



CentraleSupélec



Station Sol

Supsat

Contexte



Swisscube de l'EPFL

Supsat : association fondée en 2012 dans l'objectif de concevoir et lancer un cubesat

Cubesat 1U : nanosatellite de 10cm^3 , 1,33kg, et 1W au maximum

Pour étudier la reconfiguration partielle de FPGAs dans l'espace



Introduction



Objectif :

- Concevoir et construire une station sol de suivi et de communication pour satellites, et en particulier, le futur cubesat de Supsat

Subdivisions :

- Aspects mécaniques et logiciels permettant le suivi automatisé du cubesat
- Aspects d'émission et réception de données : antenne et circuit radiofréquence

Bases :

- Commencé en projet l'an dernier
- Utilisation de la structure fabriquée

Plan



I. Structure et mécanique

1. *Présentation*
2. *Caractéristiques*
3. *Conclusion*

II. Contrôle du suivi

1. *Fonctionnement*
2. *Matériel*
3. *Logiciel*
4. *Réalisation*
5. *Conclusion*

III. Réception et émission

1. *Architecture*
2. *Bilan de liaison*
3. *Choix et alimentation de l'antenne*
4. *Réalisation et essai de l'antenne*
5. *Circuit RF*
6. *Conclusion*



CentraleSupélec

Station Sol



I. Structure et mécanique

1. *Présentation*
2. *Caractéristiques*
3. *Conclusion*

I. Structure et mécanique

1. Présentation

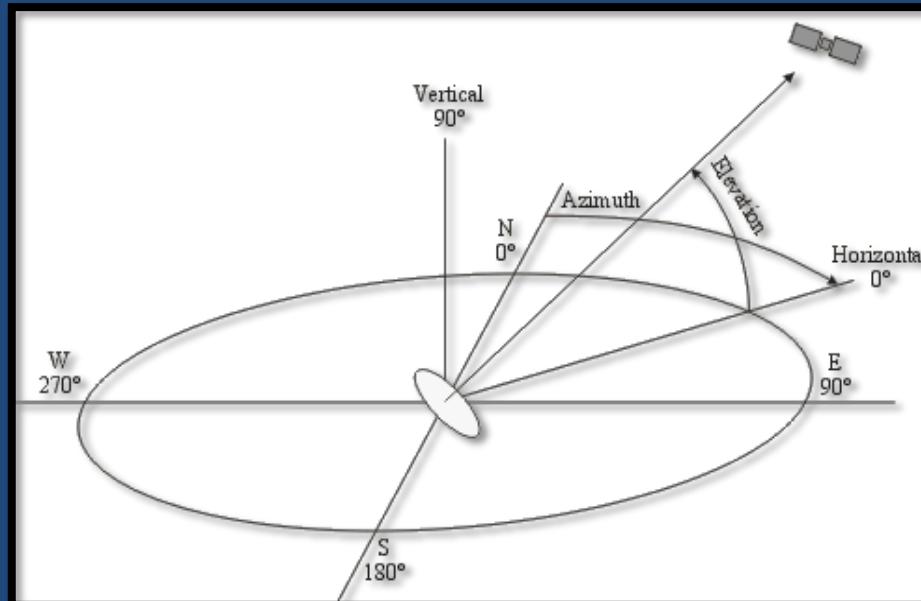


Illustration des angles d'azimut et d'élévation



Structure héritée du projet de l'an dernier

I. Structure et mécanique

2. Caractéristiques



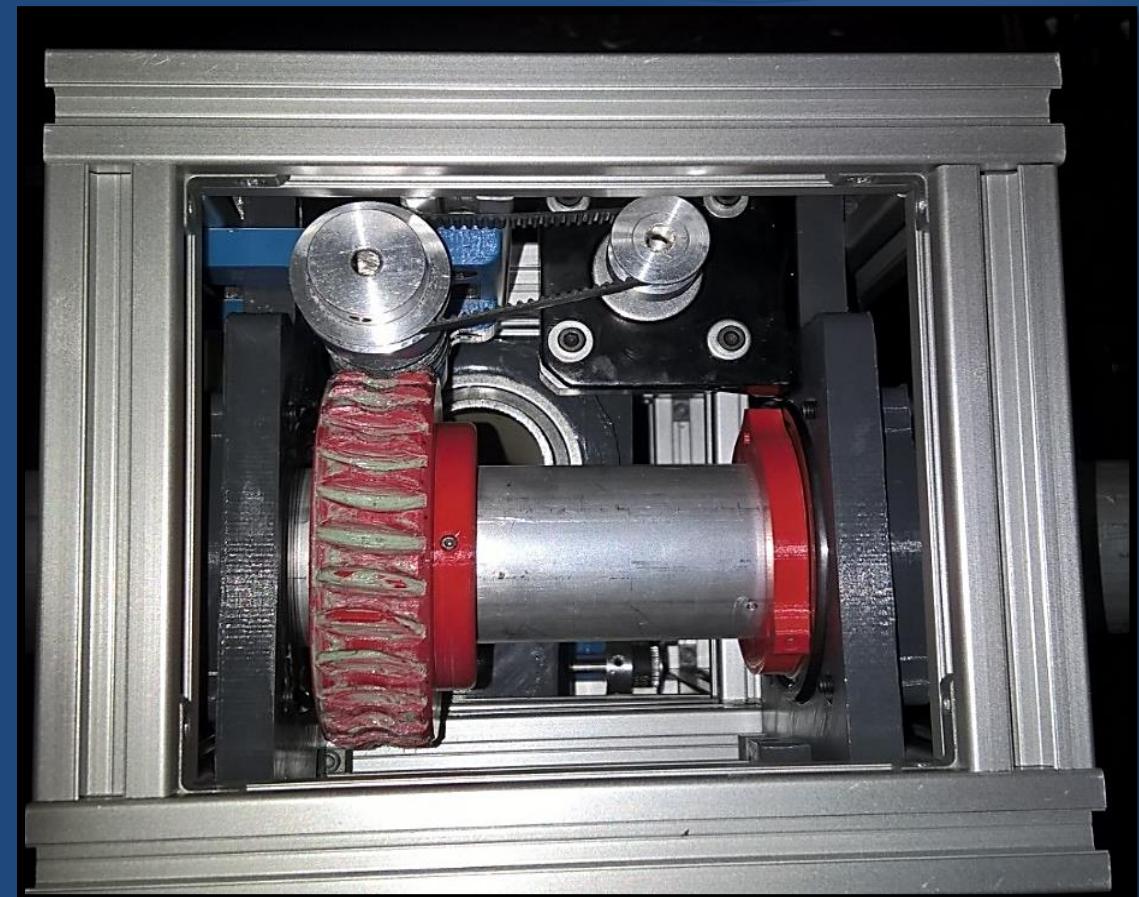
Rapport de réduction global : 1/54

Précision : 0,03°

Jeux mécaniques : 1,5°



Moteur pas-à-pas

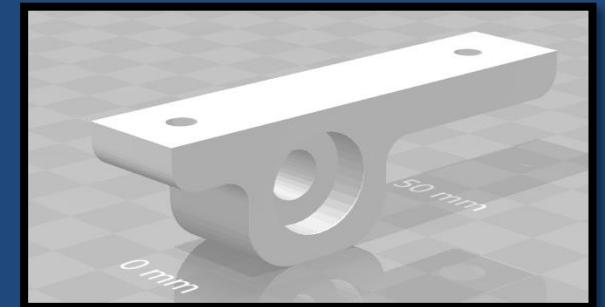


Aperçu du mécanisme

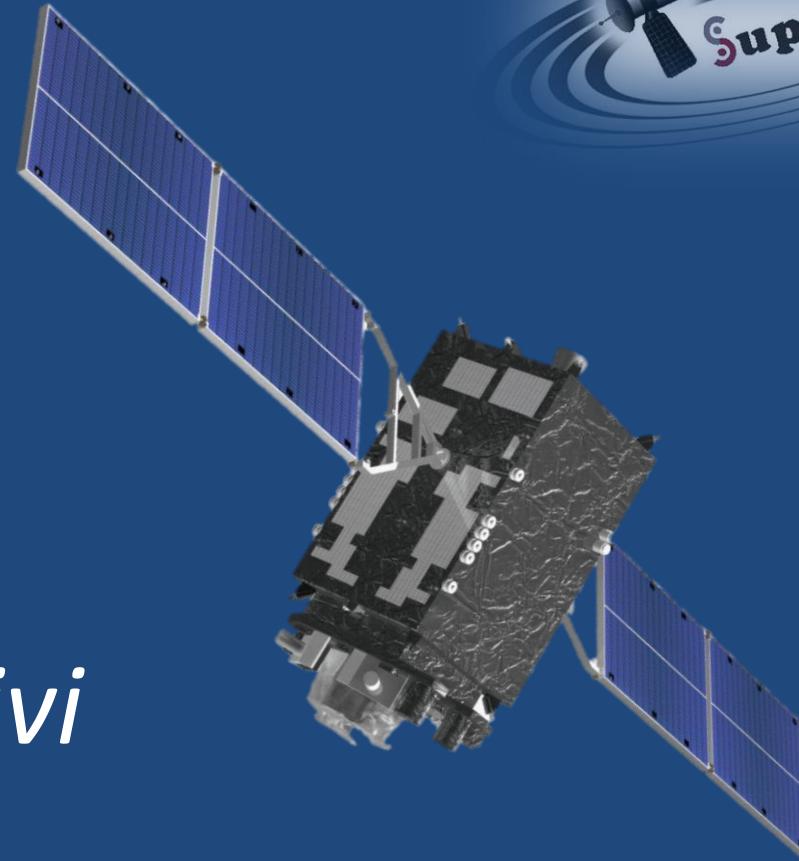
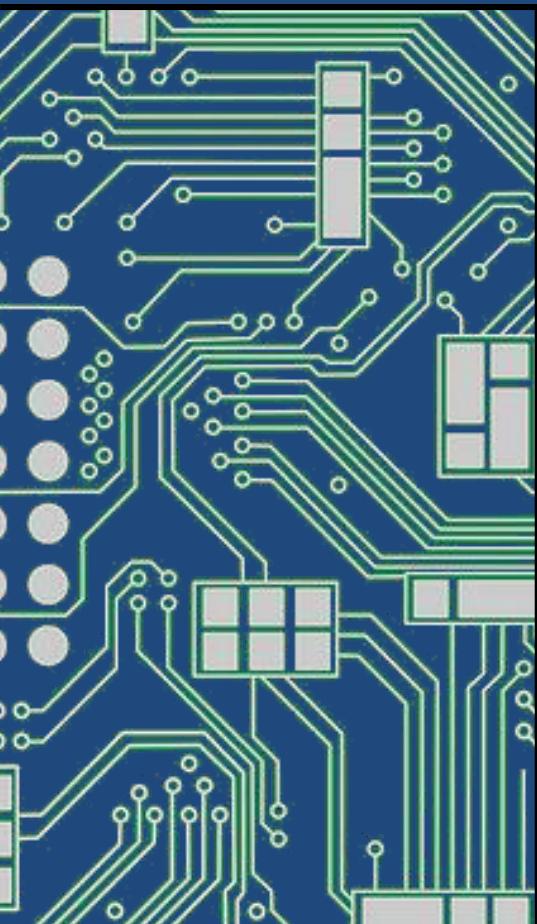
I. Structure et mécanique

3. Conclusion

- Défauts corrigés :
 - Réimpression des pièces redimensionnées
 - Jeux réduits par l'ajout de rondelles de calage
- Travail restant :
 - Pied à ancrer
- Impression d'un boitier en 3D (détaléé plus tard)
- Durabilité des matériaux à constater à plus long terme



Station Sol



II. Contrôle du suivi

1. *Fonctionnement*
2. *Matériel*
3. *Logiciel*
4. *Réalisation*
5. *Conclusion*

II. Contrôle du suivi



1. Fonctionnement

- Connexion au réseau WiFi supelec-invite
- Collecte des TLE sur le site de la NORAD
- Synchronisation de la date et de l'heure d'un RTC depuis un serveur NTP
- Calcul des commandes d'élévation et d'azimut à tout instant
- Contrôle des moteurs pas-à-pas
- Affichage de contrôle sur un écran

SWISSCUBE
1 35932U 09051B 18043.92525997 .00000102 00000-0 33982-4 0 9993
2 35932 98.5251 192.2353 0006949 224.9949 135.0686 14.56119658445318

