

Modélisation d'une surface en s'inspirant d'un microscope à force atomique

Marin De Vanssay

Session 2025

Problématique et Thème

Transformation, Transition, Conversion

Comment obtenir une image 3D d'un objet en
s'inspirant d'un AFM ?

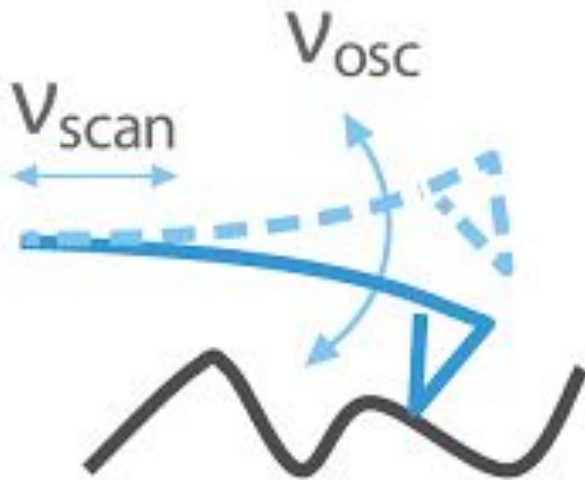
Conversion d'un objet physique à un objet virtuel

Plan

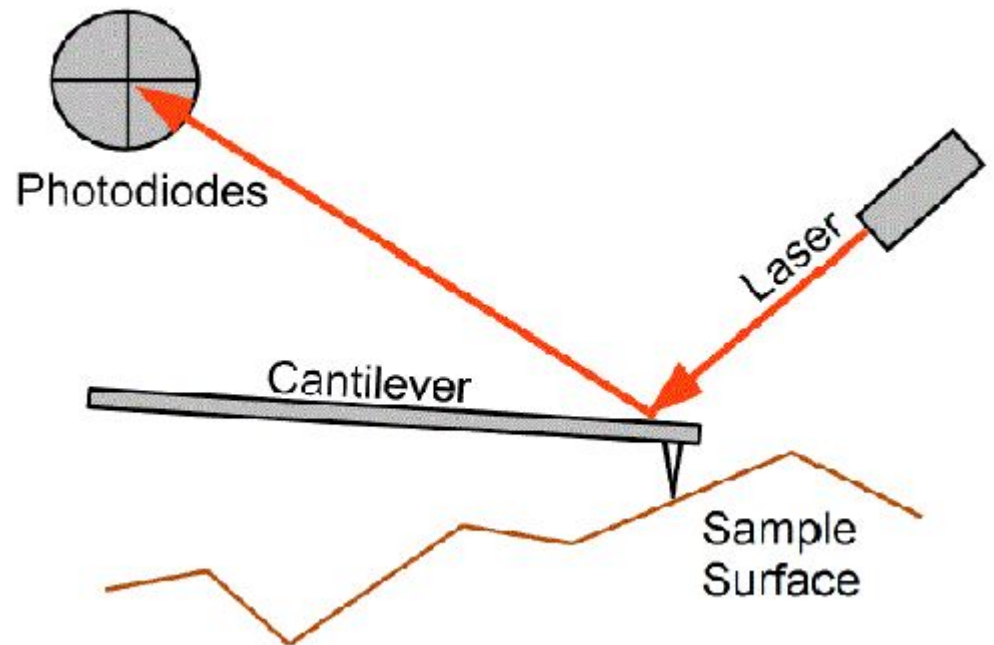
- 1. Fonctionnement d'un AFM**
- 2. Construction de la maquette**
- 3. Améliorations de la maquette, suite aux imprécisions de mesures**
- 4. Résultats avant traitement numérique**
- 5. Affichage 3D des valeurs**
- 6. Traitement numérique avec KNN**
- 7. Résultats finaux**

Fonctionnement d'un AFM

AFM en mode tapping:



Interaction entre la surface et la pointe: Force de van der Waals



<https://samsiatrtp.wordpress.com/2013/01/28/image-reconstruction-methods-for-atomic-force-microscopy/>
<https://www.nanoandmore.com/what-is-atomic-force-microscopy>

Dimensions et Construction



Moteurs



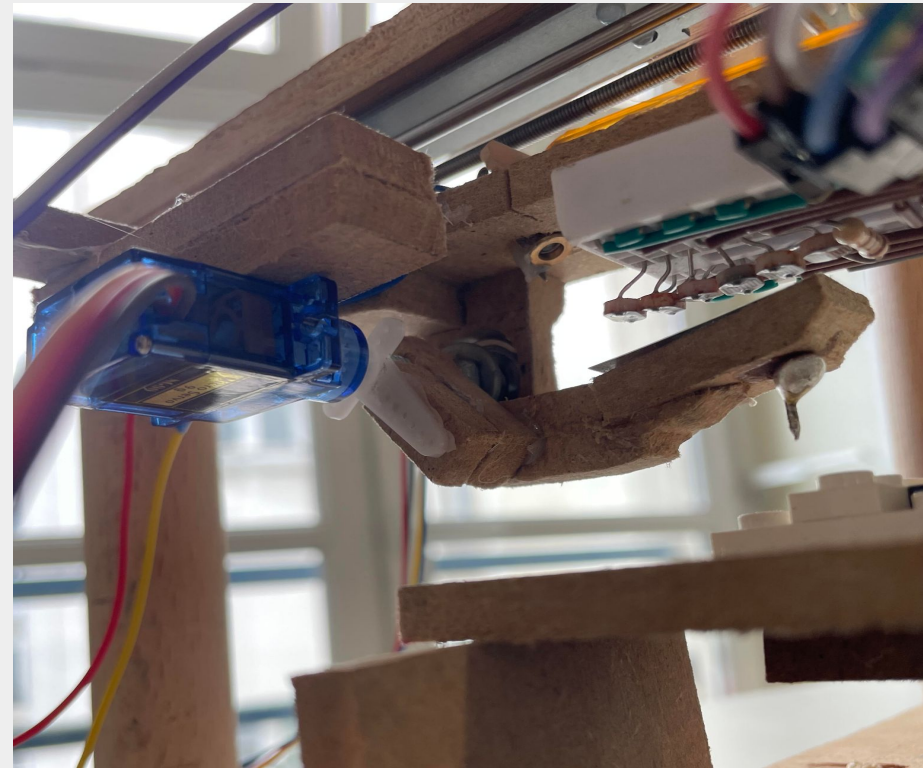
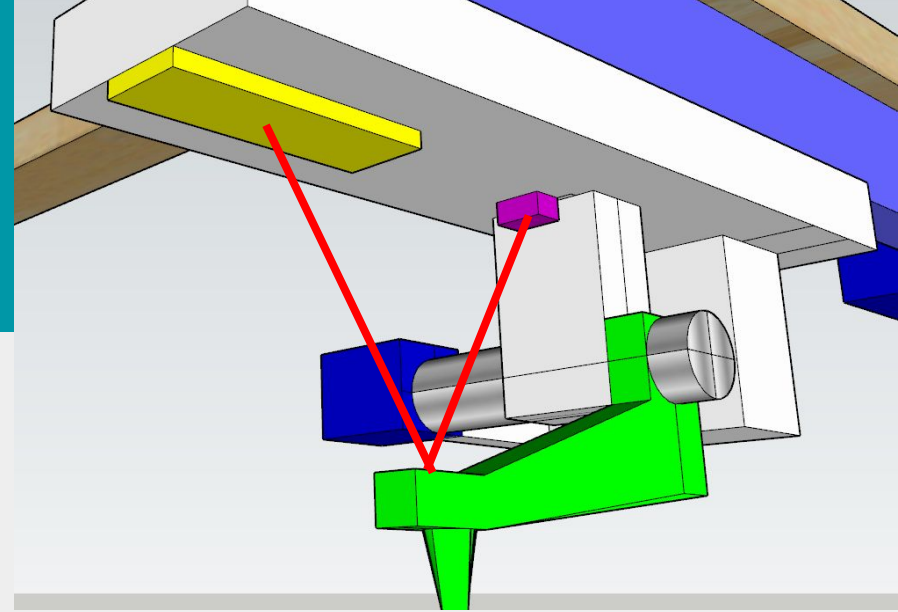
Pointe sur l'axe



