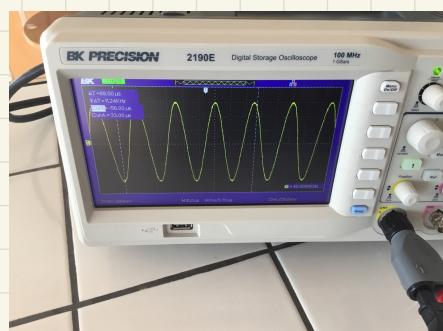


- On n'a pas de déphasage, une amplitude de 1,53 V

on a une phase de 0° et



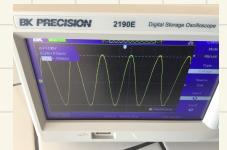
- Lorsque l'on prend un déphasage de 100° , on remarque que l'amplitude du signal reçu diminue.



Phase : 100°

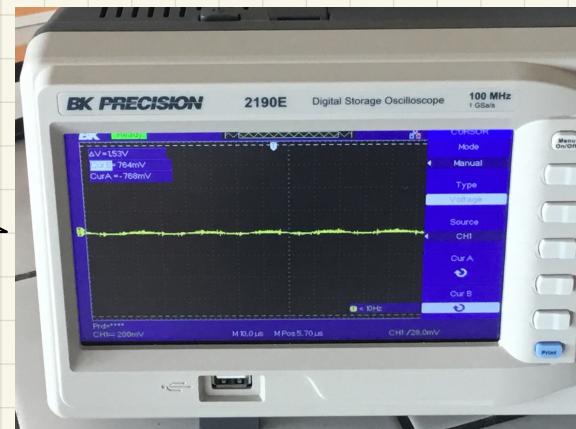
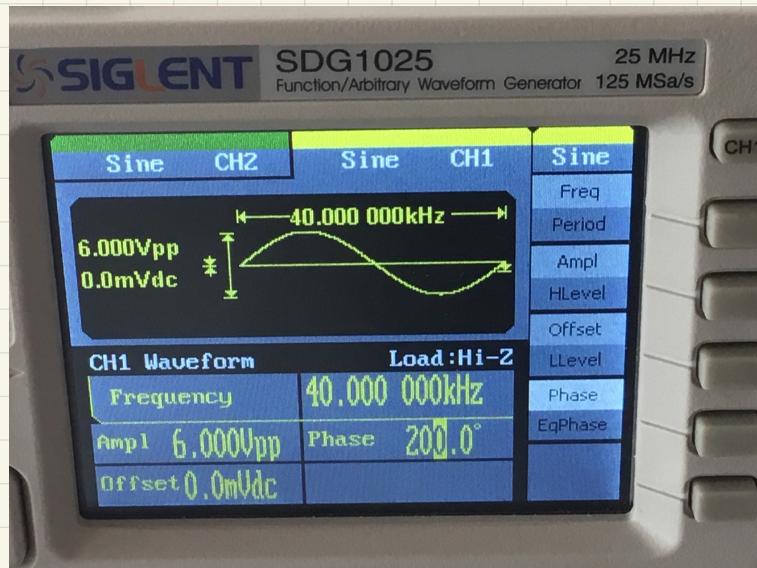
Amplitude :

$$A = 1,16 V$$



On remarque donc que l'amplitude diminue, on a un signal moins fort - (Ici, une baisse de $0,37\sqrt{}$)

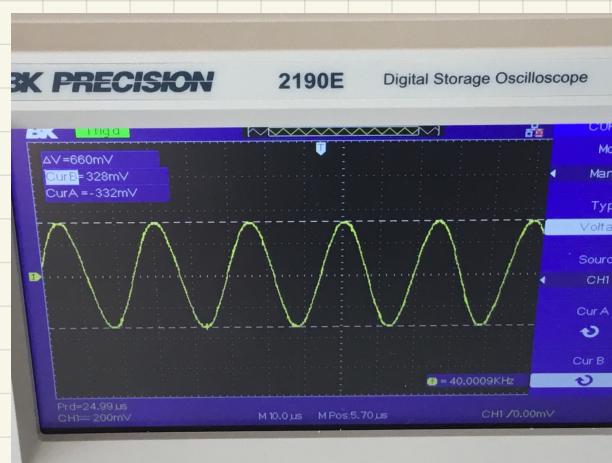
Mais à partir d'un déphasage de 200° , le signal est nul.