Exemple de TLE pour le Swisscube de l'EPFL

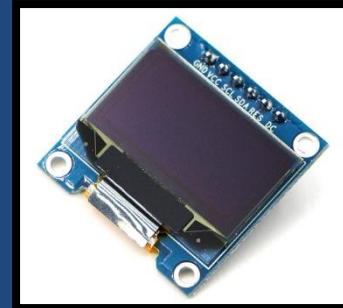
II. Contrôle du suivi



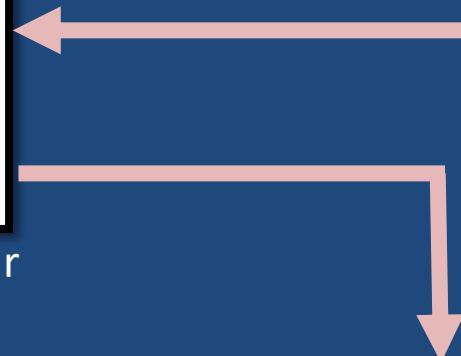
2. Matériel



ESP32 : Microcontrôleur



SSD1306 : Écran



TLE4905L :
Capteur à effet Hall



Adafruit Motor Drive :
Contrôleur des moteurs



Moteur pas-à-pas

Chaine d'information

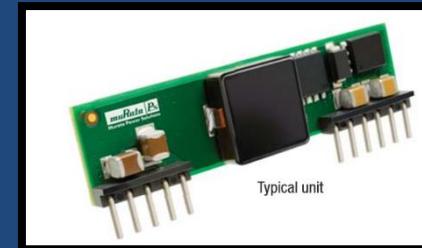
II. Contrôle du suivi



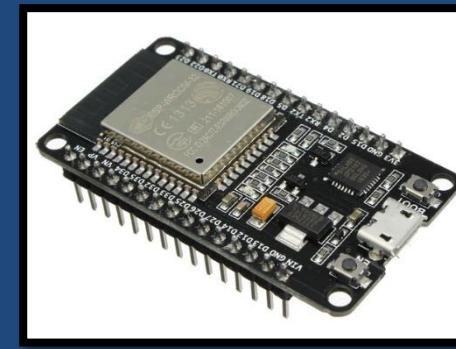
2. Matériel



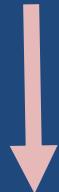
Batterie
11,8V / 1800mAh



Convertisseur DC/DC



ESP32 : Microcontrôleur



5V
10A moyen max
16A instantané max



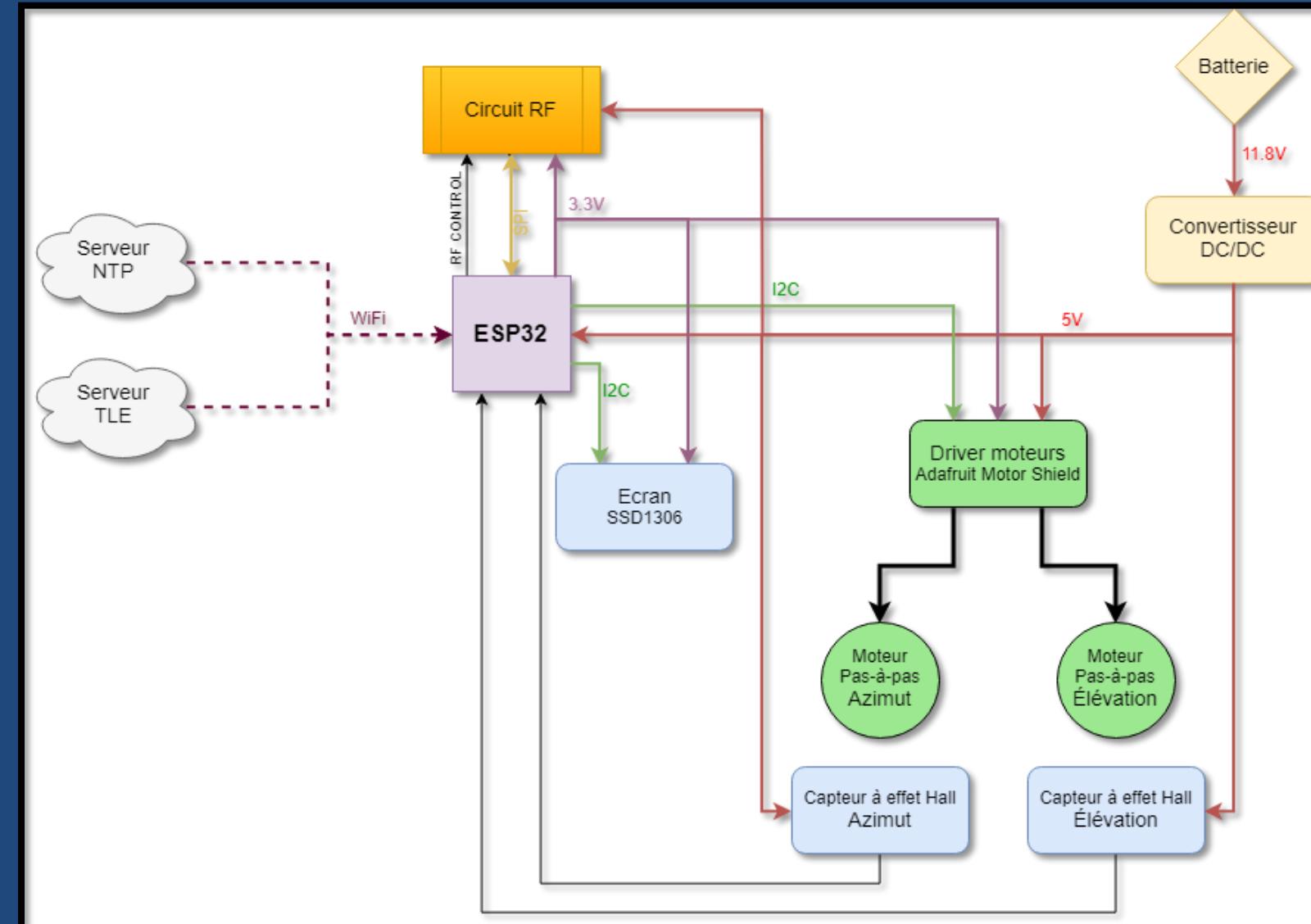
3,3V
1A moyen max
1A instantané max

Chaine d'énergie

II. Contrôle du suivi



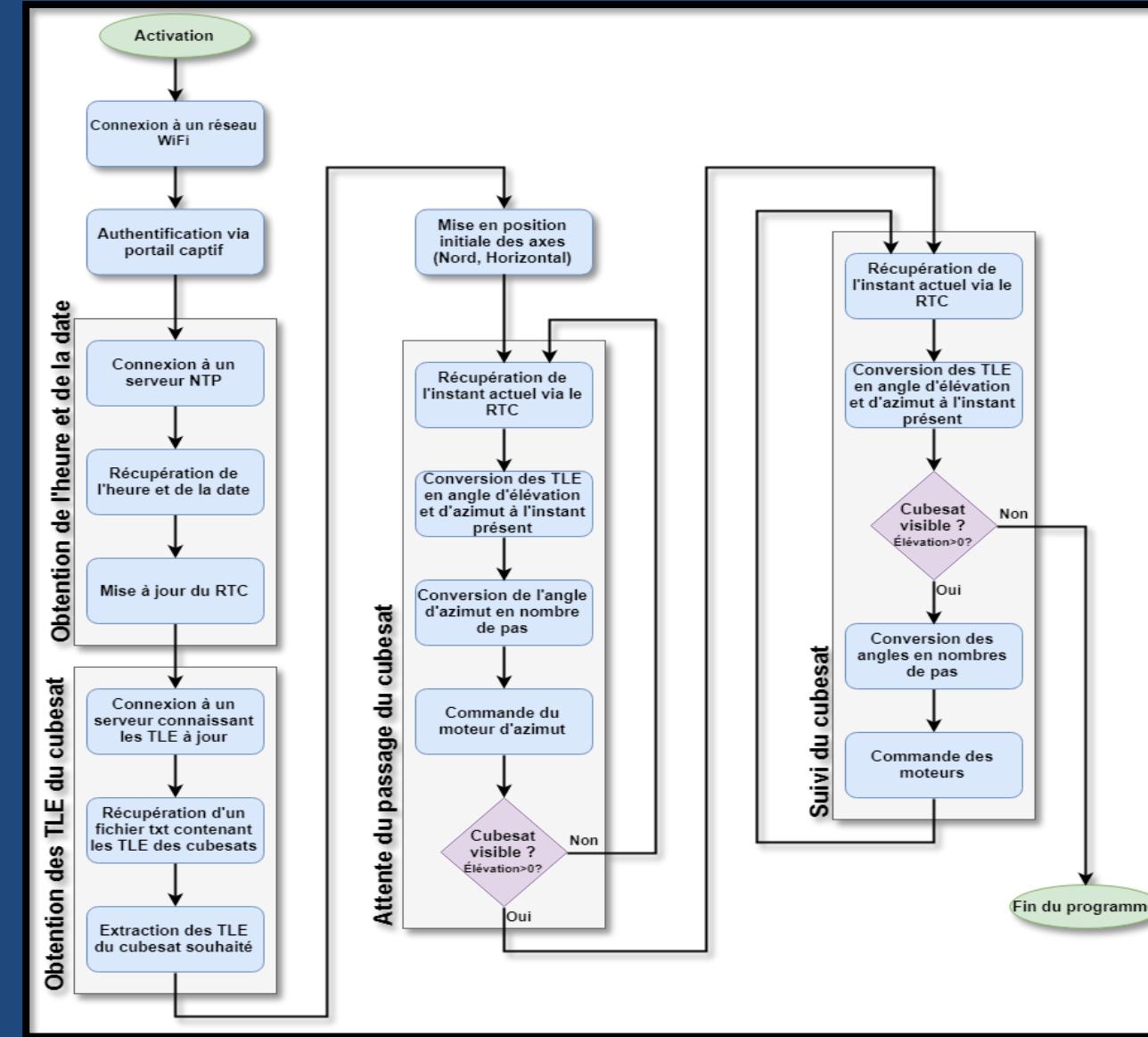
2. Matériel



II. Contrôle du suivi



3. Logiciel



II. Contrôle du suivi



3. Logiciel

S	t	a	t	i	o	n	S	o	I	S	u	p	s	a	t
0	1	/	0	5	/	1	8		1	7	h	2	0		
W	i	F	i	:	✓	I	s	u	p	e	I	e	c	-	i
R	T	C	:		✓					T	L	E	:		✓
S	a	t	:			S	W	I	S	S	C	U	B	E	
V	i	s	i	b	l	e	:		x						
A	z	:	1	3	2	°			E	I	:	-	2	5	°
			A	t	t	e	n	t	e	V	i	s	i	b	.

S	t	a	t	i	o	n	S	o	I	S	u	p	s	a	t
0	1	/	0	5	/	1	8		1	7	h	2	1		
W	i	F	i	:	✓	I	s	u	p	e	I	e	c	-	i
R	T	C	:		✓					T	L	E	:		✓
S	a	t	:			A	L	S	A	T		1	N		
V	i	s	i	b	l	e	:		?						
A	z	:	x			E	I	:		?					
!	P	o	s			I	n	i	t	A	z	E	r	!	

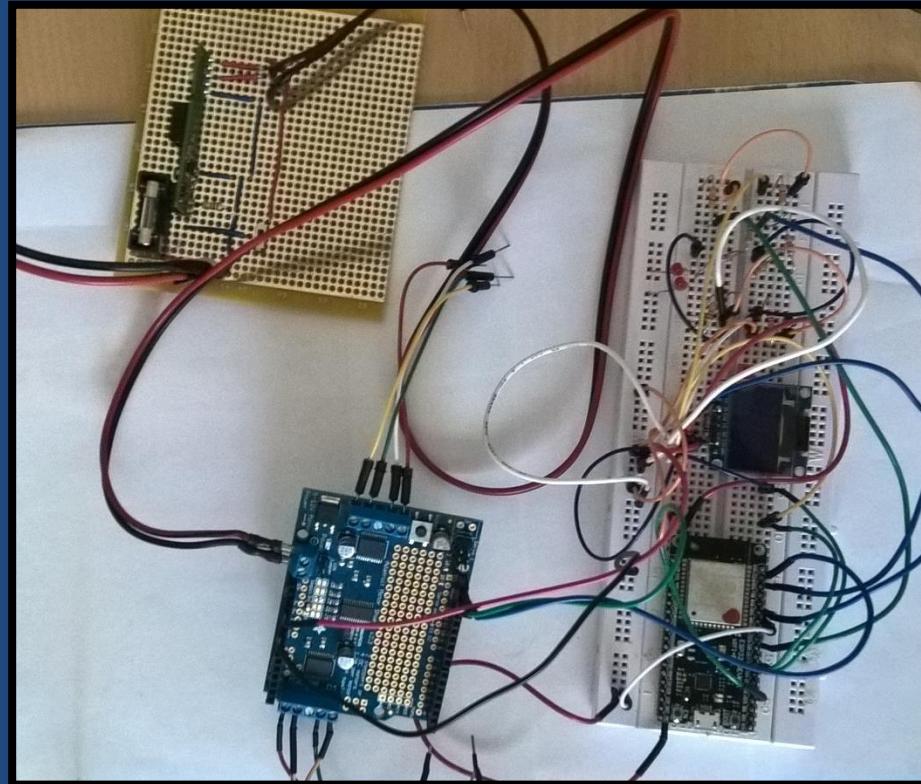
Texte statique
Date
Heure
Signale l'état d'un élément : x , ? ou ✓
Azimut actuel
Elévation actuelle
Informations sur l'état ou indique l'erreur
Nom du réseau WiFi (tronqué si trop long)
Nom du satellite suivi (tronqué si trop long)