Photodiodes



LASER



Dimensions et Construction



Moteurs



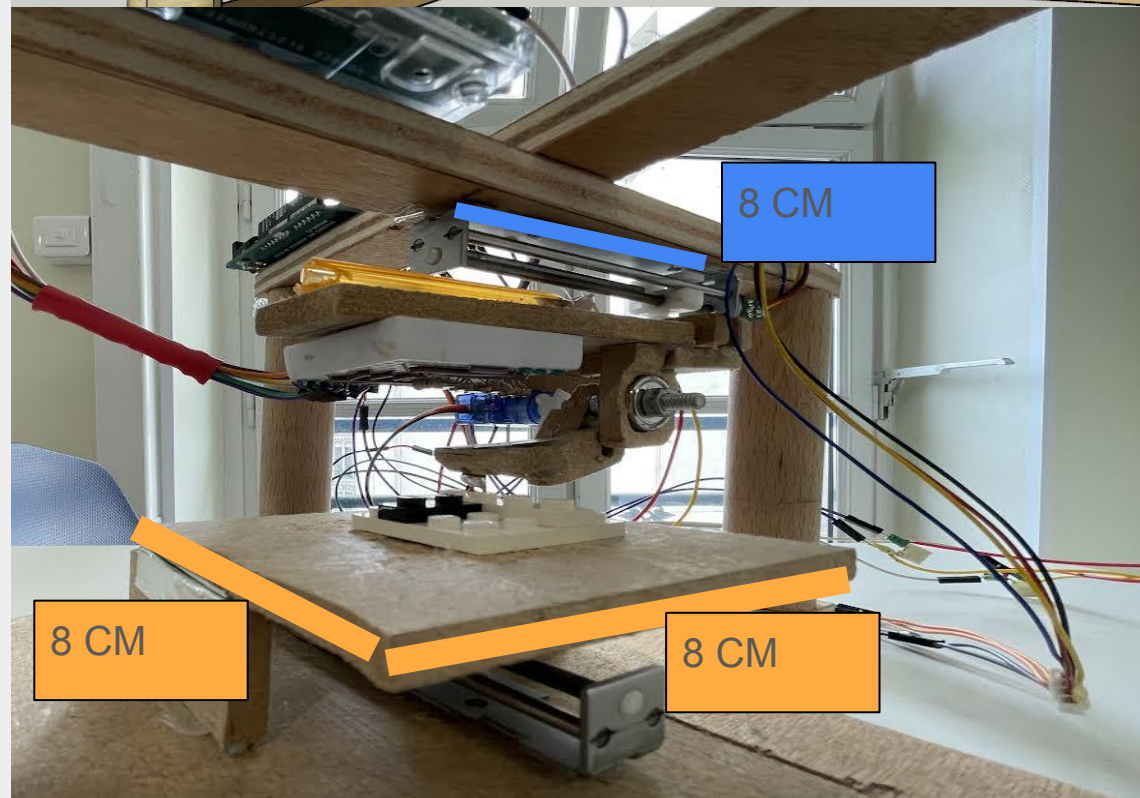
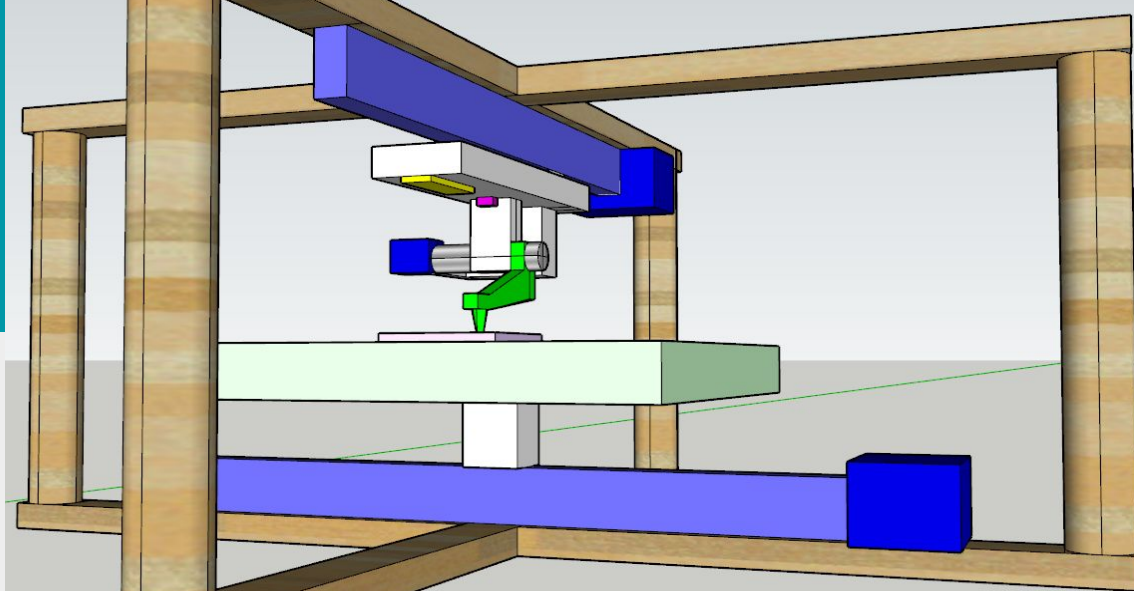
Pointe sur l'axe