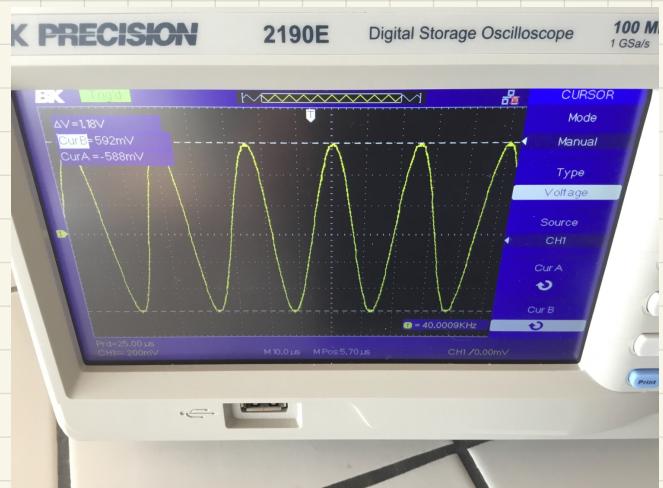
Mais ce qui est intéressant c'est que dépassé cette phase le signal augmente, son amplitude croît.

Phase: 250°

Phase: 300°



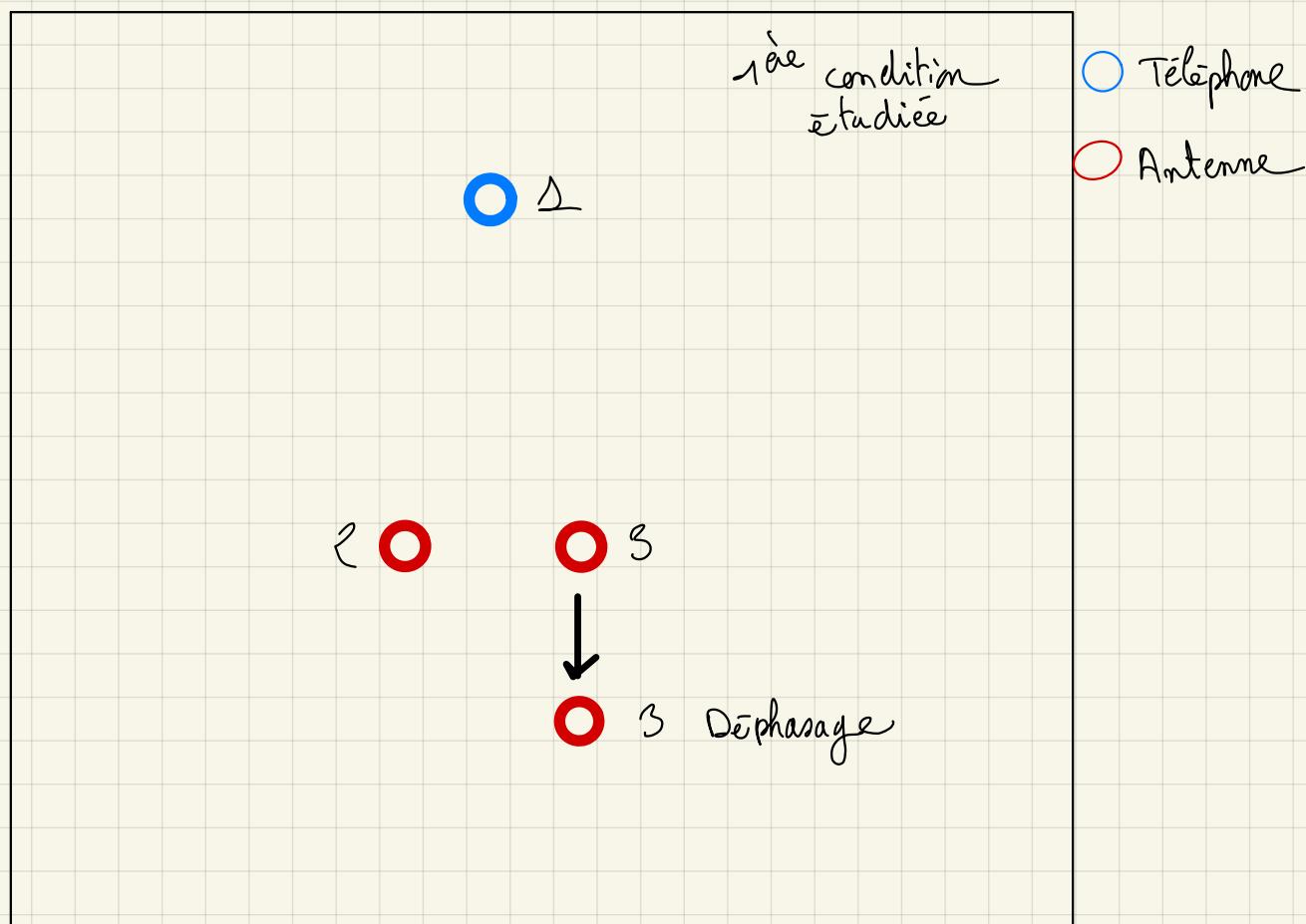
Amplitude : $A = 660 \text{ mV}$



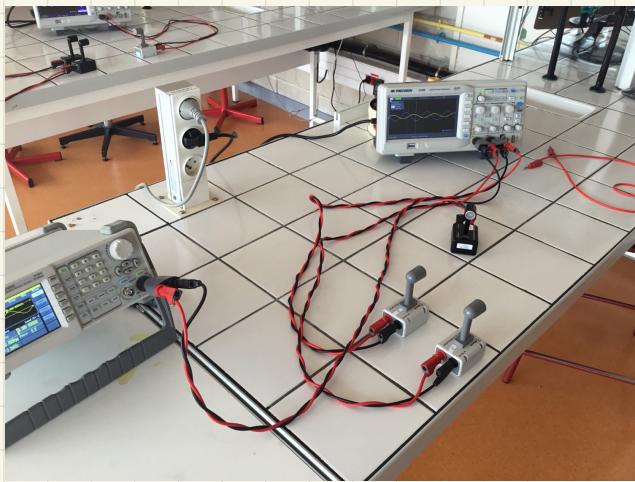
Amplitude : $A = 1,18\sqrt{}$

On peut donc voir que en fonction du déphasage, le signal émis peut-être plus fort et peut correspondre au signal initial. Il n'y a pas de perte de donnée.

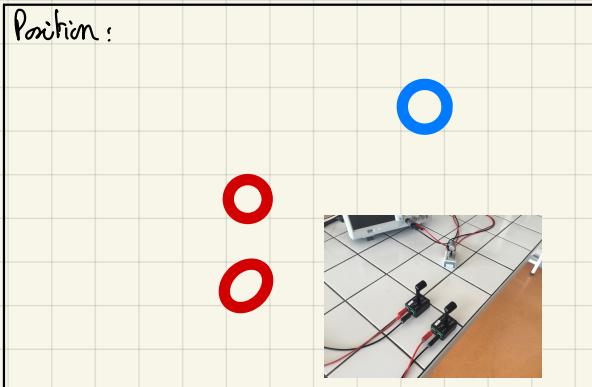
- On pourra effectuer une carte de position du téléphone et des antennes pour déterminer dans quel condition le déphasage est optimal.