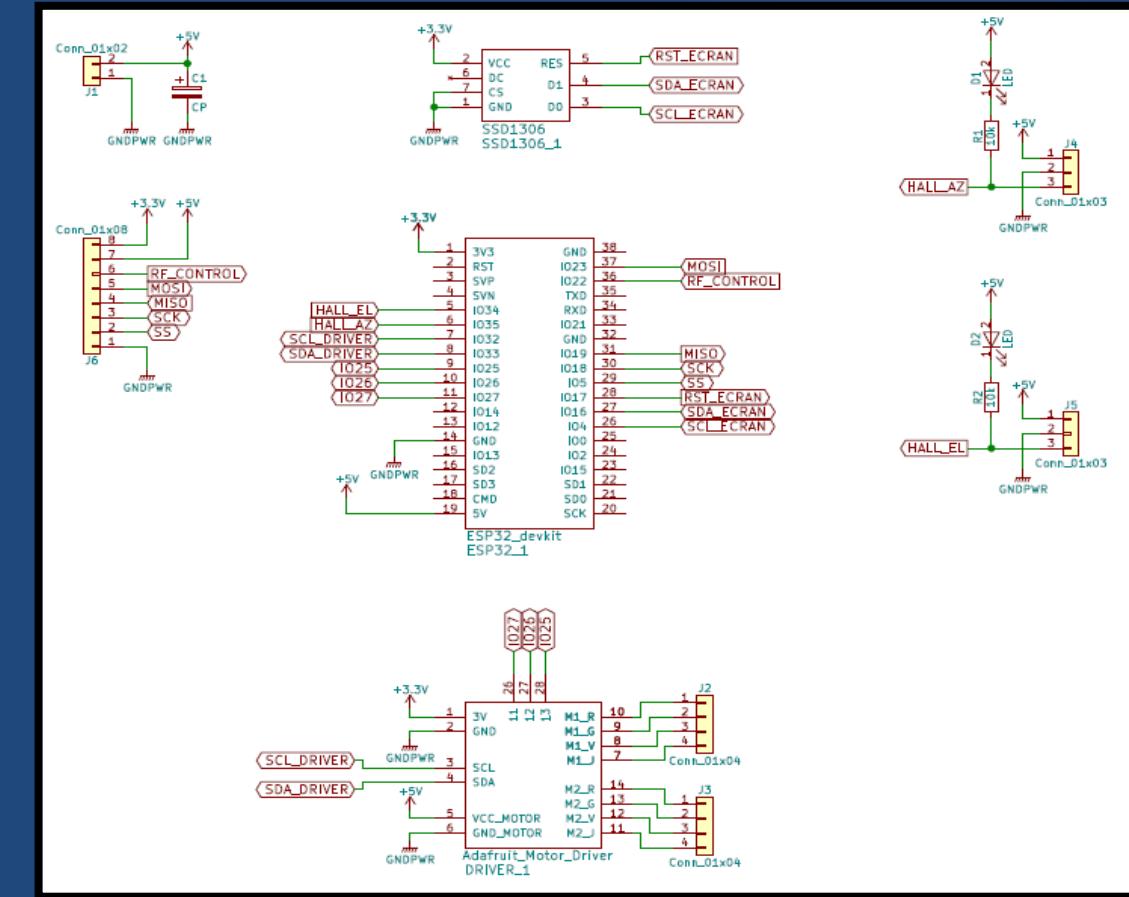
Affichage

II. Contrôle du suivi

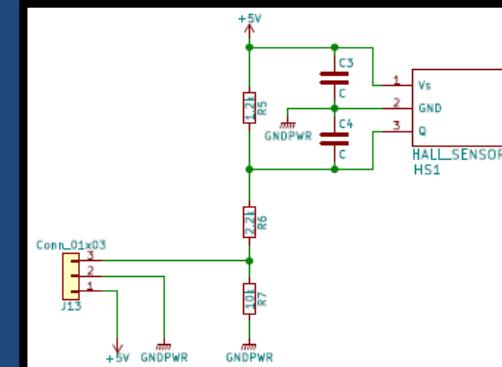
4. Réalisation



Prototype et schémas



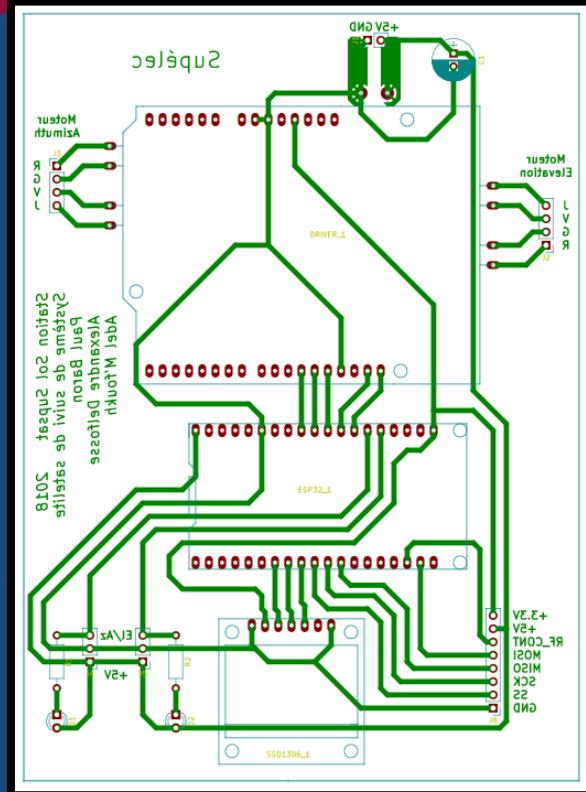
Circuit principal de contrôle



Circuit d'adaptation d'un capteur

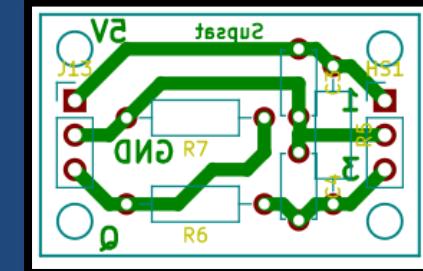
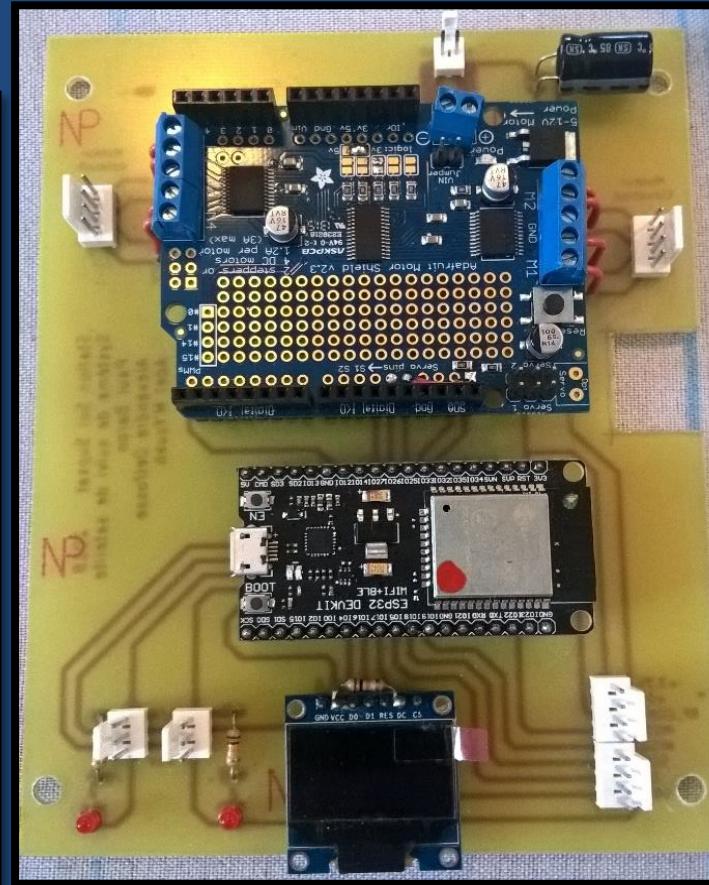
II. Contrôle du suivi

4. Réalisation

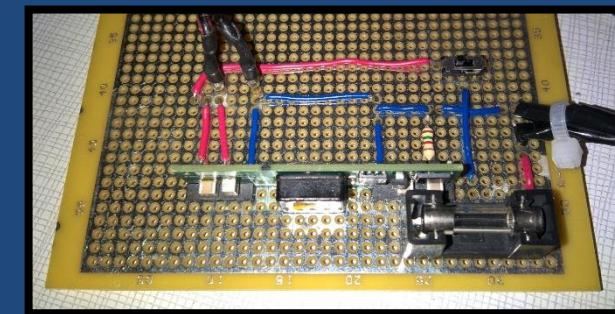


Circuit principal de contrôle

Circuits imprimés



Circuit d'adaptation d'un capteur à effet Hall



Circuit du convertisseur de tension

II. Contrôle du suivi



4. Réalisation

Source de l'imprécision	Ordre de grandeur
Moteur pas-à-pas	0,03°
Jeux mécaniques	1,5°
TLE	0,008° / jour d'ancienneté des TLE
Date et heure	0,06° / seconde d'écart

Bibliothèque	Auteur	Licence	Conditions d'utilisation
SGP4	David Vallado et Hopperpop	MIT	Droit illimité de l'utiliser, le copier, le modifier, le fusionner, le publier, le distribuer, le vendre et de changer sa licence. La seule obligation est de mettre le nom des auteurs avec la notice de copyright.
Motor Shield	ShellAddicted	BSD	Droit illimité de l'utiliser, le copier, le modifier, le fusionner, le publier, le distribuer, le vendre et de changer sa licence.
SSD1306	yanbe	Apache 2.0	Modification autorisée et distribution du code sous toute forme. Obligation du maintien du copyright lors de toute modification.
Autres	IDF d'Espressif	Apache 2.0	

Précision et licences

II. Contrôle du suivi



4. Réalisation

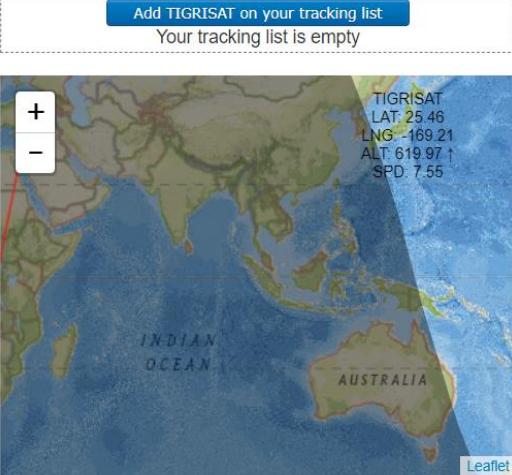
TIGRISAT

[Track TIGRISAT now!](#)
[10-day predictions](#) ⓘ
TIGRISAT is classified as:

 [Amateur radio](#)
 [CubeSats](#)

NORAD ID: 40043 ⓘ
Int'l Code: 2014-033AK ⓘ
Perigee: 613.0 km ⓘ
Apogee: 697.1 km ⓘ
Inclination: 97.8 ° ⓘ
Period: 97.7 minutes ⓘ
Semi major axis: 7026 km ⓘ
RCS: Unknown ⓘ
Launch date: [June 19, 2014](#)
Source: IRAK (IRAK)
Launch site: Orenburg, Russia (OREN)
Uplink (MHz):
Downlink (MHz): 435.000
Beacon (MHz):
Mode: 9600bps FSK
Call sign: HNATIG
Status: **Active**

Add TIGRISAT on your tracking list
Your tracking list is empty



Powered by N2YO.com Local Time: GMT+2

NEXT PASS OF TIGRISAT OVER YOUR CURRENT LOCATION

START AZIMUTH	MAX ELEVATION	END AZIMUTH	TOTAL DURATION
May 3 22:48	22° NNE	22:54 28°	23:01 165° S
			12m 55s

Informations du site n2yo

Essai

Heure: Thu May 3 **22:48:09** 2018
TIGRISAT : Az:**21.891096'** / El:**-0.132035'** / Distance:3046.241494km
Lat:71.960245' / Long:33.829307' / Altitude:683.221034km

Heure: Thu May 3 **22:48:12** 2018
TIGRISAT : Az:**22.058264'** / El:**0.038952'** / Distance:3027.359386km
Lat:71.796014' / Long:33.561826' / Altitude:683.309658km

Heure: Thu May 3 **22:54:42** 2018
TIGRISAT : Az:**93.332656'** / El:**28.487812'** / Distance:1264.678348km
Lat:49.164173' / Long:16.498903' / Altitude:690.997456km

Heure: Thu May 3 **22:54:45** 2018
TIGRISAT : Az:**94.113463'** / El:**28.489484'** / Distance:1264.663920km
Lat:49.045181' / Long:16.452191' / Altitude:691.018879km

Heure: Thu May 3 **22:54:47** 2018
TIGRISAT : Az:**95.284426'** / El:**28.481604'** / Distance:1264.940200km
Lat:48.866665' / Long:16.382463' / Altitude:691.050711km

Heure: Thu May 3 **23:01:15** 2018
TIGRISAT : Az:**165.393346'** / El:**0.125413'** / Distance:3035.356509km
Lat:25.603479' / Long:9.524067' / Altitude:692.660275km

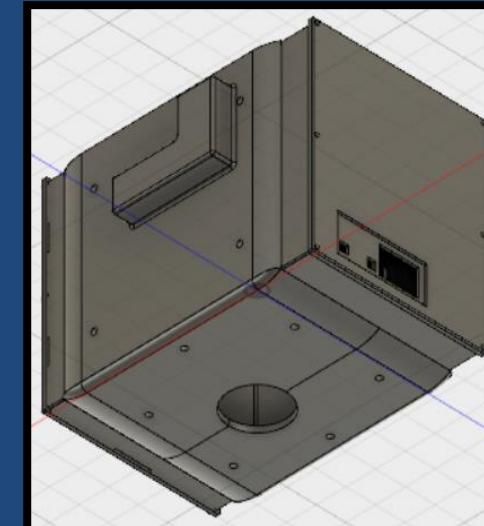
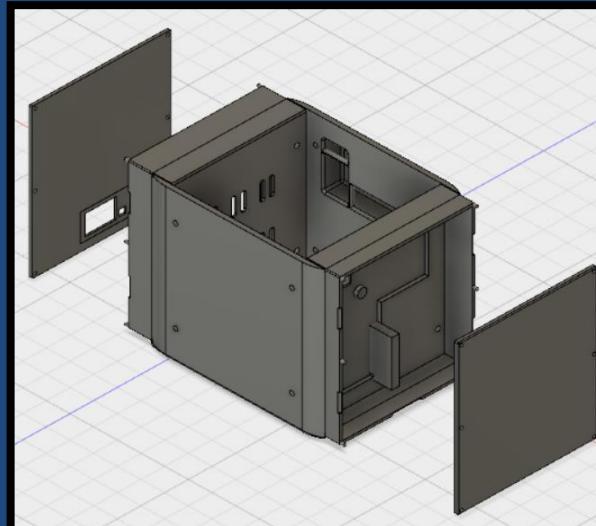
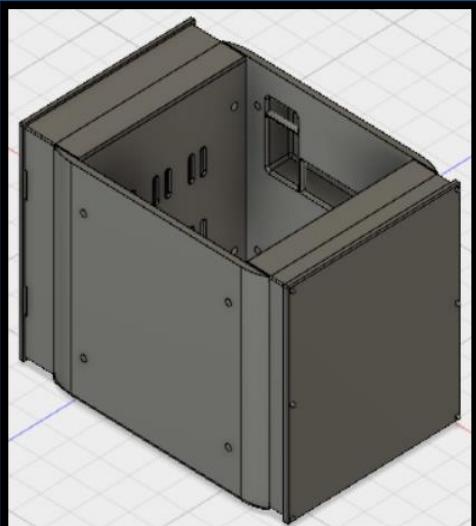
Heure: Thu May 3 **23:01:18** 2018
TIGRISAT : Az:**165.555729'** / El:**-0.045660'** / Distance:3054.30840km
Lat:25.422685' / Long:9.481200' / Altitude:692.657699km

Informations collectées durant le suivi

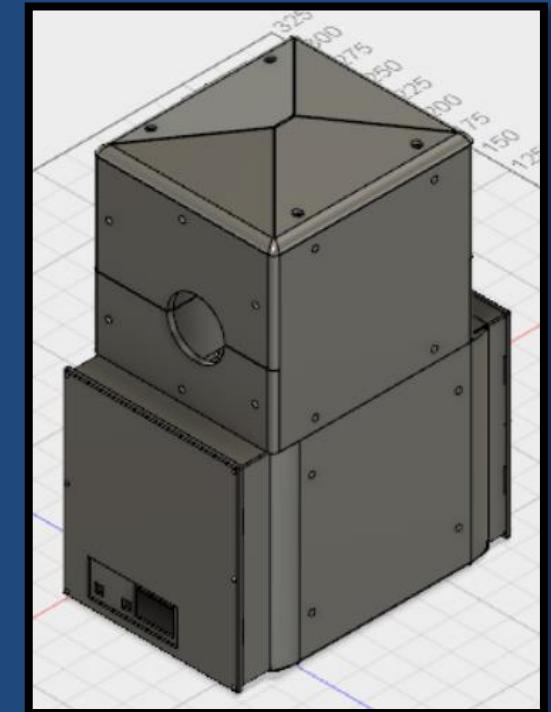
II. Contrôle du suivi



4. Réalisation



Boîtier de la partie basse (vue de dessus, éclatée et de dessous)



Boîtier entier

II. Contrôle du suivi



5. Conclusion

- Système conforme :
 - Fonctionnel
 - Précis
 - Assez rapide
- Travail restant :
 - Implémentation du traitement de l'émission / réception sur ESP32
 - Rendre la station nomade