Photodiodes



LASER



Différences notables

Microscope à force atomique

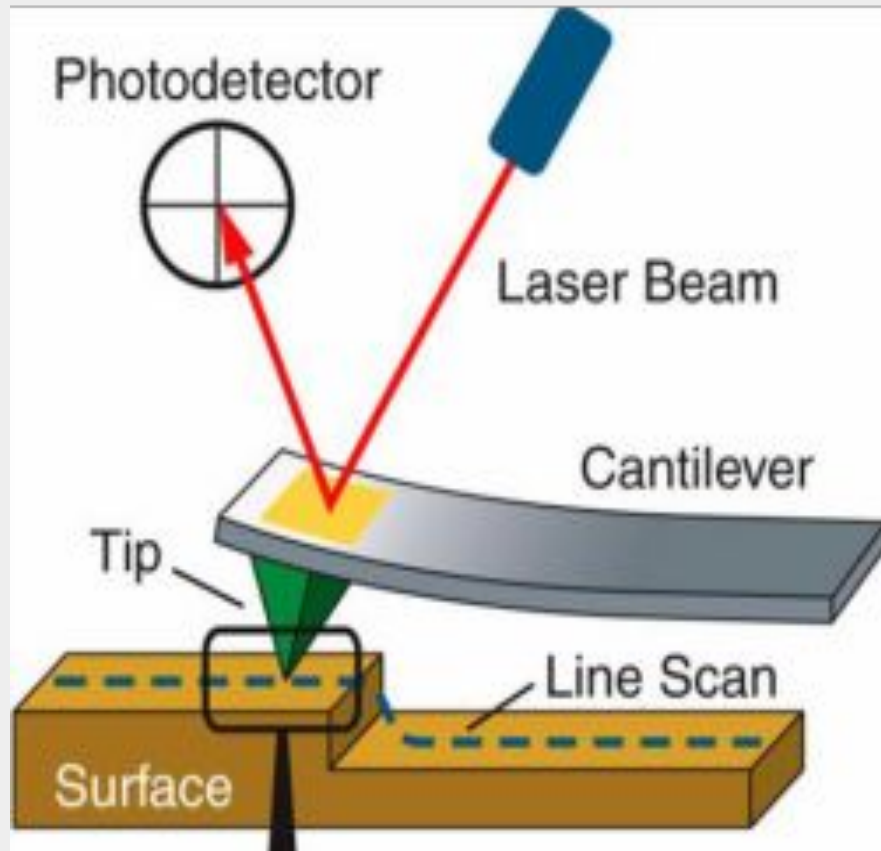
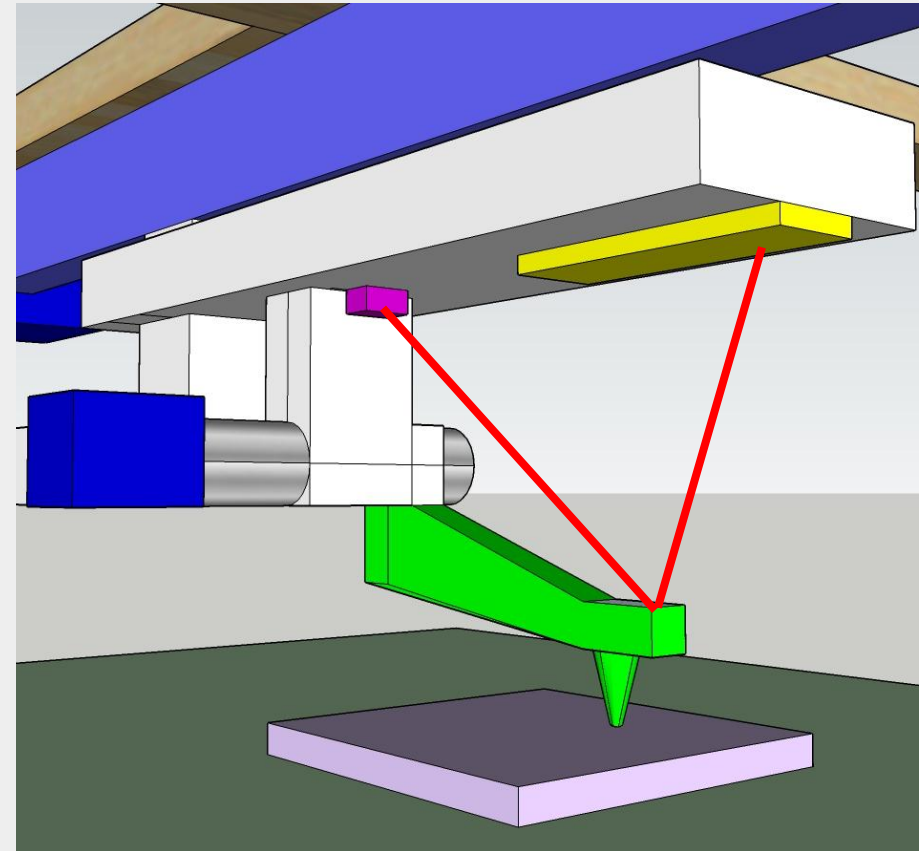
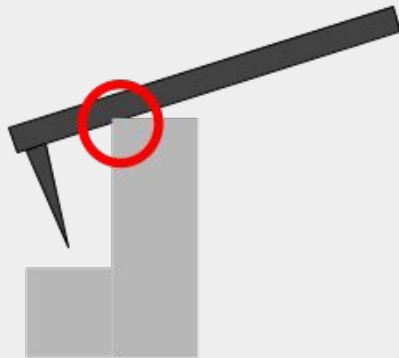


Schéma en 3D de ma
maquette



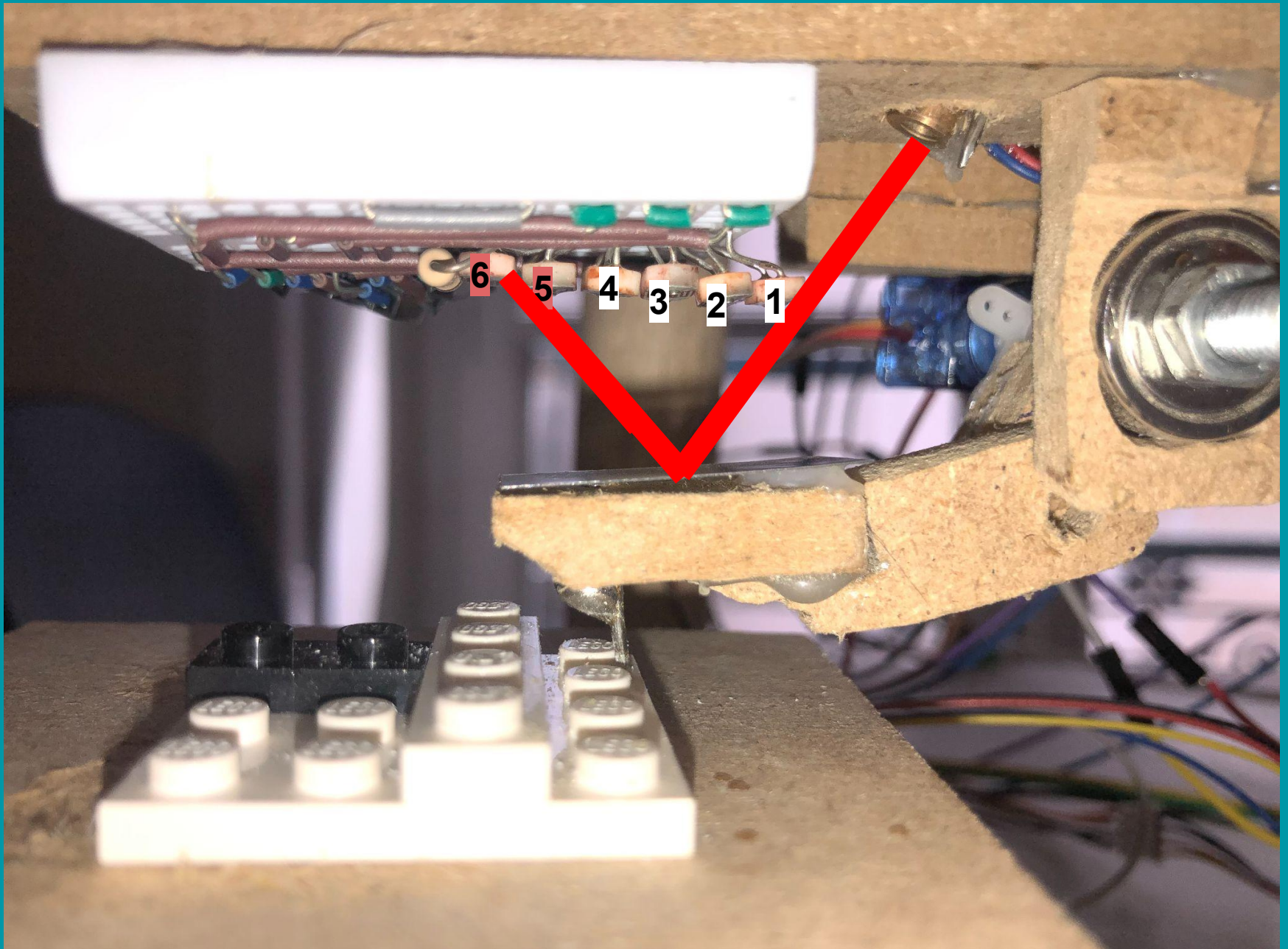
Limitations Prévisibles

- Temps de réponse capteur: 30ms
- Pas des moteurs pas à pas: 18° , soit **$2,5 \mu\text{m}$ de déplacement**
- **6 ports** analog sur l'Arduino
- **Faible variation de hauteurs** requise