Mesures différentes :

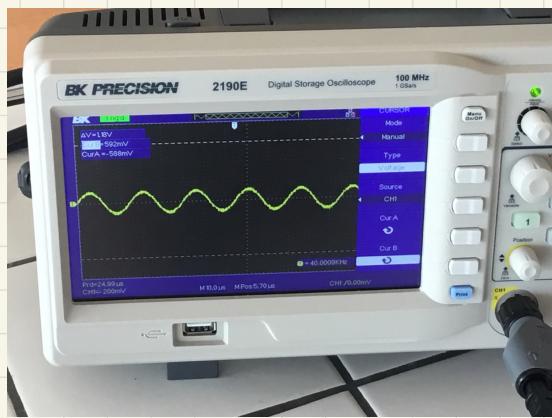


Position :



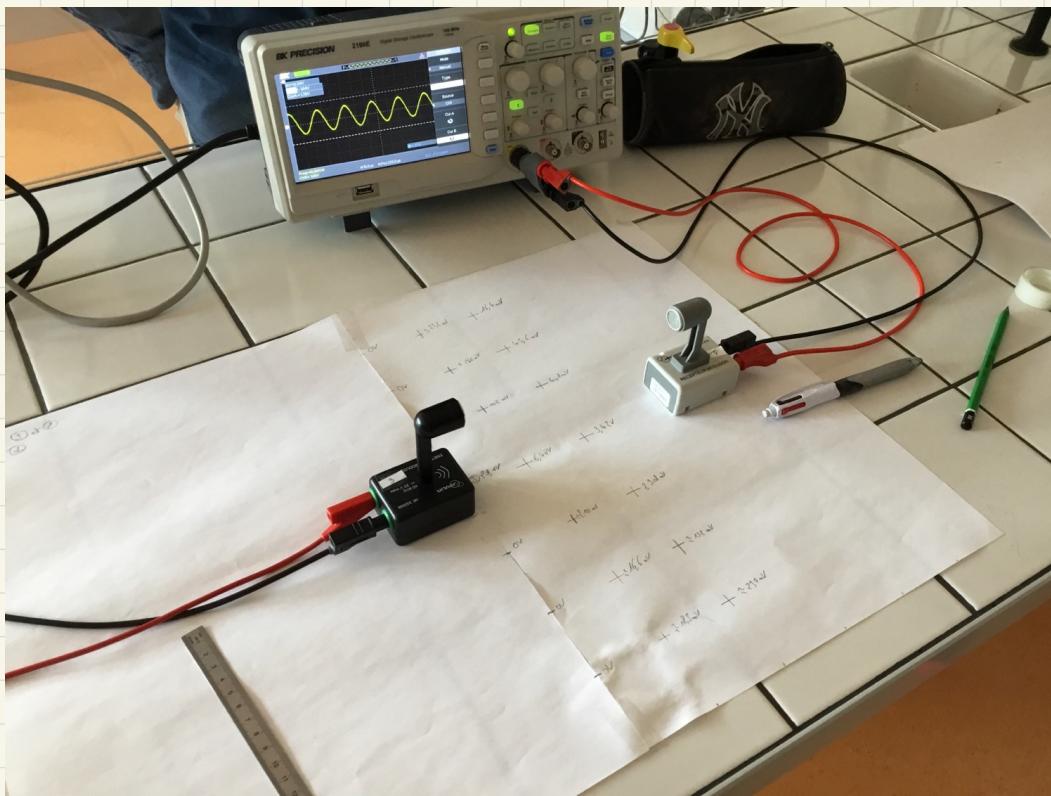
Phase : 0° 180° \rightarrow

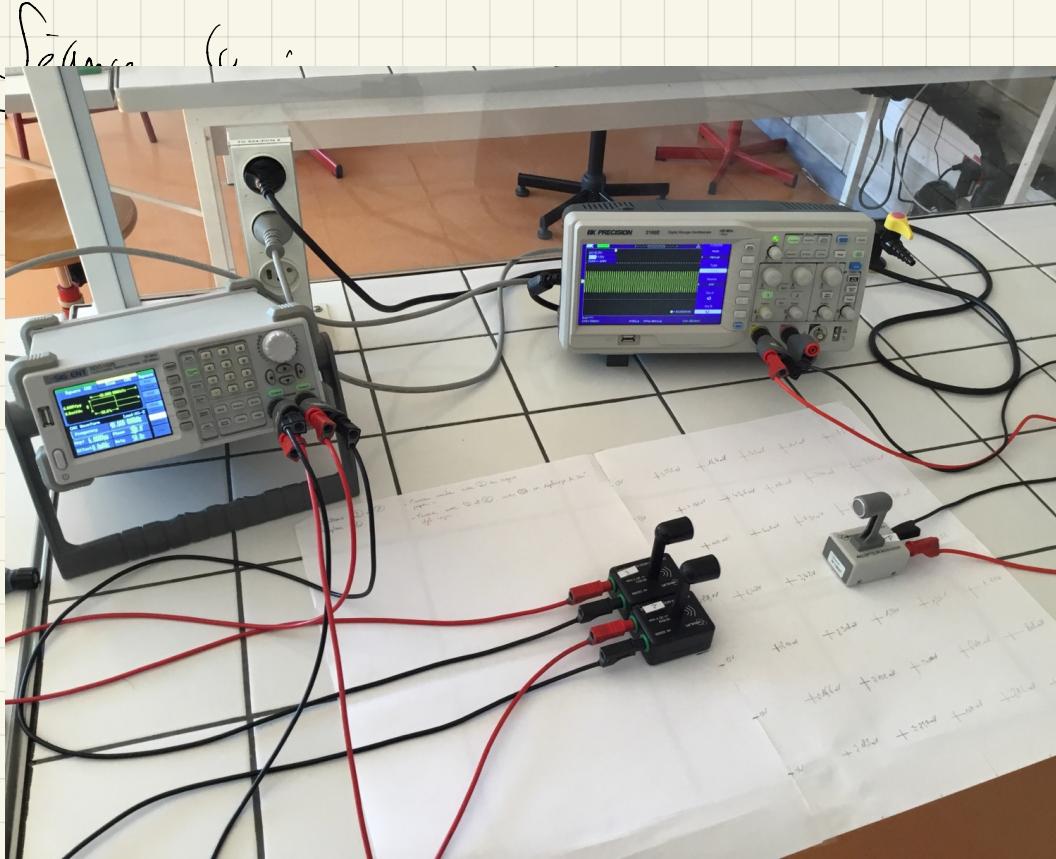
Aux alentours de 180°
on distingue un max -



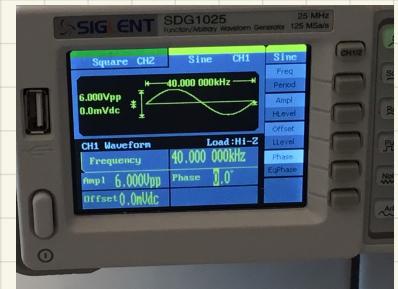
Vers 360° , l'amplitude commence à baisser.
Séance 3:

La position fonctionne





Pour (2)



Pour (1)

Finalisation de la prise de mesure d'amplitude: -1 émetteur (3) un second (2) et des 2

Séance 5:

Recherche d'une certaine modélisation de l'expérience:

- Modélisation d'une surface ($x, y, \text{amplitude}$) sur un axe en 3D.
- En python utilisation du module matplotlib.pyplot pour représenter les valeurs expérimentales.

-Recherche pour la modélisation 3D: fonction du registre matplotlib selon la notice du magistère.