Station Sol



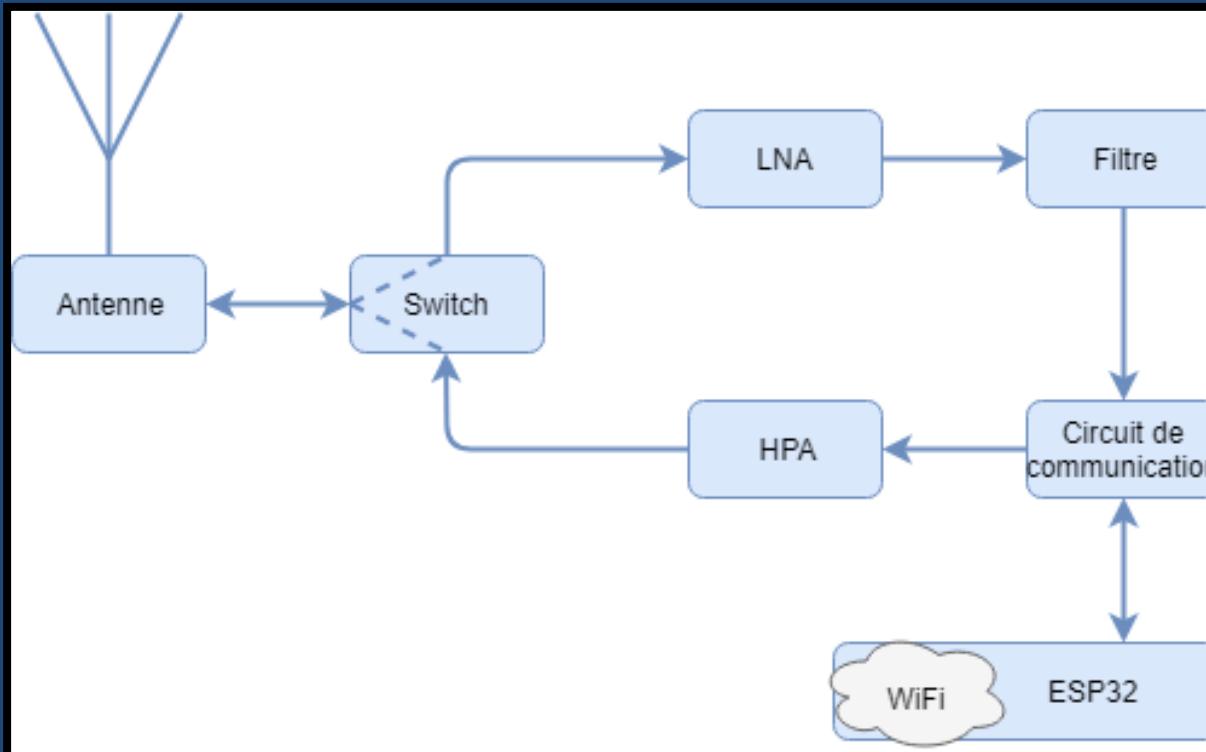
III. Réception et émission

1. *Architecture*
2. *Bilan de liaison*
3. *Choix et alimentation de l'antenne*
4. *Réalisation et essai de l'antenne*
5. *Circuit RF*
6. *Conclusion*

III. Réception et émission



1. Architecture

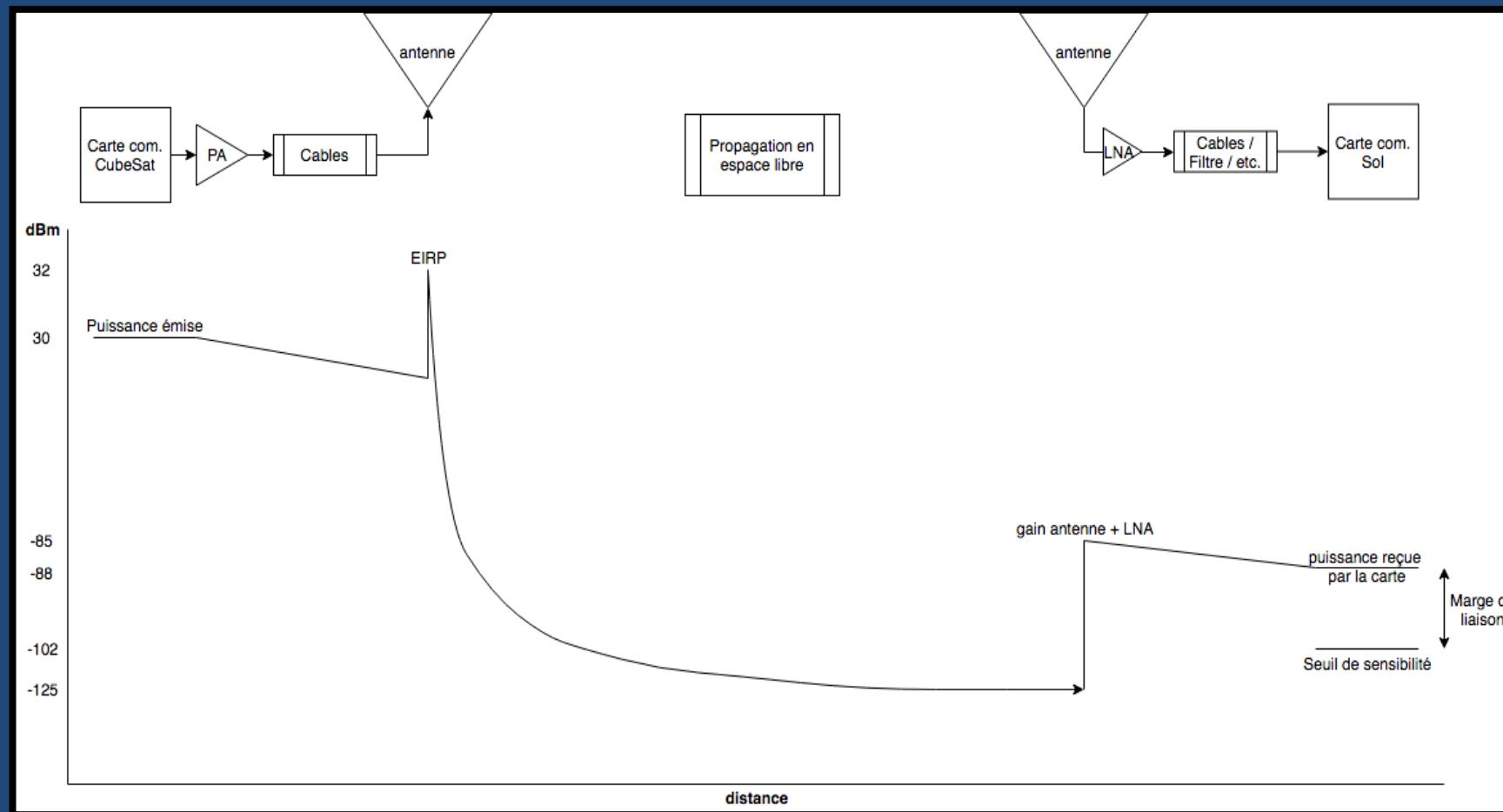


- Émission et réception sur avec la même antenne à la même fréquence
- Fréquence : 433,5 MHz
- Traitement des données à émettre et reçues par l'ESP32

III. Réception et émission



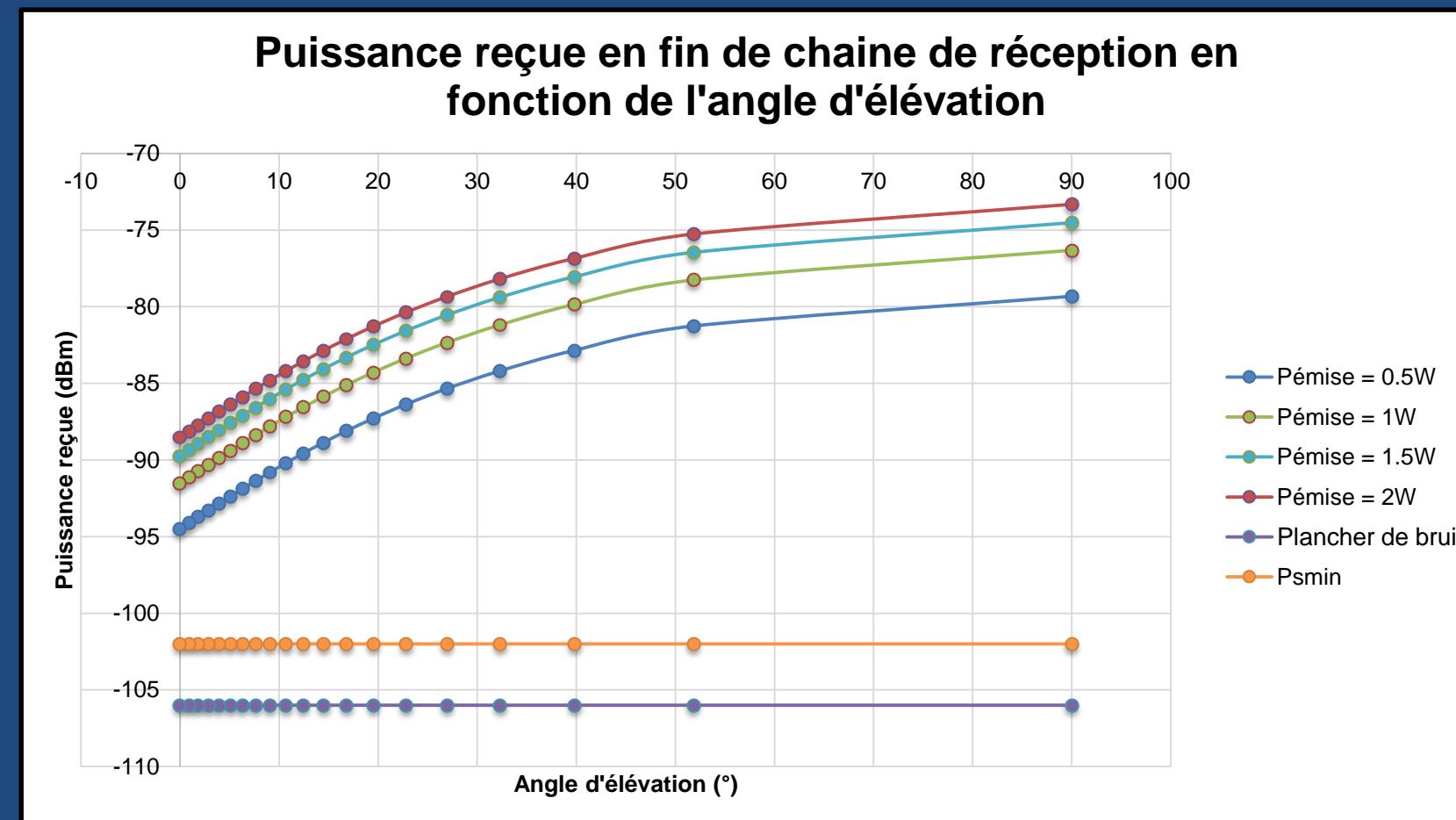
2. Bilan de liaison





III. Réception et émission

2. Bilan de liaison





III. Réception et émission

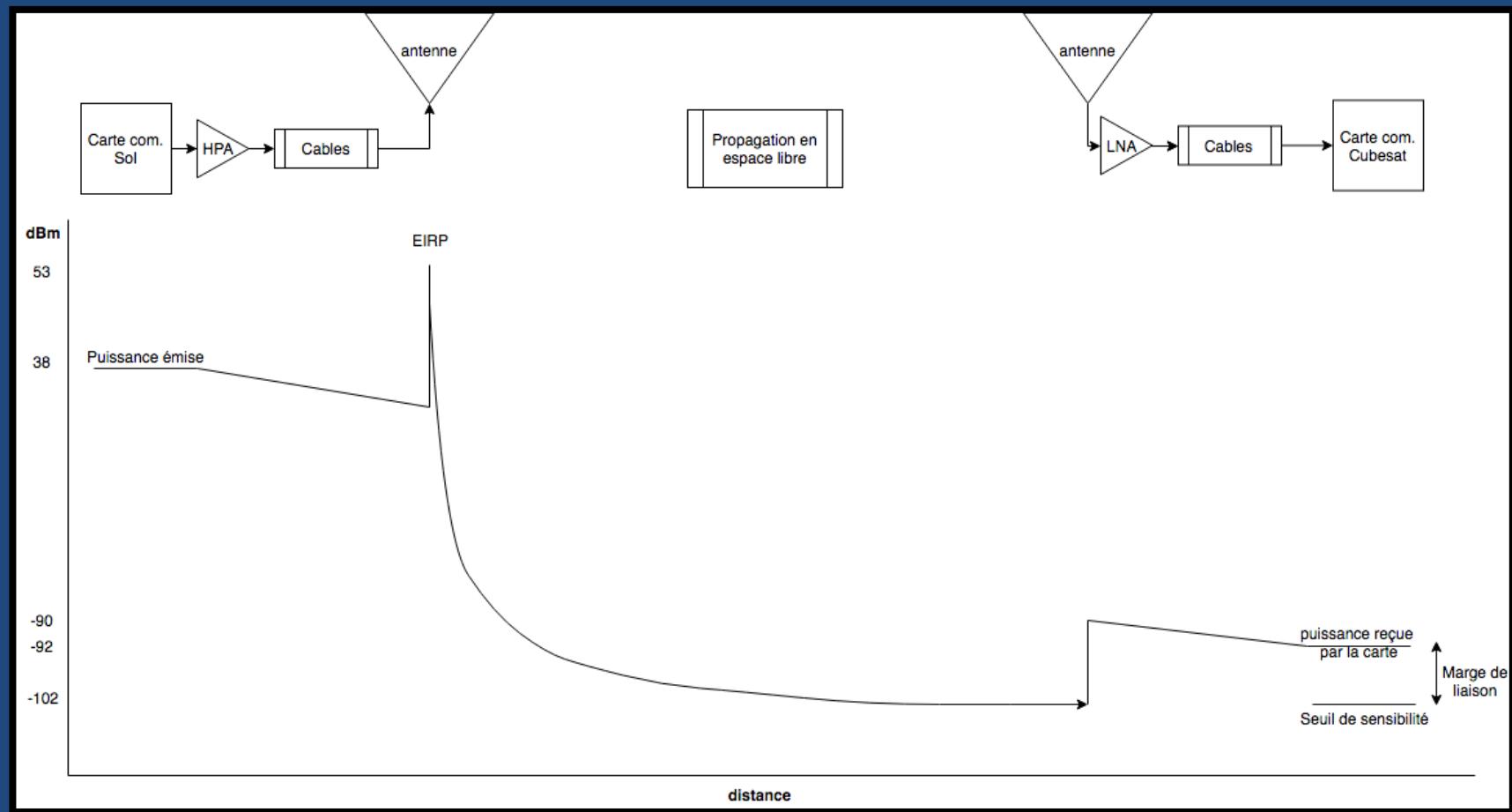
2. Bilan de liaison

Élévation ($^{\circ}$)	Puissance émise (dBW)					Eb/N0 (dB)
	-10	-3	0	1,8	3	
90	27	34	37	39	40	
52	25	32	35	37	38	
40	23	30	33	35	36	
32	22	29	32	34	35	
27	21	28	31	33	34	
23	20	27	30	32	33	
20	19	26	29	31	32	
17	18	25	28	30	31	
14	17	24	27	29	30	
12	17	24	27	28	30	
11	16	23	26	28	29	
9	15	22	25	27	28	
8	15	22	25	27	28	
6	14	21	24	26	27	
5	14	21	24	26	27	
4	13	20	23	25	26	
3	13	20	23	25	26	
2	12	19	22	24	25	
1	12	19	22	24	25	
0	12	19	22	23	25	