Obtention des Valeurs photodiodes





Résultat obtenu en sortie

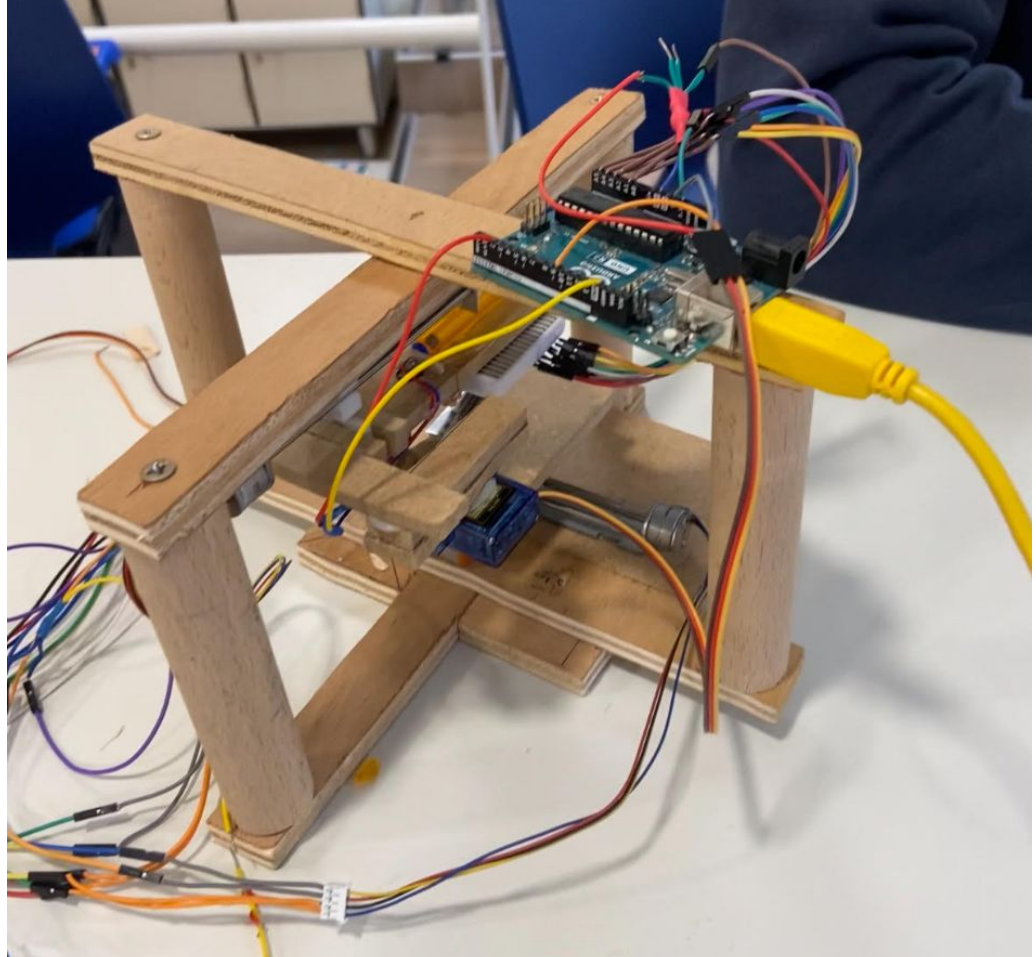
Une mesure par point et par photodiode :

Capteurs:							
1	2	3	4	5	6	ligne	colonne
-109	-29	9	26	60	18	116	60
-69	-32	16	25	41	18	117	60
-67	-35	15	23	46	21	118	60
-67	-33	15	24	43	18	119	60
-62	-25	16	20	32	21	120	60
-66	-31	14	22	38	23	121	60
-66	-30	12	23	44	16	122	60
-67	-36	12	23	45	21	123	60
-61	-26	11	19	36	19	124	60
-68	-34	12	24	44	20	125	60

Premier modèle

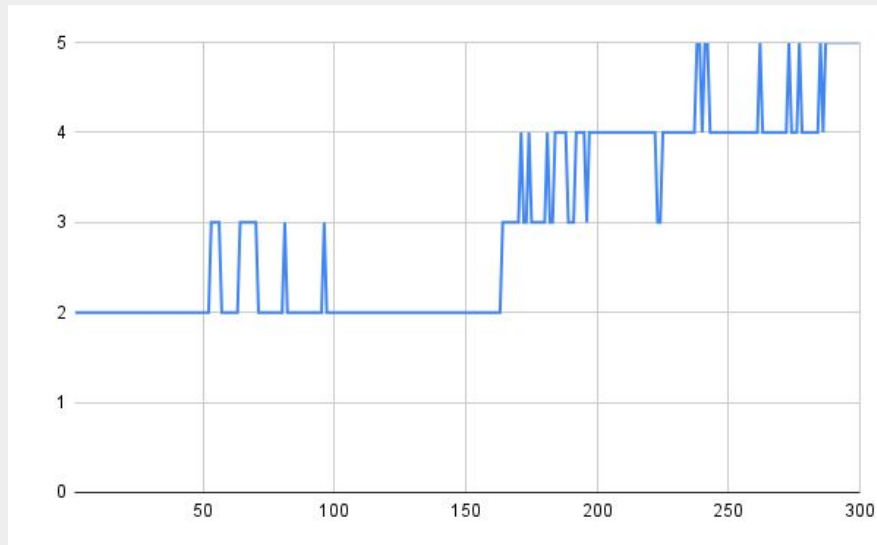
Première maquette - Un seul Arduino

- De la tension doit être envoyée vers 10 ports différents
- 60 mesures par point (60 mesures / 0.5 sec)
- Envoi des données à l'ordinateur pendant le scan