FIGURE 2 –

4 Tracer des courbes à partir de points écrits dans un fichier

4.1 Une seule courbe

On veut tracer une courbe définie non pas par une expression mathématique mais par une liste de points dont les coordonnées x et y sont écrites dans un fichier. Ces coordonnées peuvent par exemple être le résultat d'un calcul effectué par un programme C/C++ ou des valeurs expérimentales. Sur chaque ligne du fichier figure un couple x, y comme sur l'exemple suivant :

```
1.82776e+08 1.38477e+08
1.82777e+08 1.36734e+08
1.82778e+08 1.34974e+08
...
```

Les instructions Python sont :

```
1.loadtxt('courbe_6.dat')
x=1[:,0]
y=1[:,1]
plot(x,y)
```

où `courbe_6.dat` est le nom du fichier contenant les coordonnées des points. Cela donne la figure :

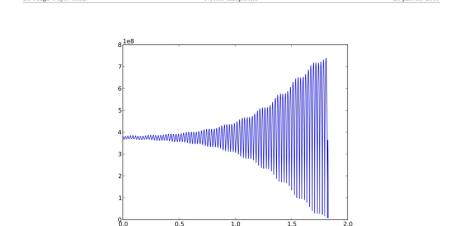


FIGURE 3 –

4.2 Plusieurs courbes

On a deux courbes définies respectivement par deux listes de couples de points (x_1, y_1) et (x_2, y_2) . Le fichier doit être de la façon suivante :

```
...  
x1 y1  
x2 y2  
x3 y3  
...  
x_{n-1} y_{n-1}  
x_n y_n
```

Par exemple :

```
0.5 0.83325 0.420871
1 0.83325 0.425152
1.5 0.83325 0.429512
```

Pour tracer une surface à partir de points:

15 sur 16

L3 MagI Phys. fond.

Notice matplotlib

21 janvier 2019

6.2 Surface définie par des points

Les valeurs de x et y doivent constituer un réseau régulier.
Dans le fichier chaque ligne contient les valeurs de z pour un x donné et toutes les valeurs de y .

6.2.1 Tracé brut

```
Z=loadtxt('surface_2.res')
X=xrange(Z.shape[0])
Y=yrange(Z.shape[1])
X,Y=meshgrid(X,Y)
gca(projection='3d').plot_surface(X,Y,Z.T,rstride=1,cstride=1,linewidth=0,
cmap=cm.spectral_r,antialiased=False)
```

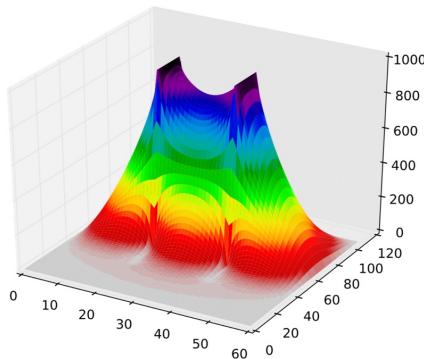


FIGURE 12 –

15

Les mesures expérimentales :

L3 MagI Phys. fond.

Notice matplotlib

21 janvier 2019

6.2.2 Tracé habillé

```
figure(1,figsize=(16,6))
subplot(1,2,1,projection='3d')
Z=loadtxt('surface_2.res')
X=xrange(Z.shape[0])
Y=yrange(Z.shape[1])
X,Y=meshgrid(X,Y)
gca().plot_surface(X,Y,Z.T,rstride=1,cstride=1,linewidth=0,cmap=cm.spectral_r,antialiased=False)
xlabel('x')
ylabel('y')
title("Potentiel electrostatique")
subplot(1,2,2)
cont=contour(Z.T,linspace(0,1000,11),cmap=cm.spectral_r)
clabel(cont,fmt='%d')
xlabel('x')
ylabel('y')
title('Courbes de niveau')
```