III. Réception et émission



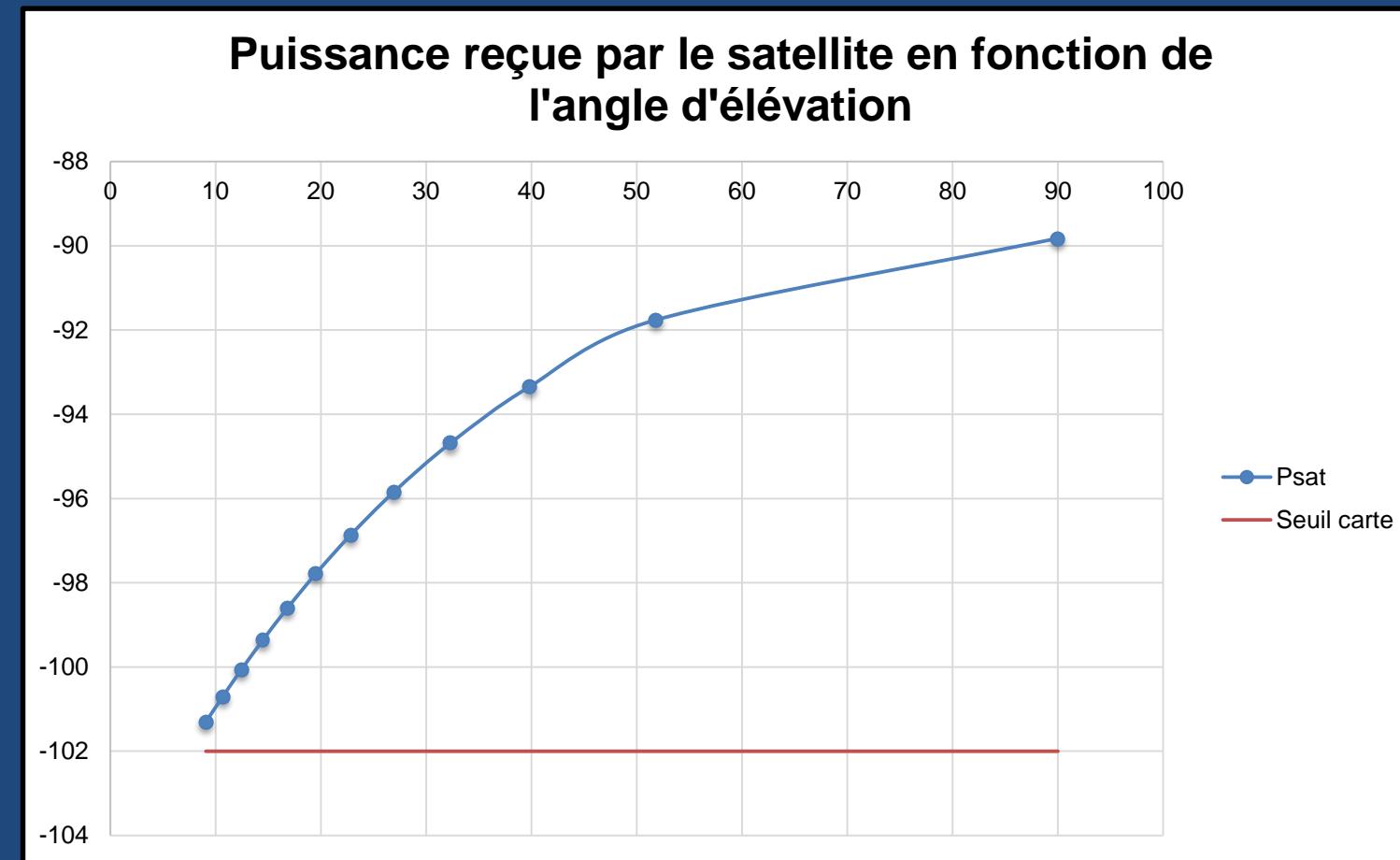
2. Bilan de liaison





III. Réception et émission

2. Bilan de liaison



III. Réception et émission



3. Choix de l'antenne

Cahier des charges antenne

-Fréquence centrale de 433,5MHz

-Polarisation circulaire

-Gain élevé (>=14dB)

-Directive



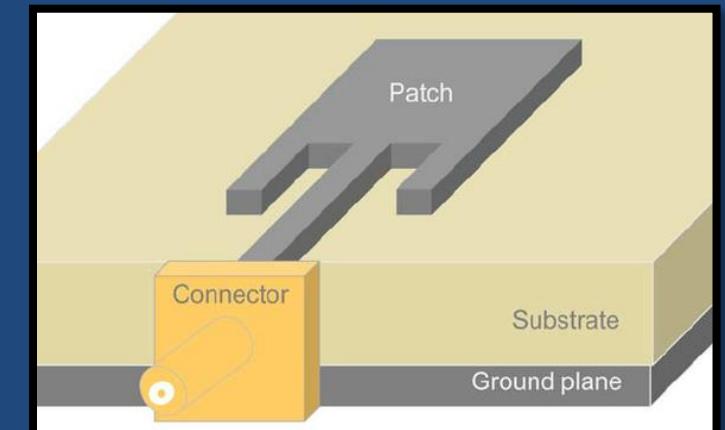
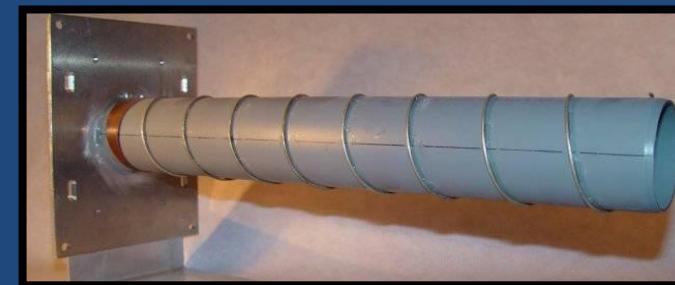
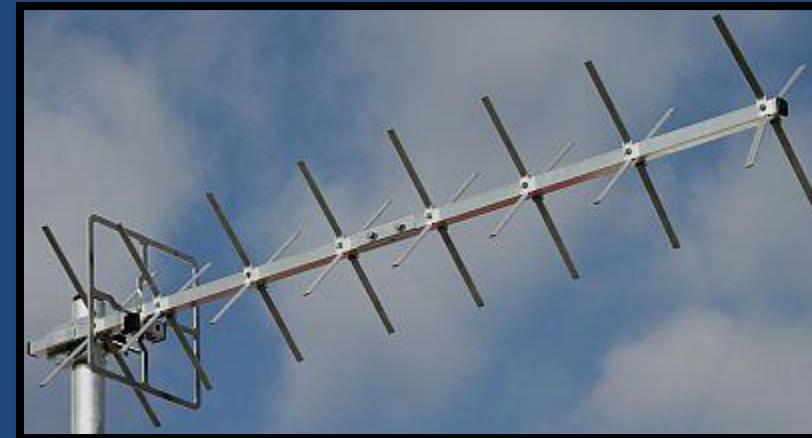
III. Réception et émission



3. Choix de l'antenne

Choix de l'antenne :

- Antenne crossed-Yagi
- Antenne hélicoïdale
- Antenne patch

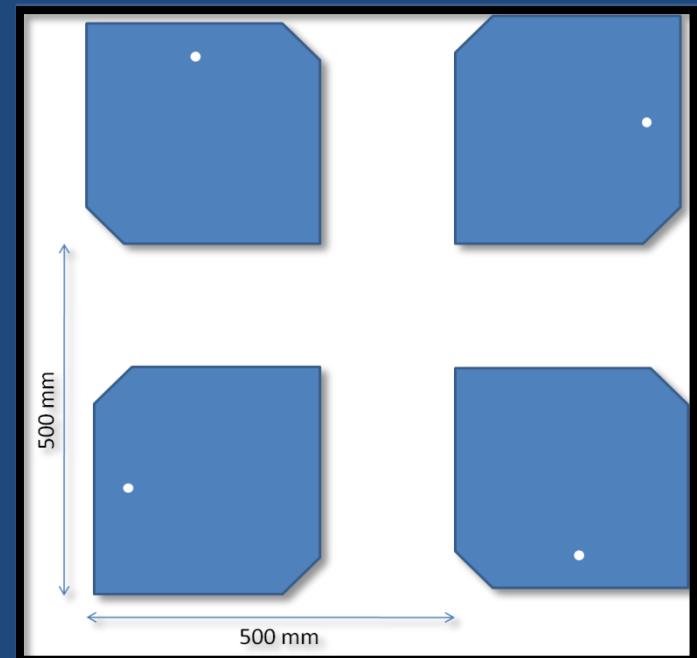
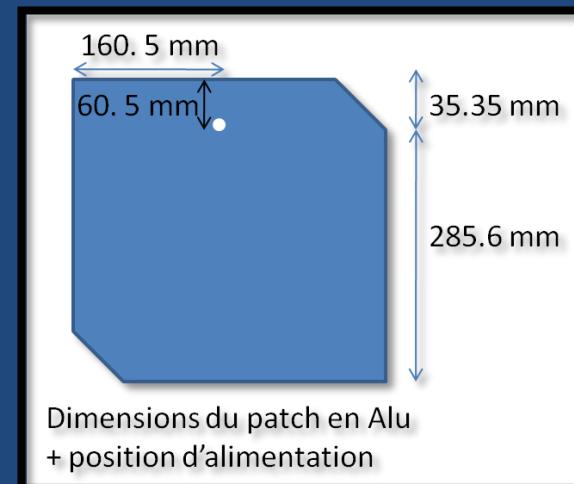


III. Réception et émission

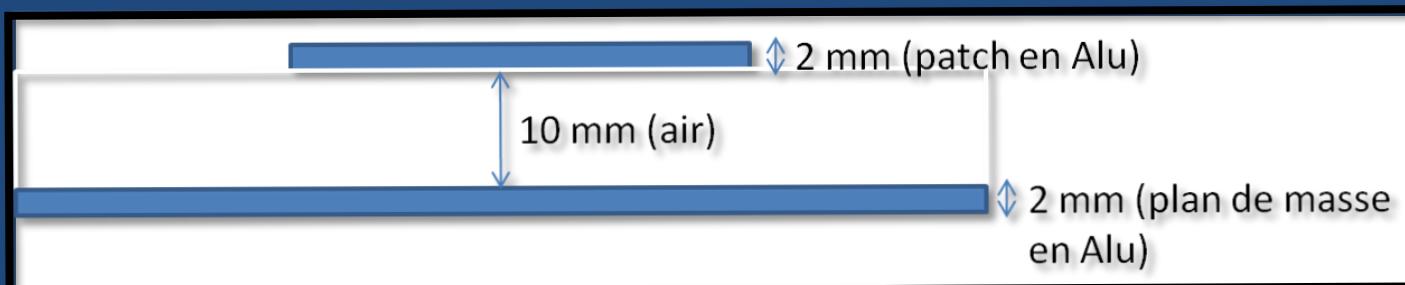


3. Choix de l'antenne

Dimensionnement pour un réseau d'antenne patch à 433,5 MHz



Réseau de 4 patches

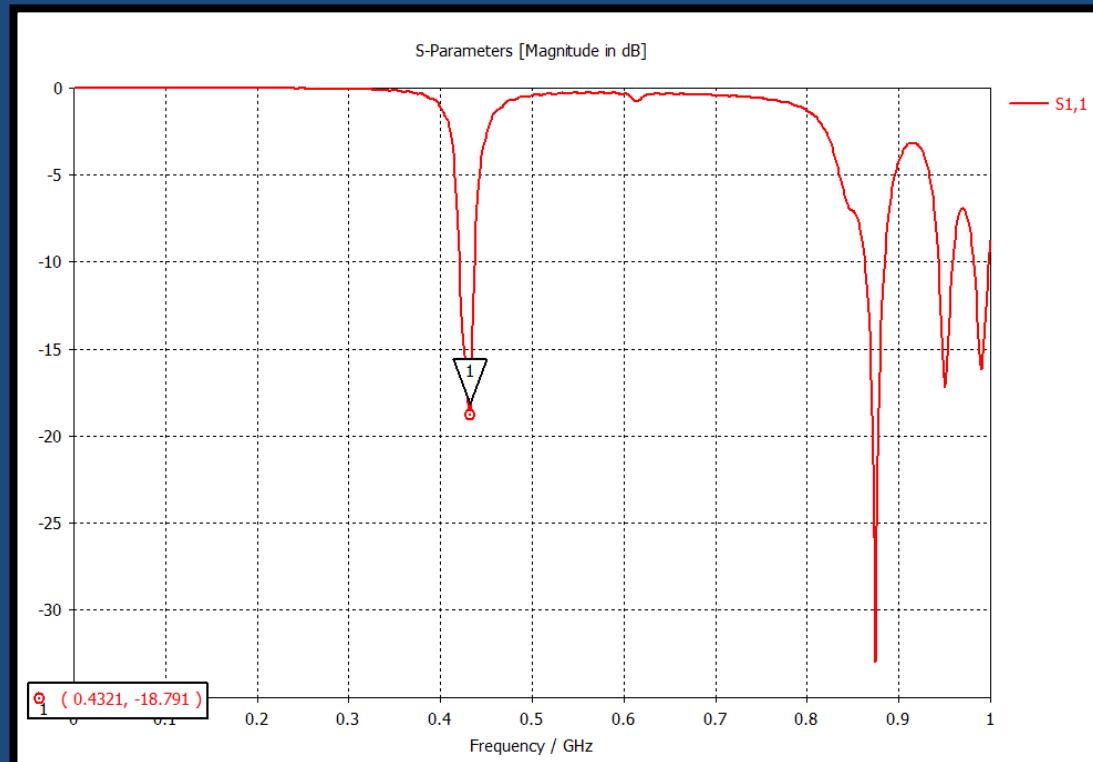




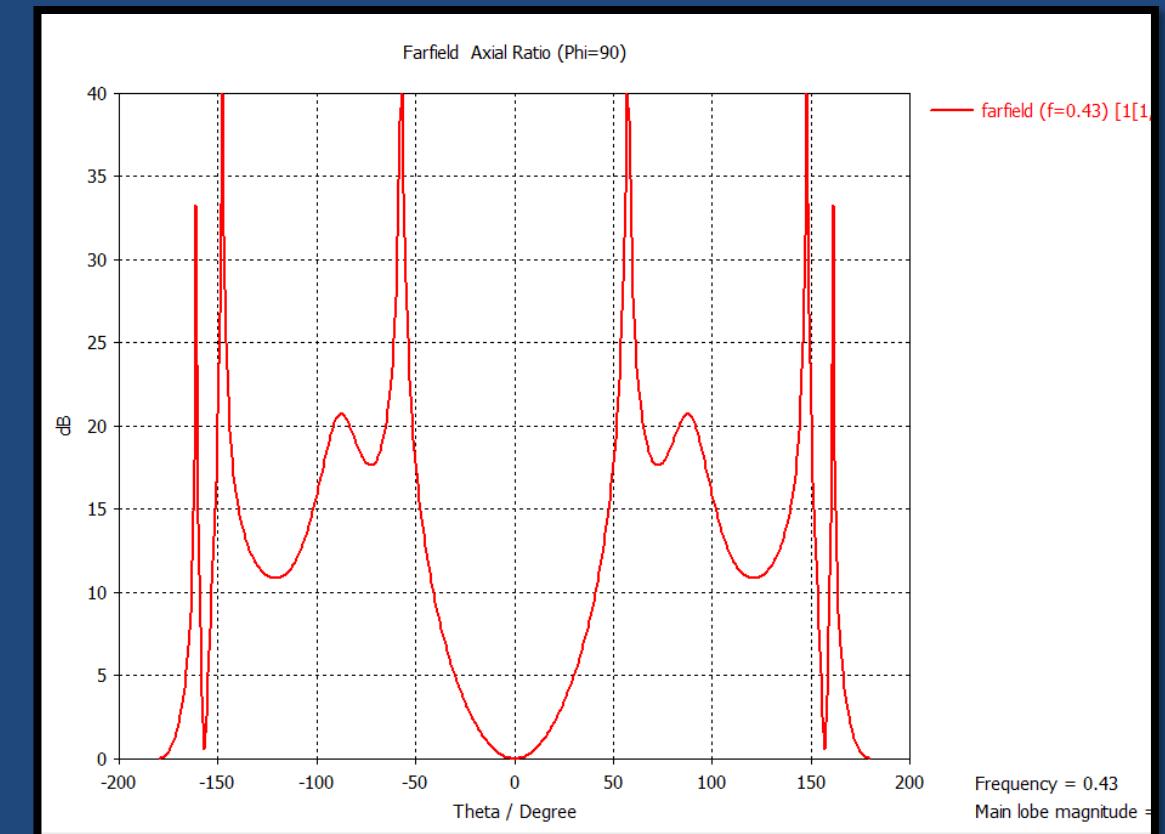
III. Réception et émission

3. Choix de l'antenne

Caractéristiques en simulation sous CST :