Imprécisions des mesures

N° du Capteur
Maximal



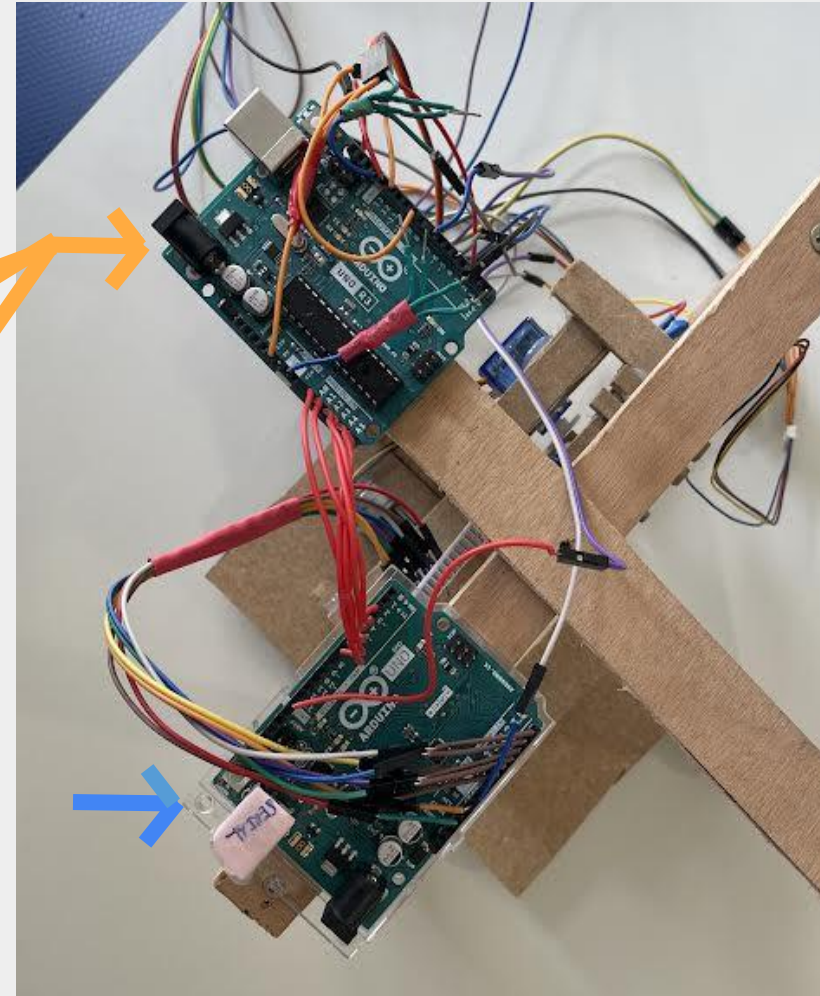
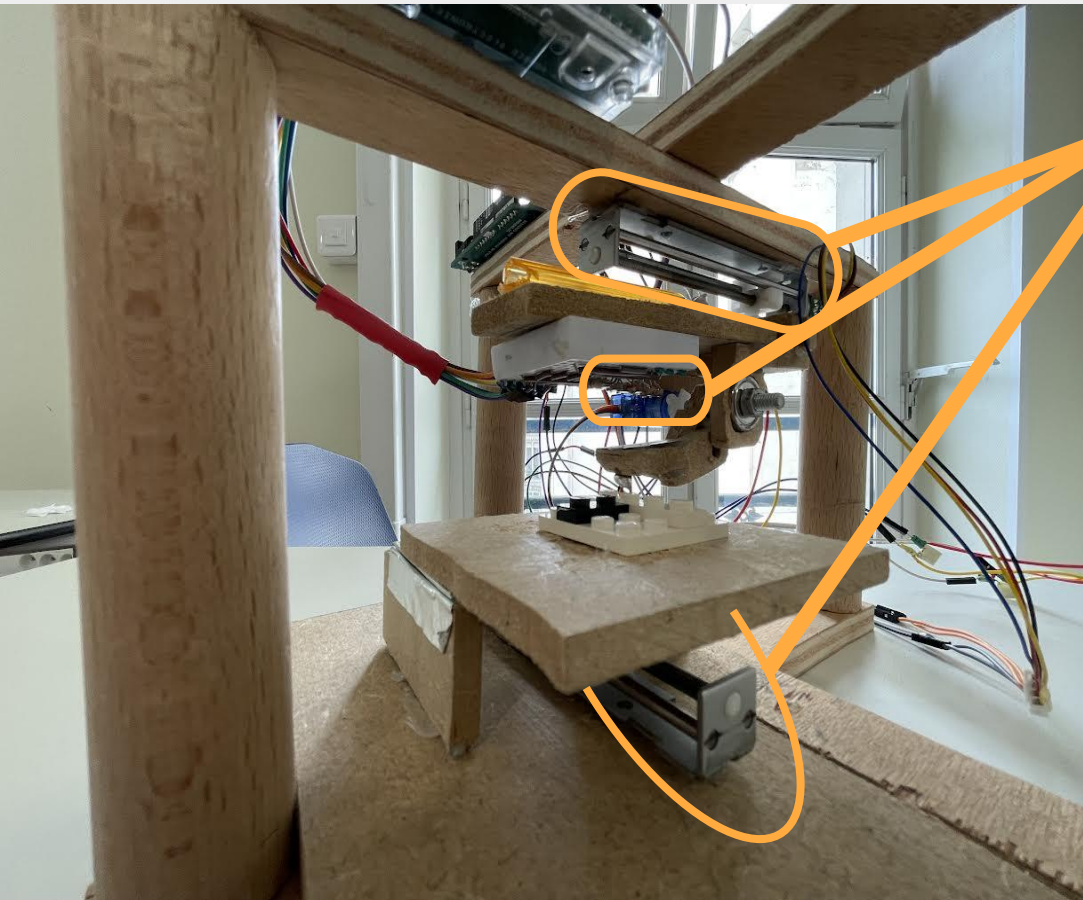
N° du point scanné

Scan de 300 points

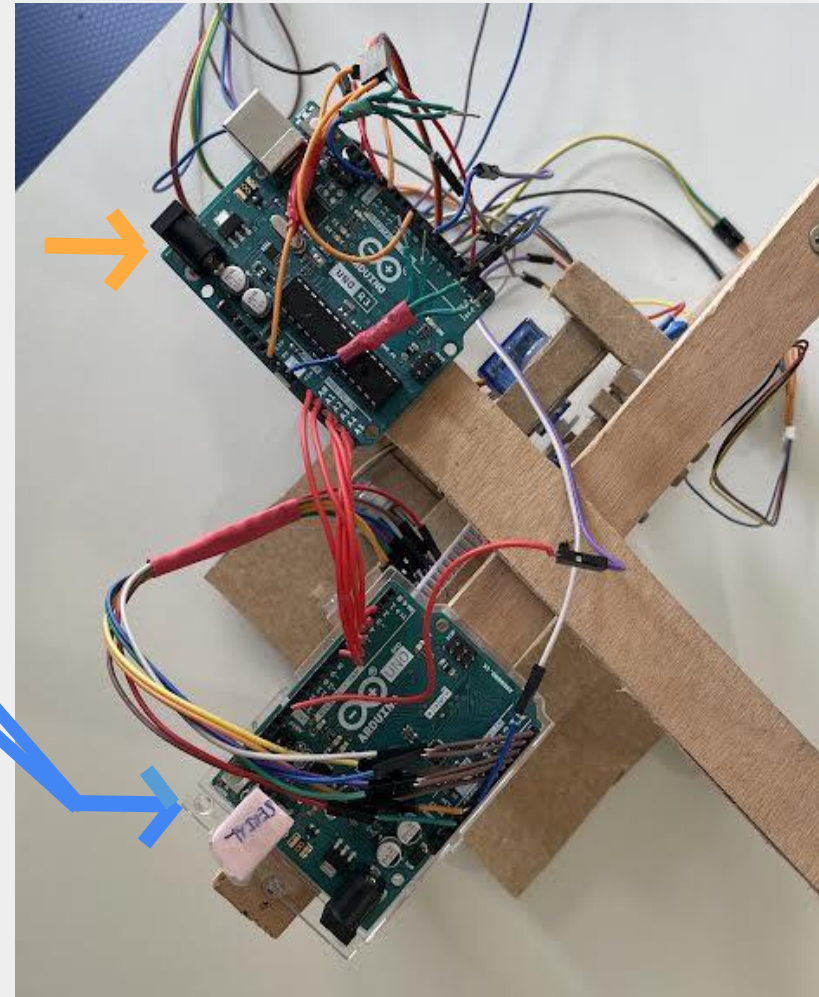
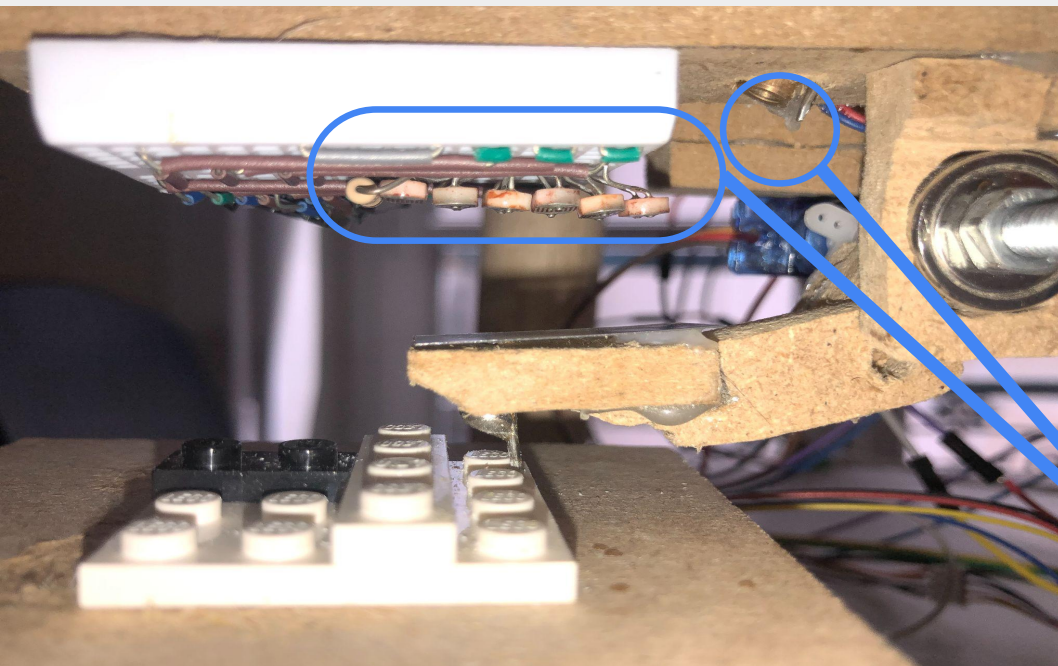
Surface
scanné en
2D:



Nouvelle maquette



Nouvelle maquette

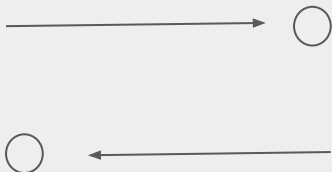


Communication entre les deux cartes

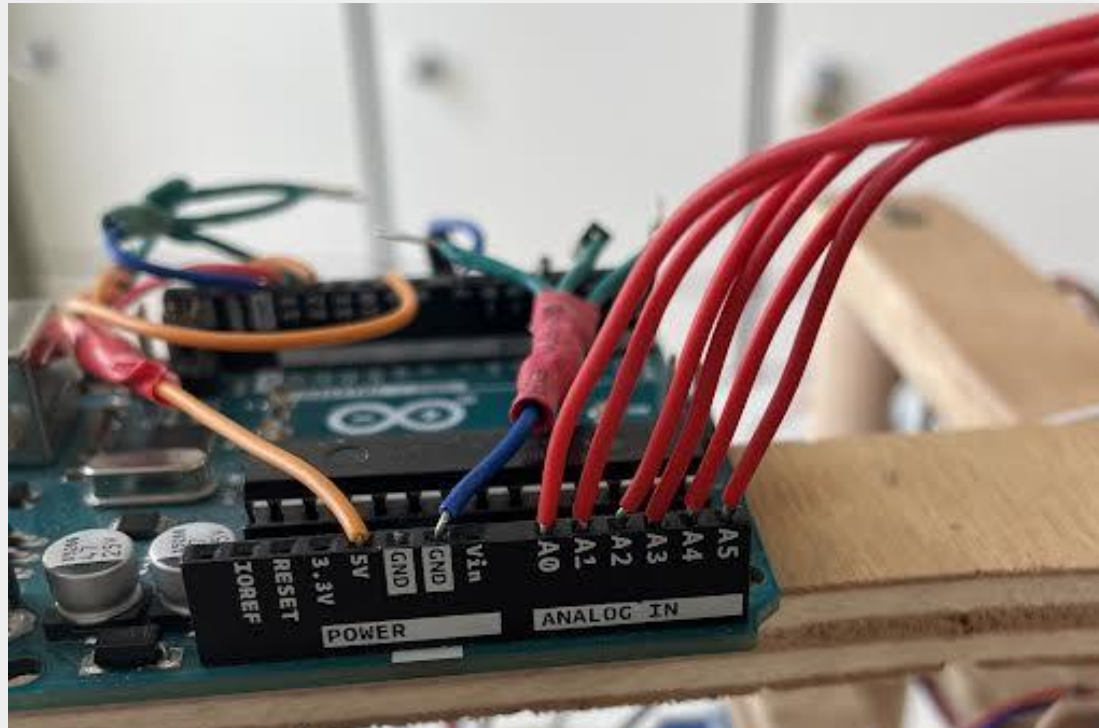
6 ports pouvant
Recevoir un signal, ou
en envoyer un.

4 Ports:

- 2 Récepteurs
- 2 Emetteurs



L	Scan	H		L			H		L
L			H		L Mouvement	H		L	

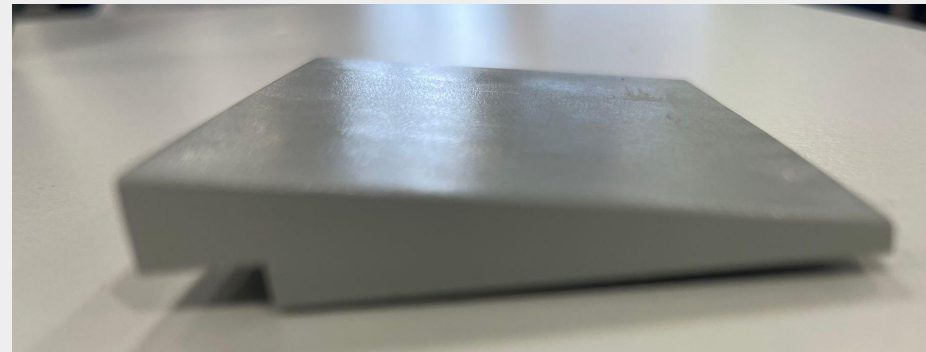
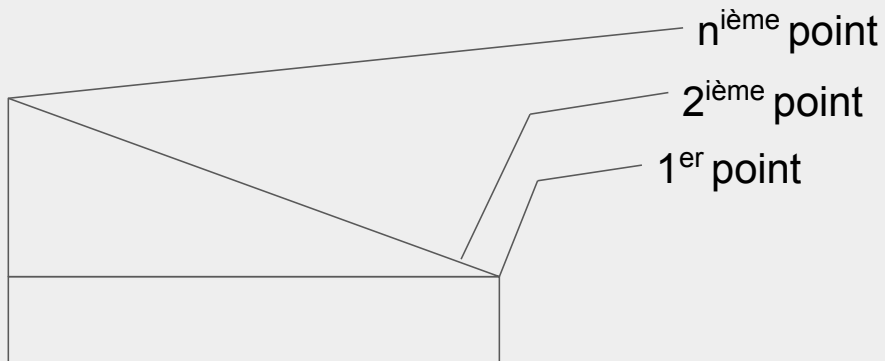


Affichage et Hauteurs

Etalonnage de la hauteur

Utilisation d'un algorithme des k plus proches voisins :

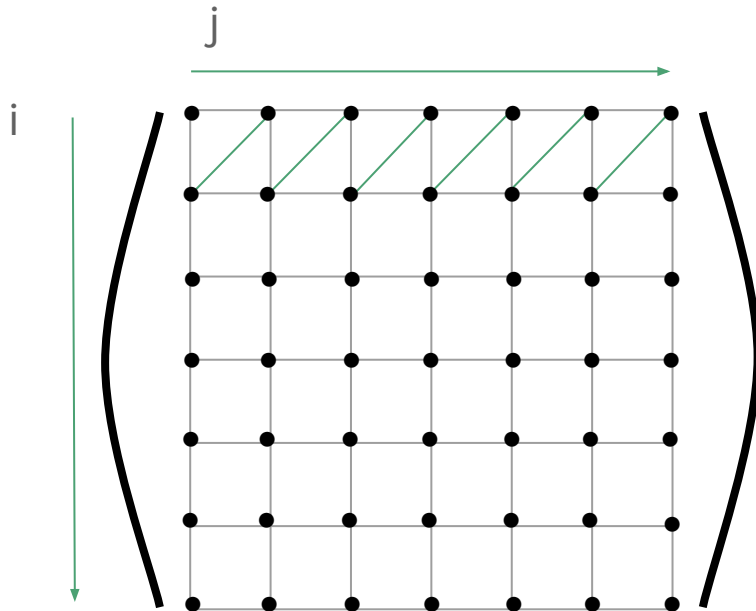
- Mesure d'une surface tampon
- Comparaison des mesures des points de la surface analysée avec celles du tampon