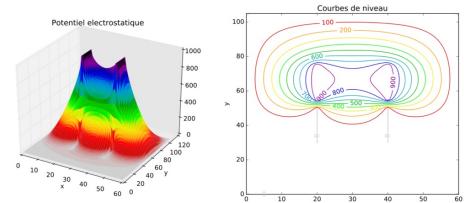
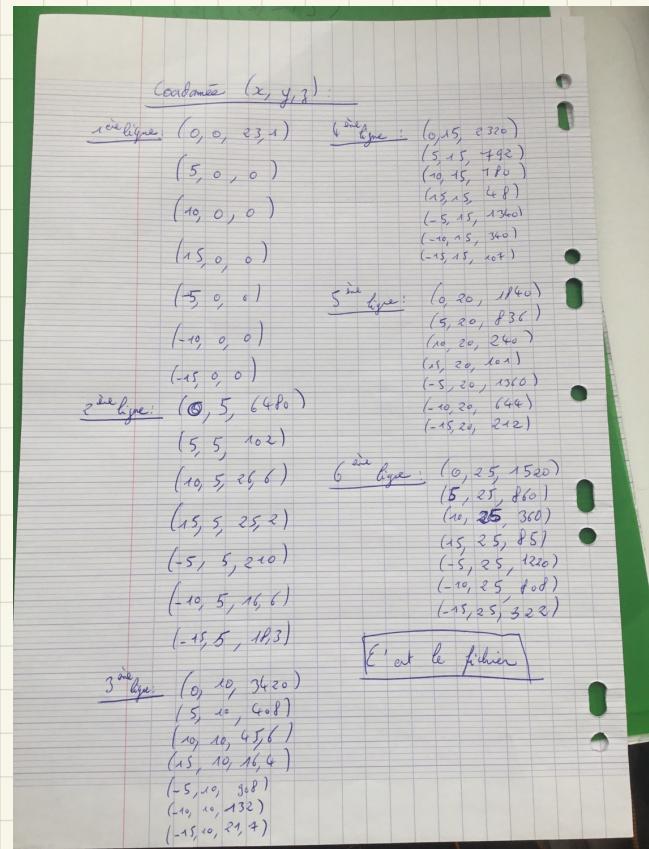
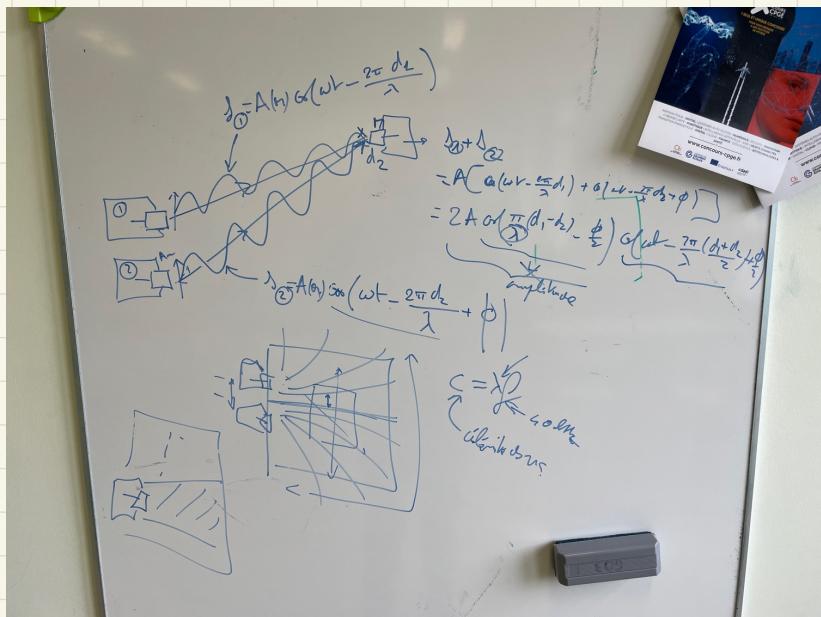


FIGURE 13 –

16





$$\begin{aligned}
 &= 2A \cos \left(\frac{\pi(d_1 - d_2)}{\lambda} - \frac{\phi}{2} \right) \\
 &= 2A \cos \left(\frac{\pi(d_1 - d_2)}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &d_1 = A(n) \sin(\omega t - \frac{2\pi d_1}{\lambda}) \\
 &d_2 = A(n) \sin(\omega t - \frac{2\pi d_2}{\lambda})
 \end{aligned}$$