Adaptation d'entrée



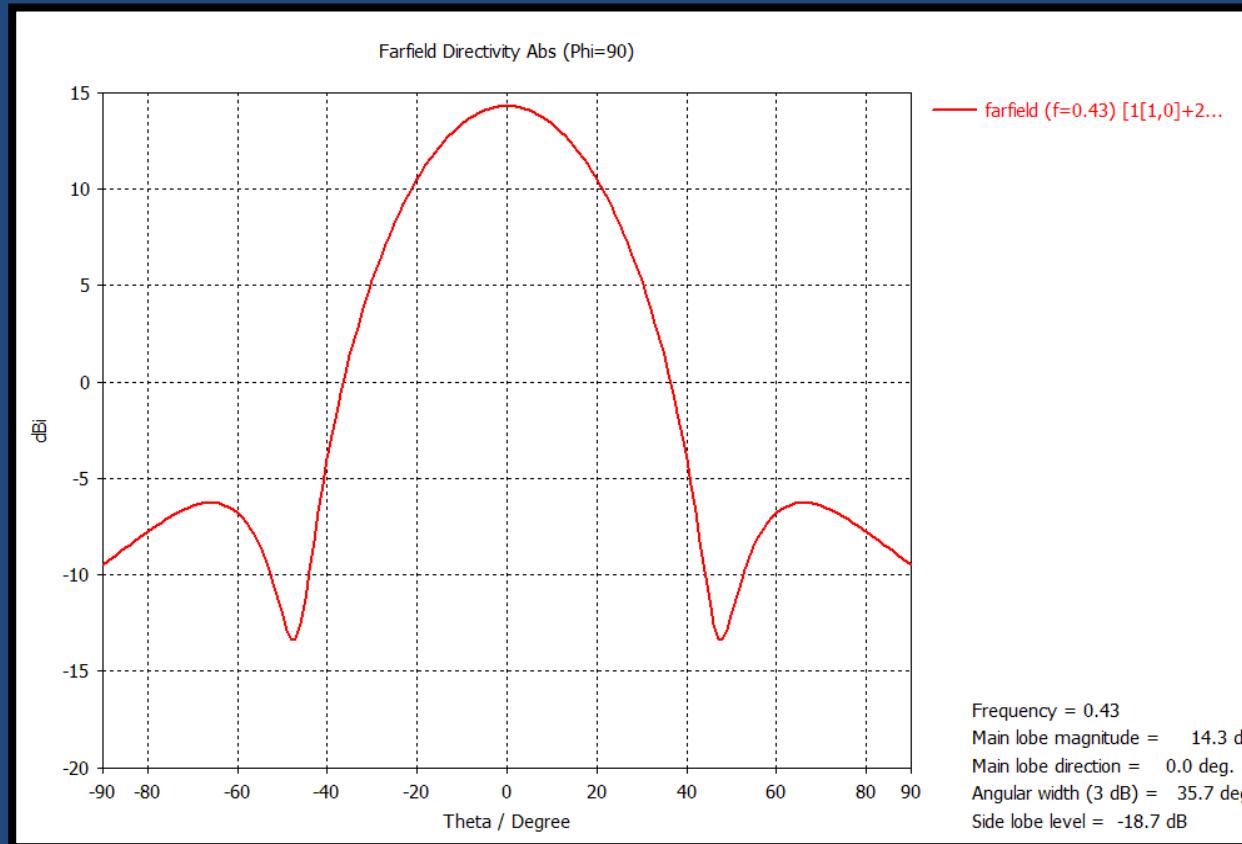
Rapport d'ellipticité

III. Réception et émission



3. Choix de l'antenne

Diagramme de gain :

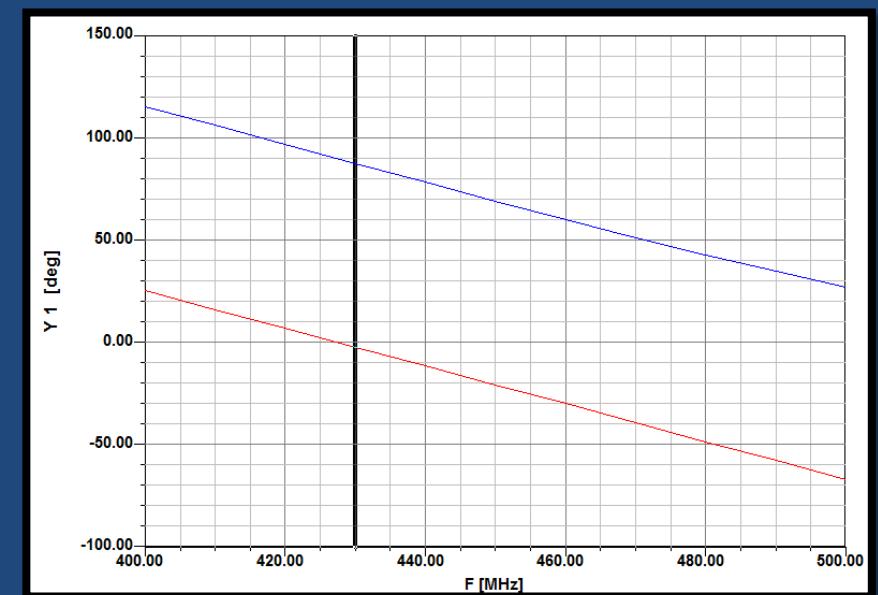
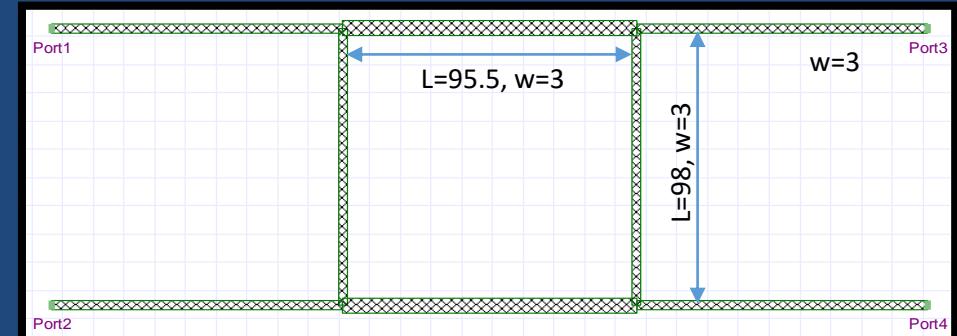
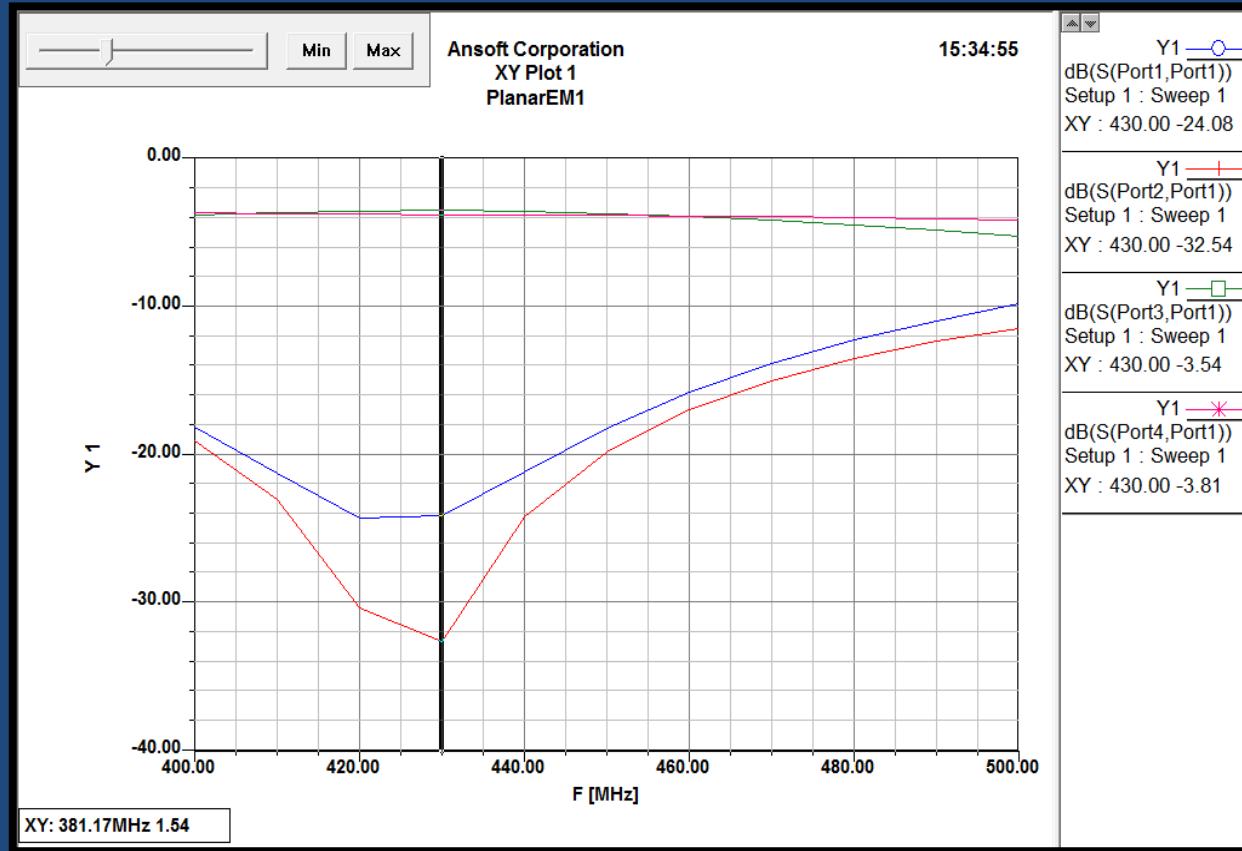


Source de l'imprécision	Ordre de grandeur
Moteur pas-à-pas	0,03°
Jeux mécaniques	1,5°
TLE	0,008° / jour d'ancienneté des TLE
Date et heure	0,06° / seconde d'écart



III. Réception et émission

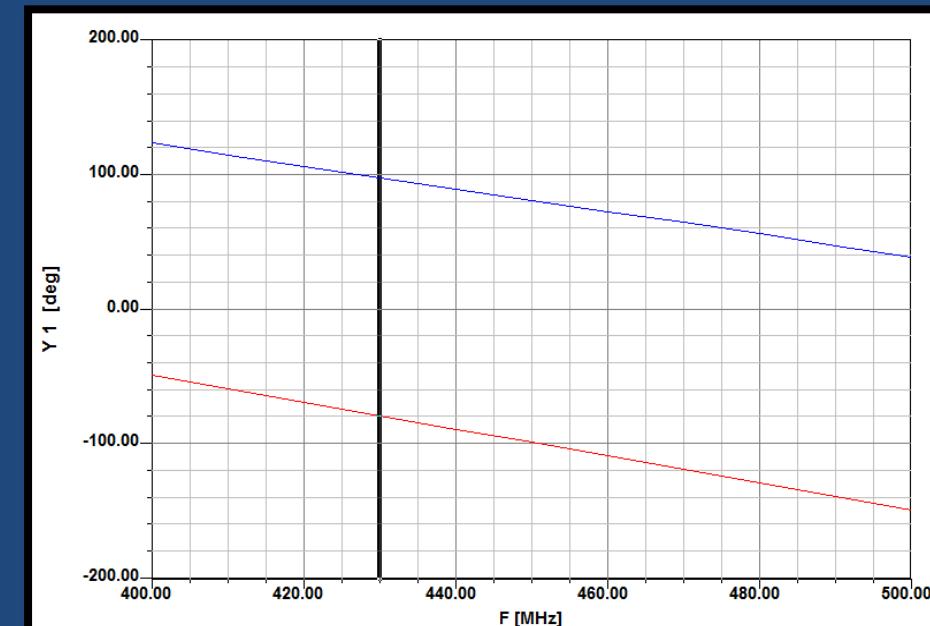
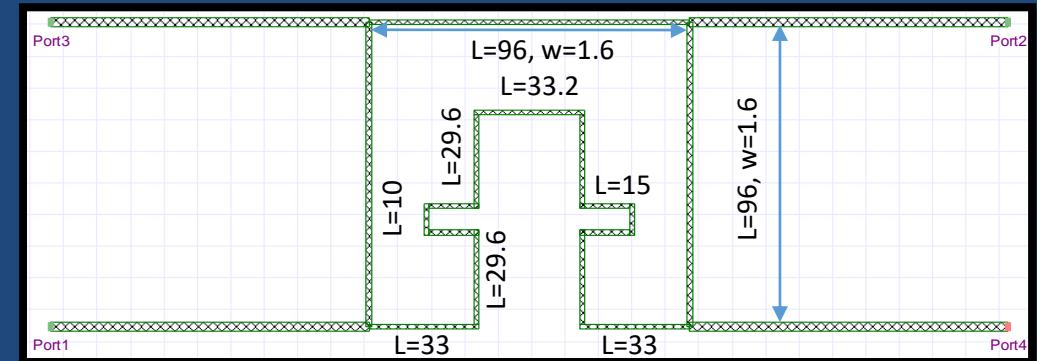
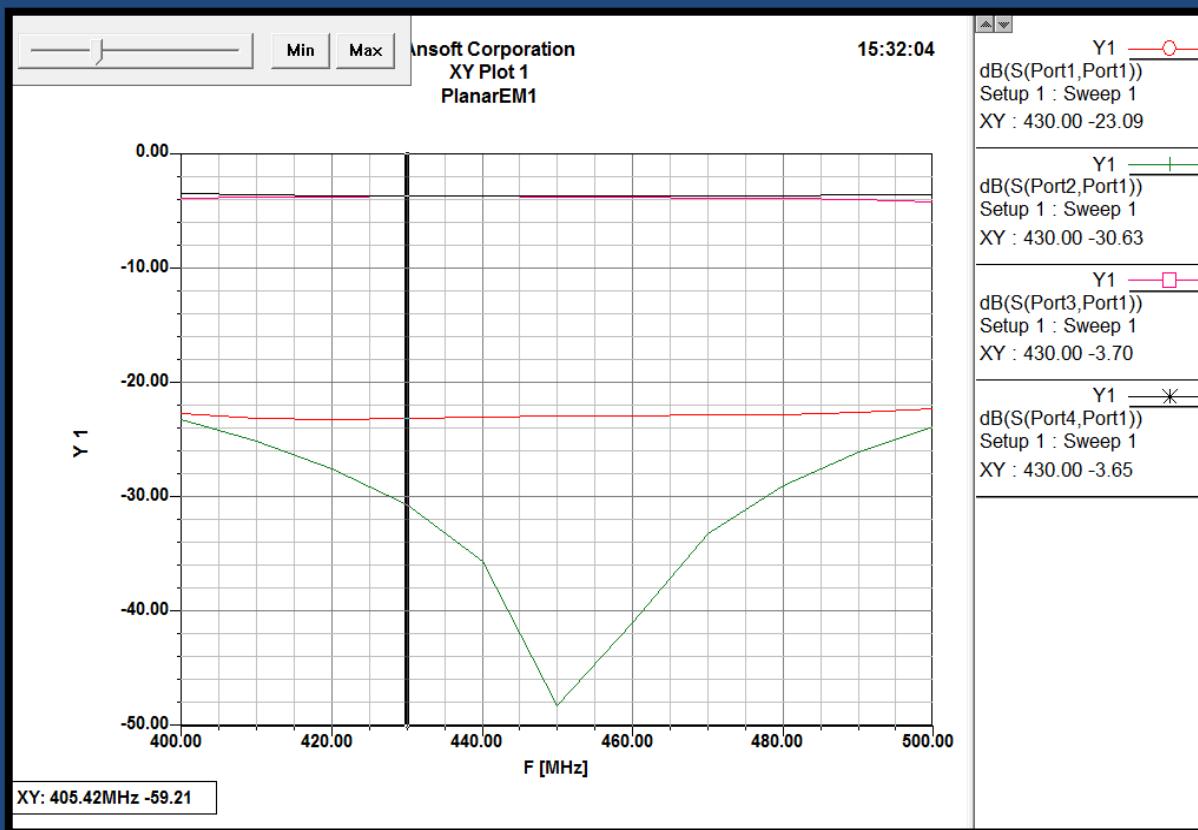
3. Alimentation de l'antenne Simulation du coupleur 3dB/90° :