Affichage 3D

Affichage à l'aide de triangles sur OpenGL

Matrice de hauteurs:



```
glBegin(GL_TRIANGLES);
```

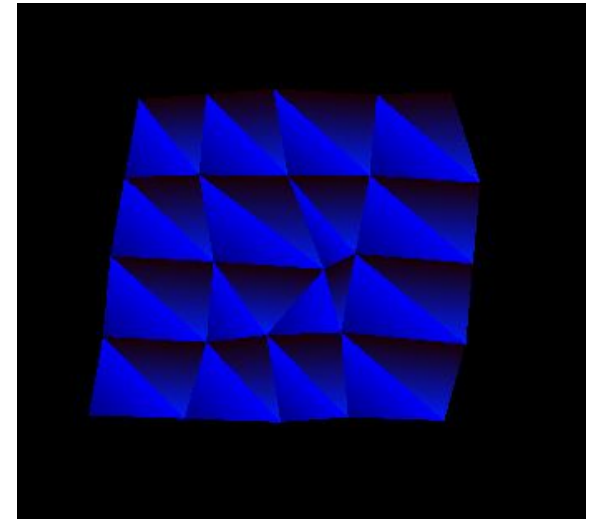
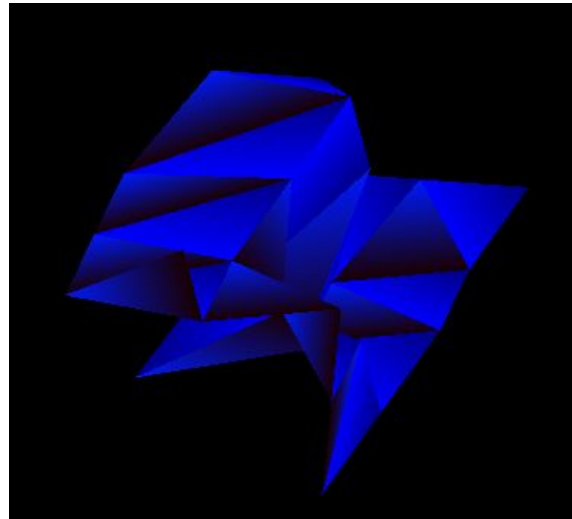
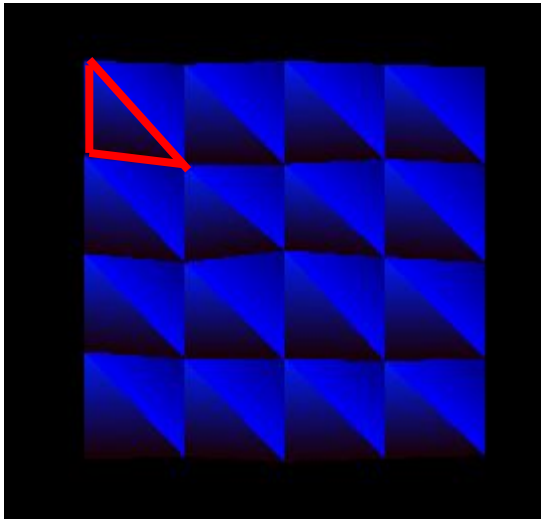
```
glColor3f(1.0f, 0.0f, 1.0f);
```

```
glVertex3f(-0.5f, -0.5f, 0.5f);
```

```
glVertex3f( 0.5f, -0.5f, 0.5f);
```

```
glVertex3f( 0.5f, 0.5f, 0.5f);
```

```
glVertex3f(i/(float)(n), j/(float)(n), mat[i][j]);  
glVertex3f((i+1)/(float)(n), j/(float)(n), mat[i+1][j]);  
glVertex3f((i+1)/(float)(n), (j+1)/(float)(n), mat[i+1][j+1]);
```