III. Réception et émission

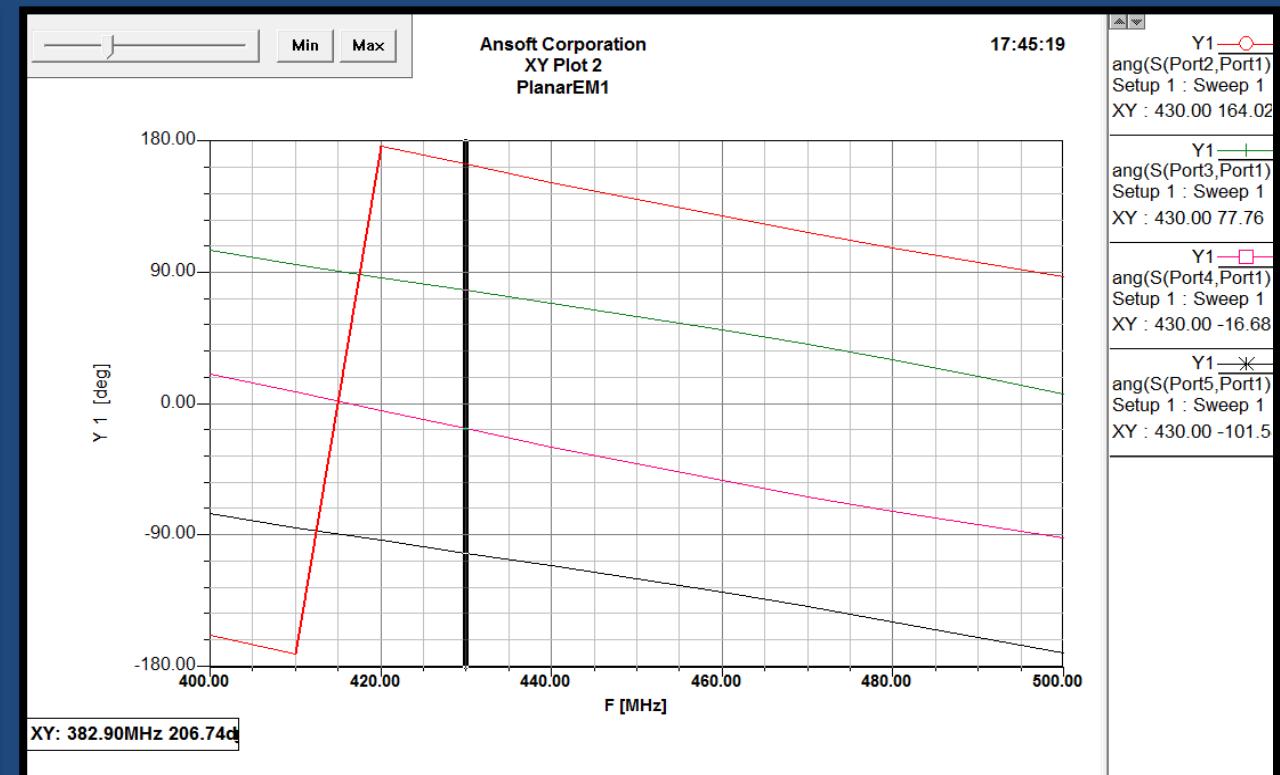
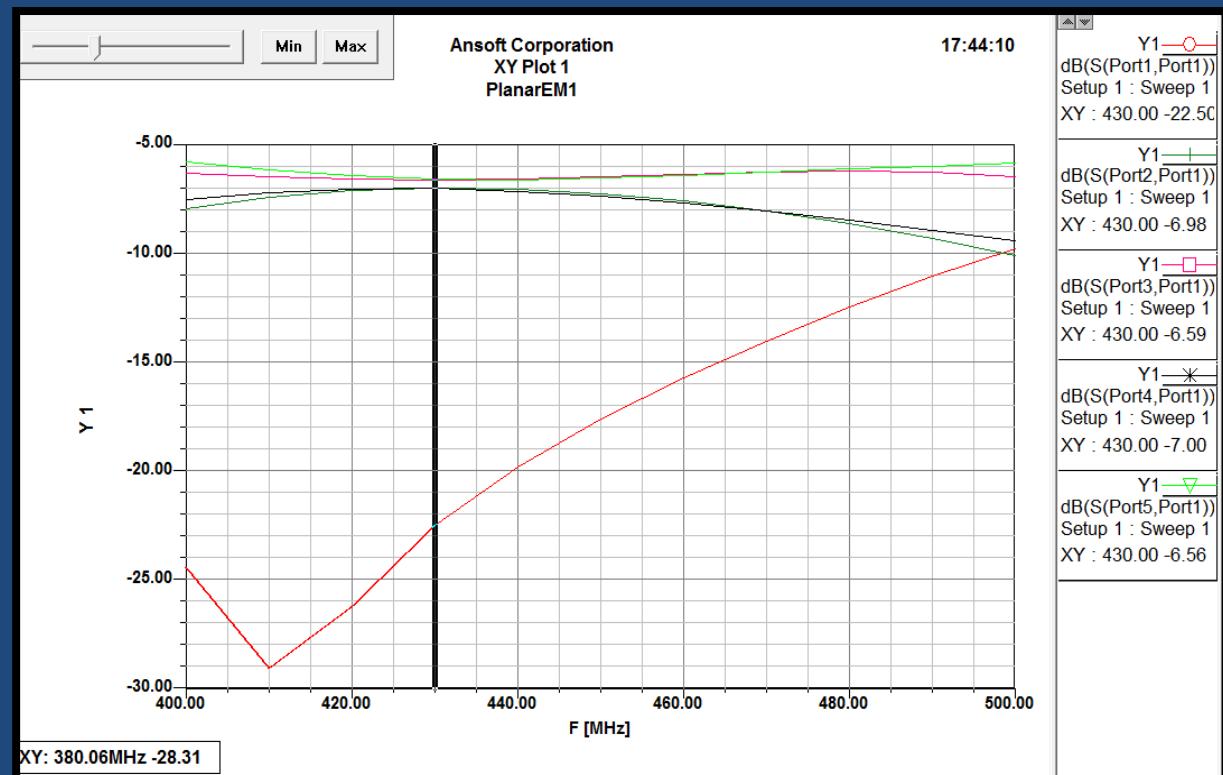
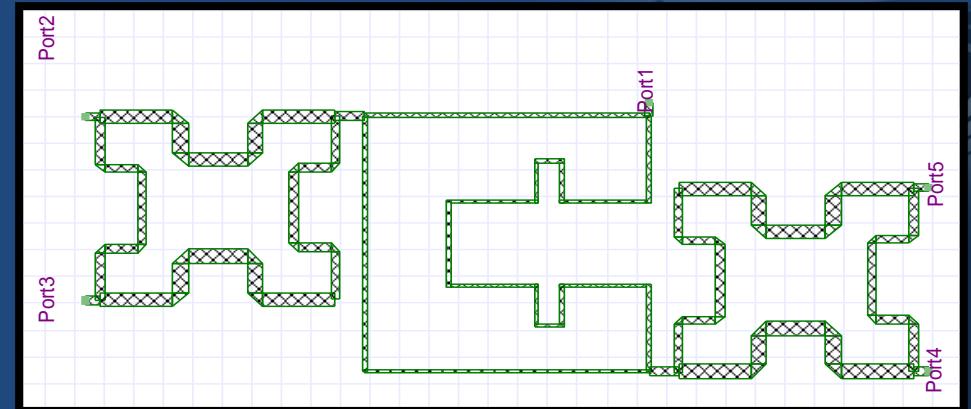


3. Alimentation de l'antenne Simulation du coupleur 3dB/180°:



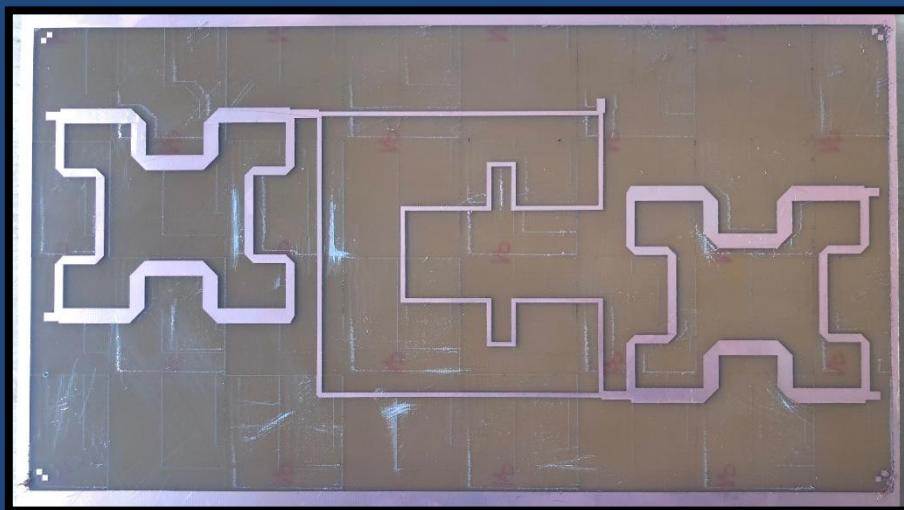
III. Réception et émission

3. Alimentation de l'antenne Réseau d'alimentation des 4 patches



III. Réception et émission

4. Réalisation



Prototype du coupleur de rotation séquentielle

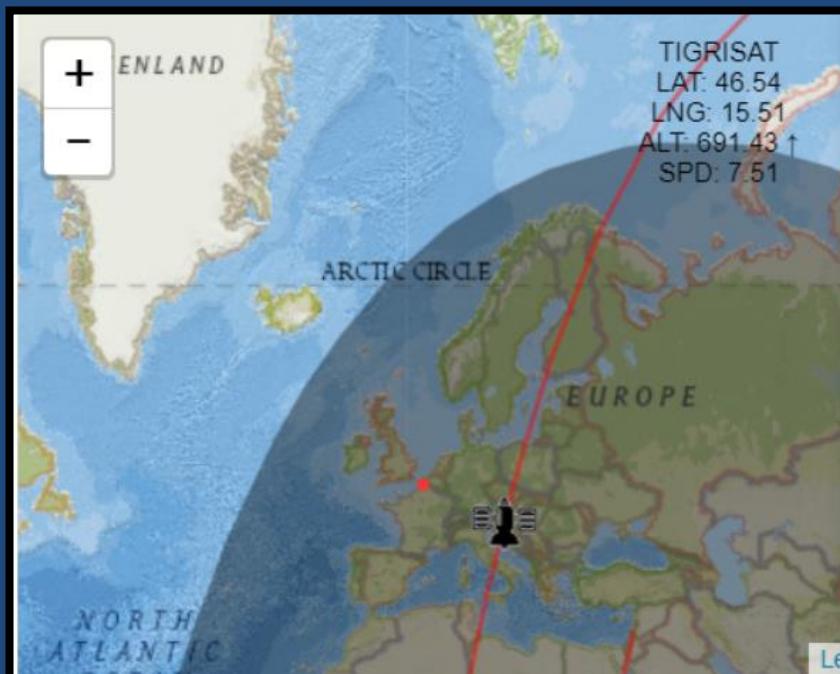


Prototype de l'antenne

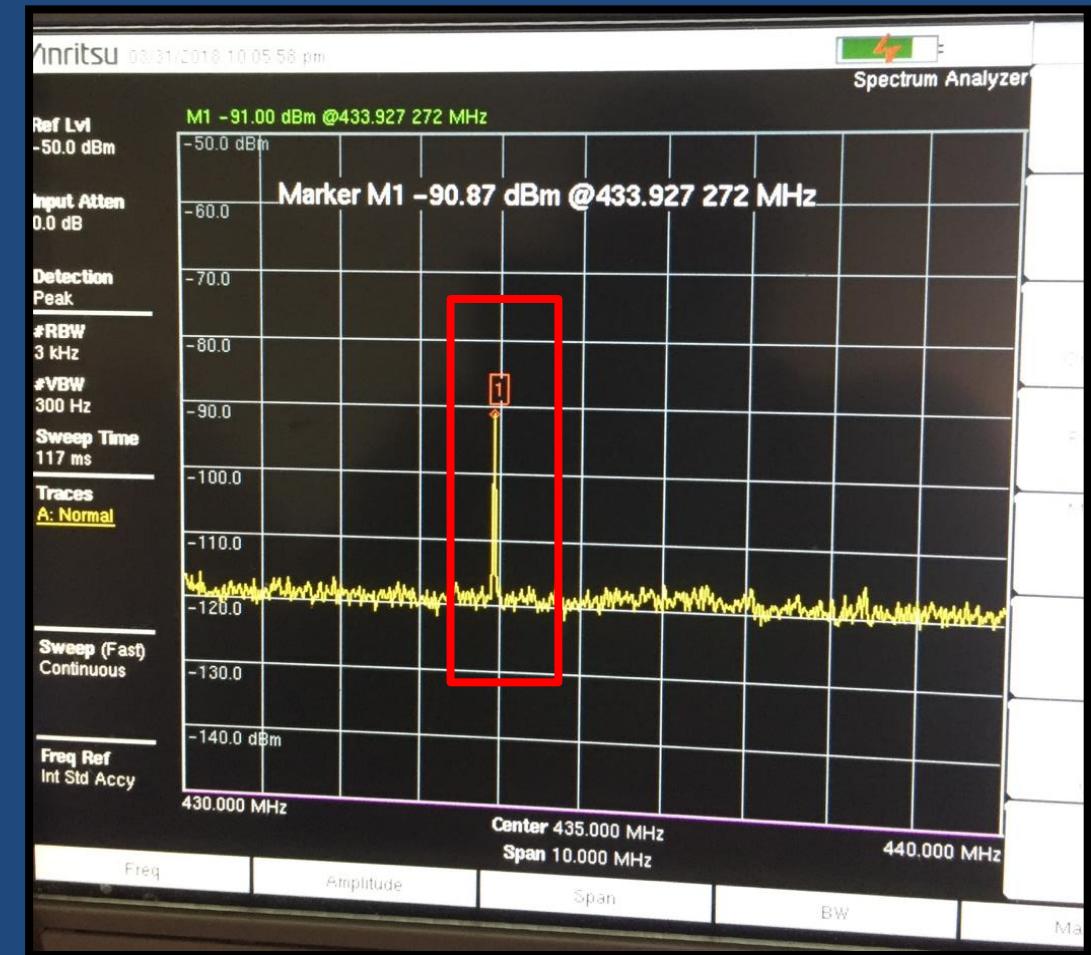
III. Réception et émission



4. Essai de l'antenne



Passage du satellite



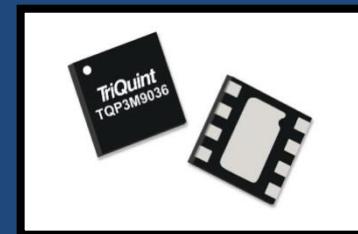
Visualisation de l'émission du satellite

III. Réception et émission

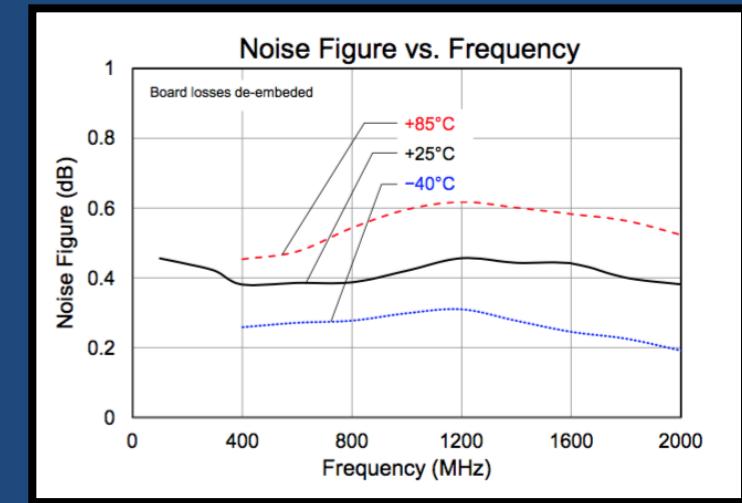
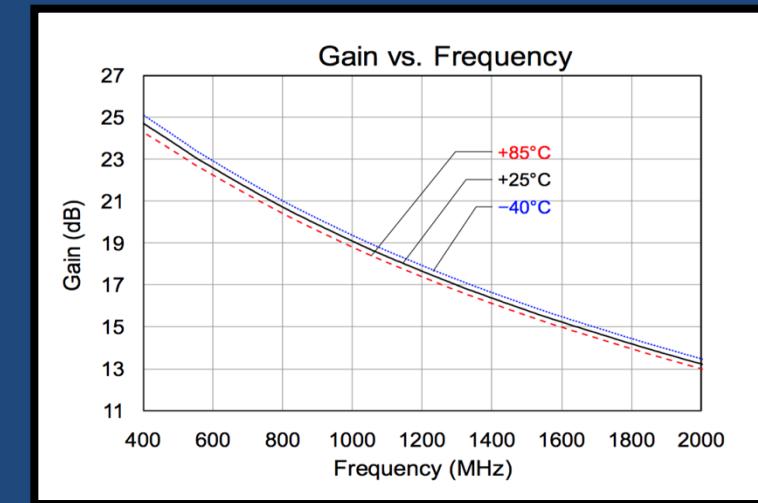


5. Circuit RF

LNA :



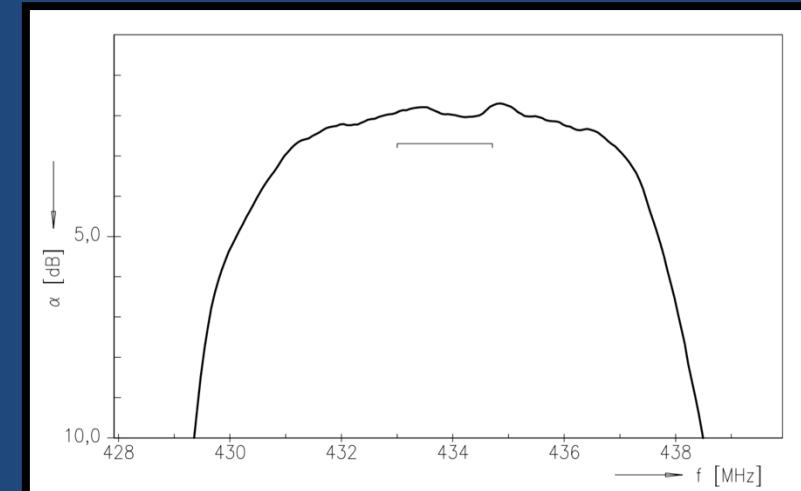
Consommation : 60mA



Filtre SAW :



Passif



III. Réception et émission



5. Circuit RF

Switch :

Pertes : <0,4dB

Haute isolation : 40dB

Consommation négligeable

HPA :

Puissance RF : 5W

Consommation : 1A



Tranceiver :

Modulation GMSK/BFSK

Débit 1,2Kbps ; 9,6Kbps ...

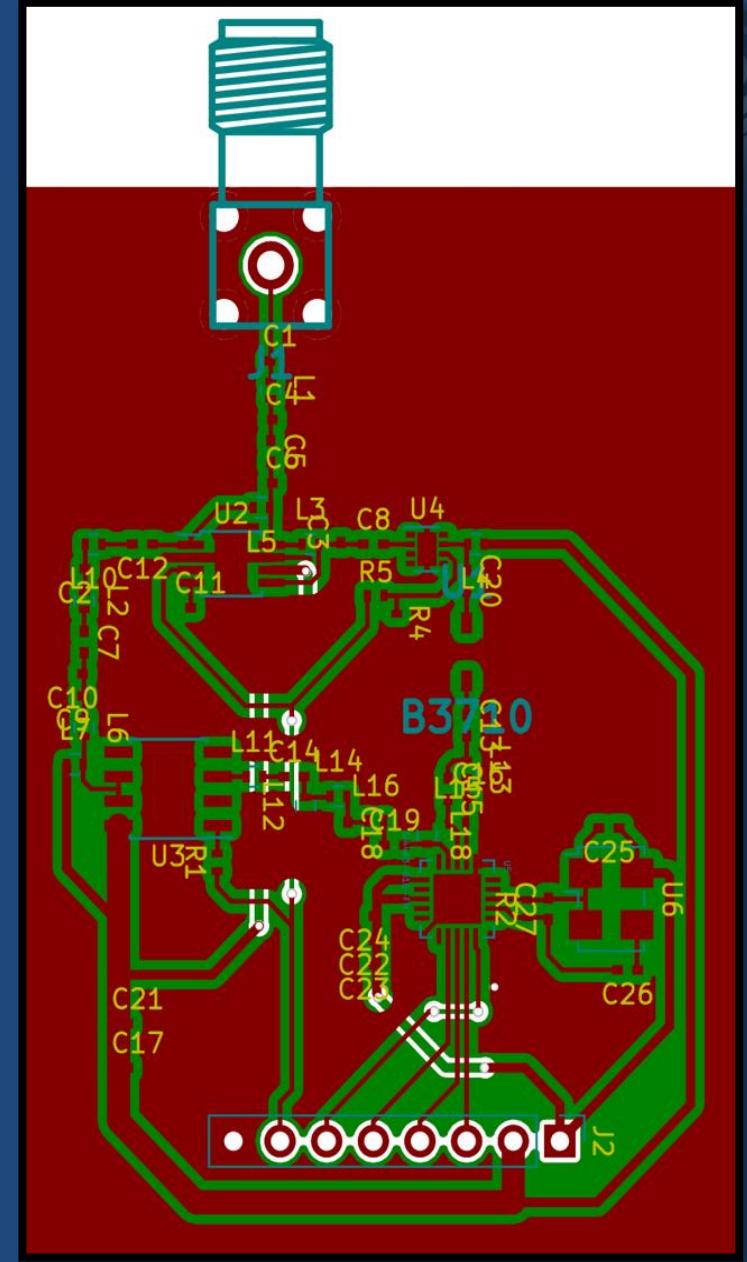
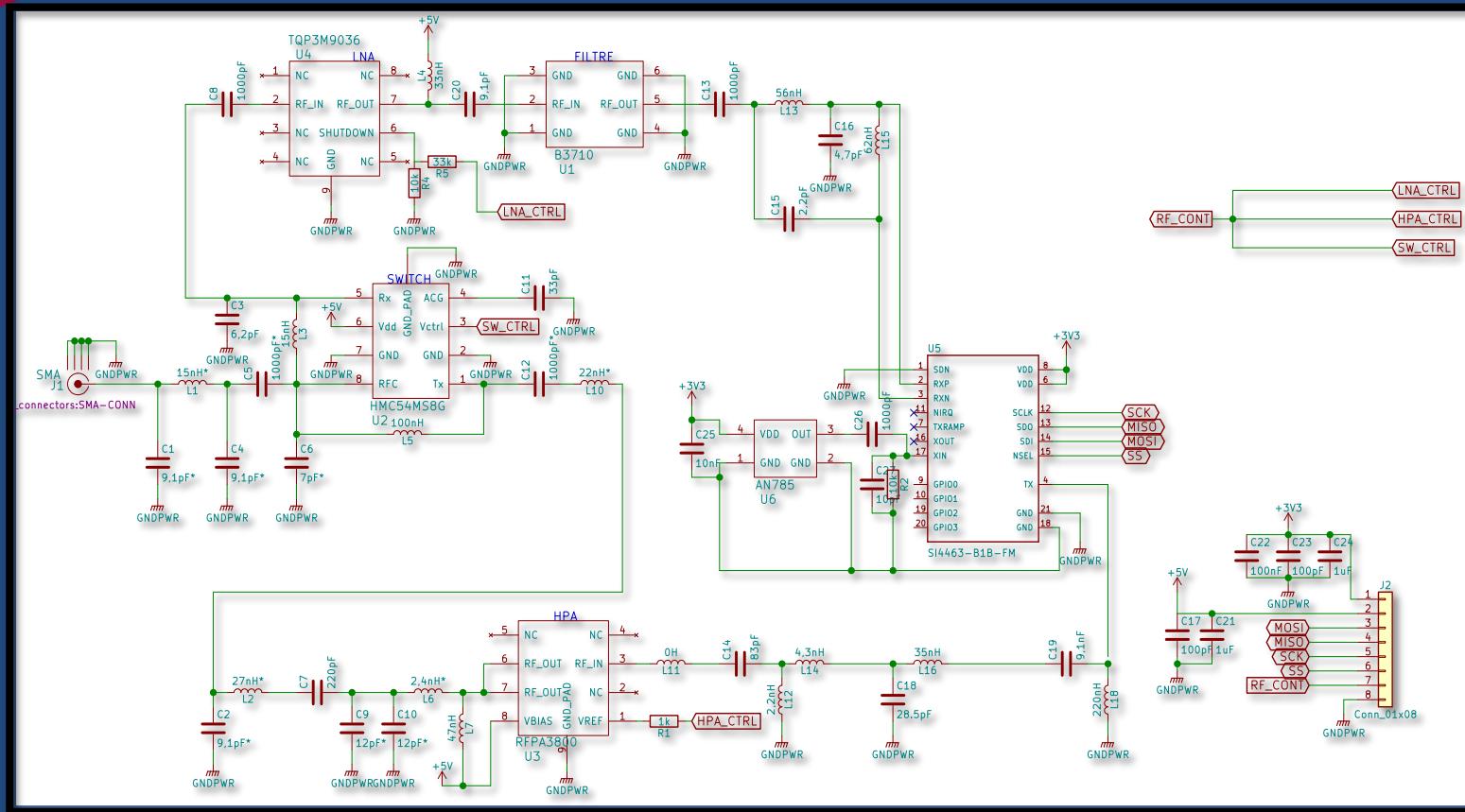
Sensibilité élevée (< 100dBm)

Consommation maximale : 85mA



III. Réception et émission

5. Circuit RF



III. Réception et émission



6. Conclusion

- Antenne :
 - Simulation et essai prometteurs
 - En cours de fabrication en matériaux grillagés
- Circuit RF :
 - PCB quasiment achevé, le design semble fiable
 - La majorité des composants sont achetés
 - Manque LNA, transeiver et quelques composants passifs
- Reste à faire :
 - Montage de l'antenne et fixation sur le système de tracking
 - Réalisation du circuit RF et soudage des composants
 - Implémentation de la liaison entre l'ESP32 et le transeiver SI4463
 - Essai de l'ensemble

Conclusion



Avancement :

- Suivi fonctionnel
- Boitier partiellement terminé
- Antenne et chaîne de réception en fabrication

Ressenti :

- Projet multidisciplinaire et enrichissant
- Approfondissement des matières étudiées
- Aspect pratique et varié intéressant
- Implication dans le projet grâce à sa durée



CentraleSupélec



Merci de votre attention !