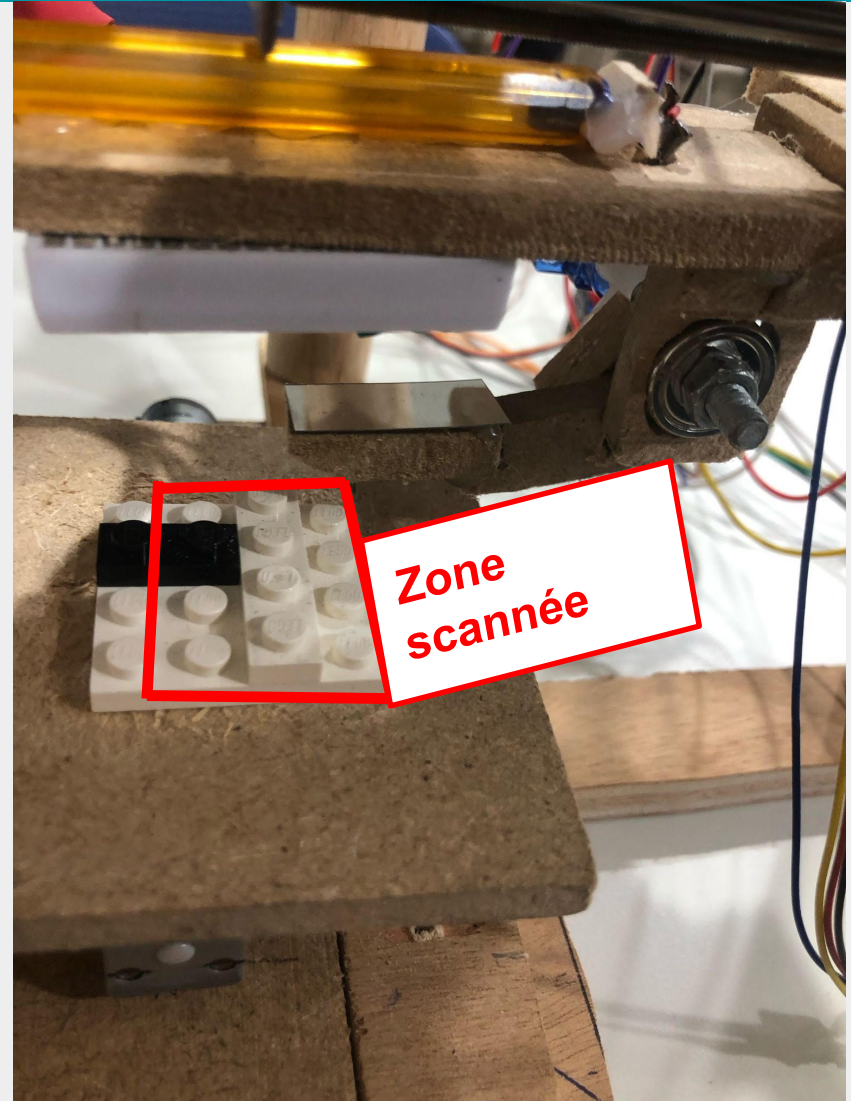


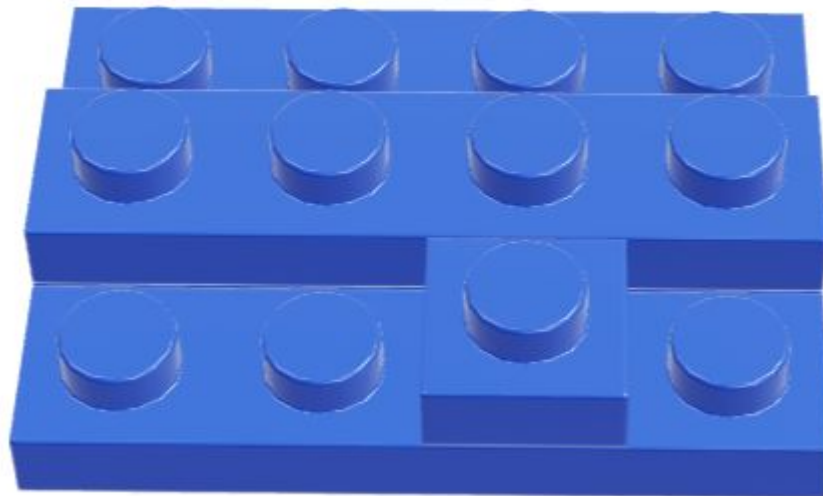
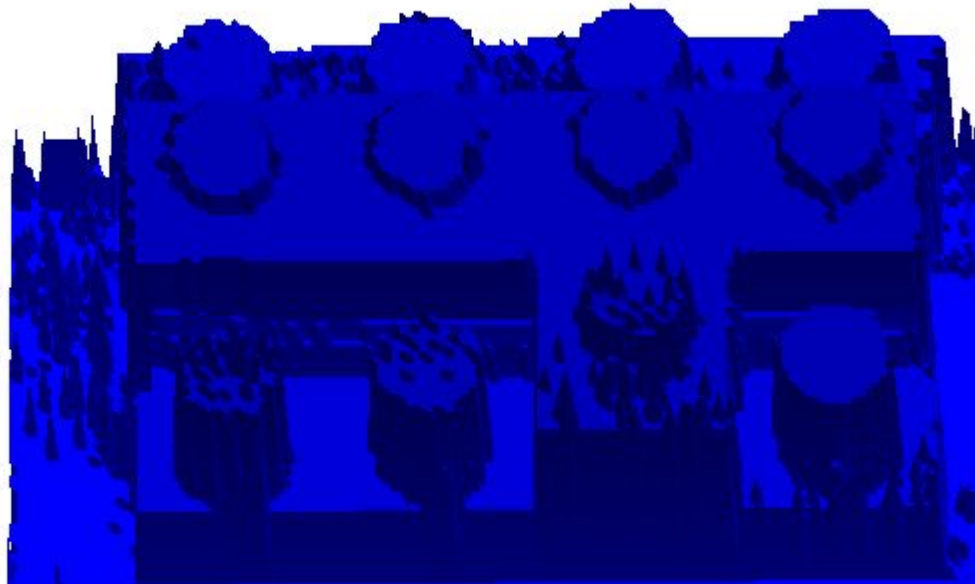
Scan 1

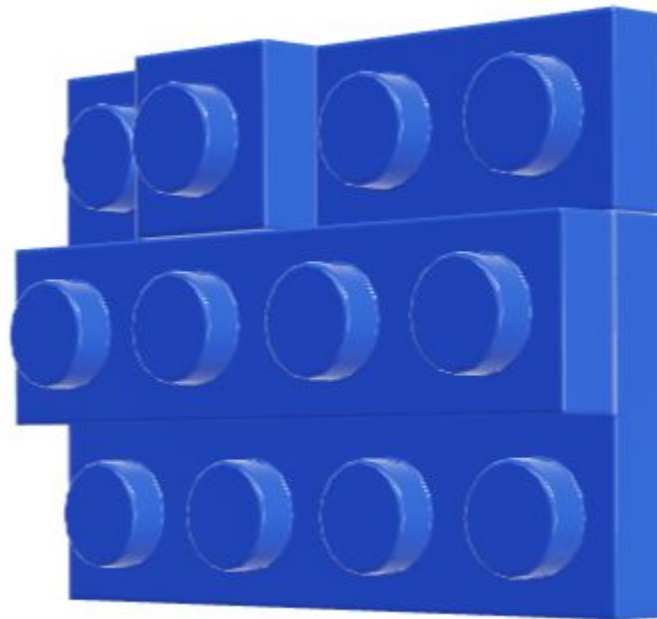
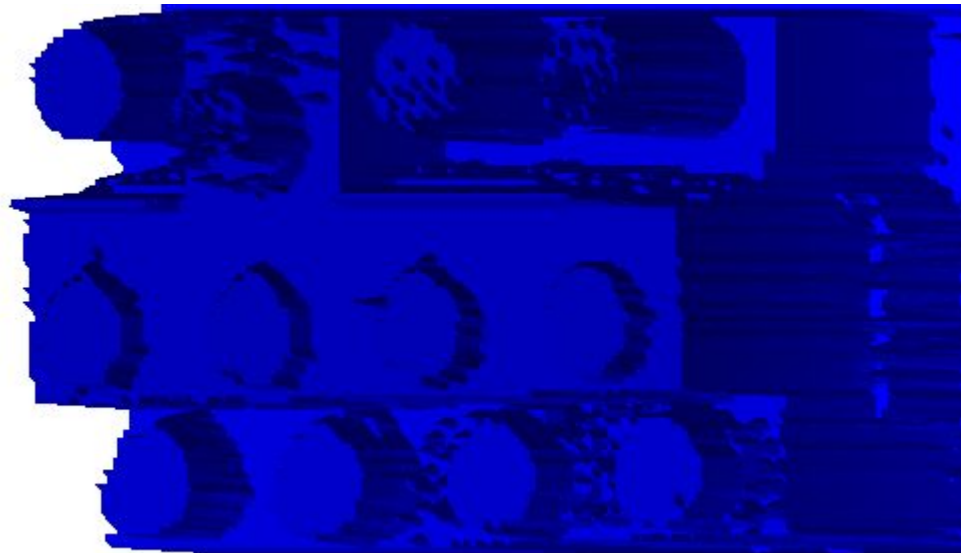
Un scan en 4h:

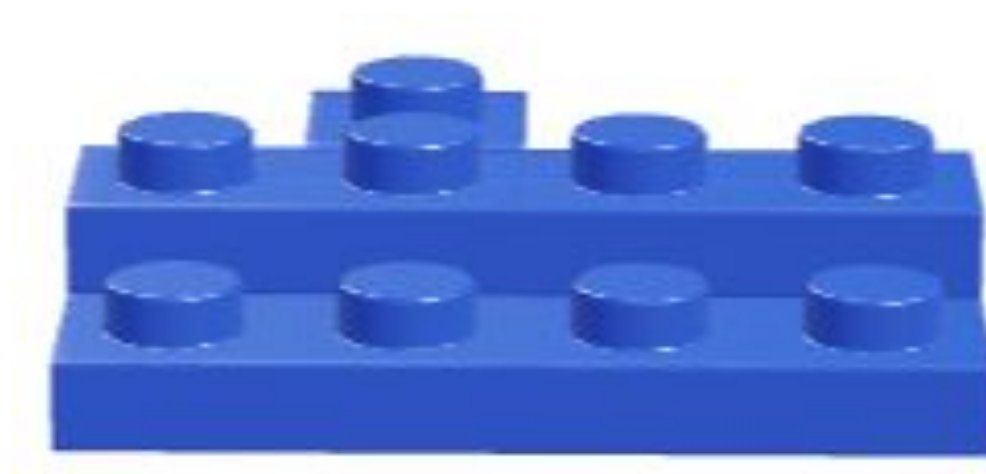
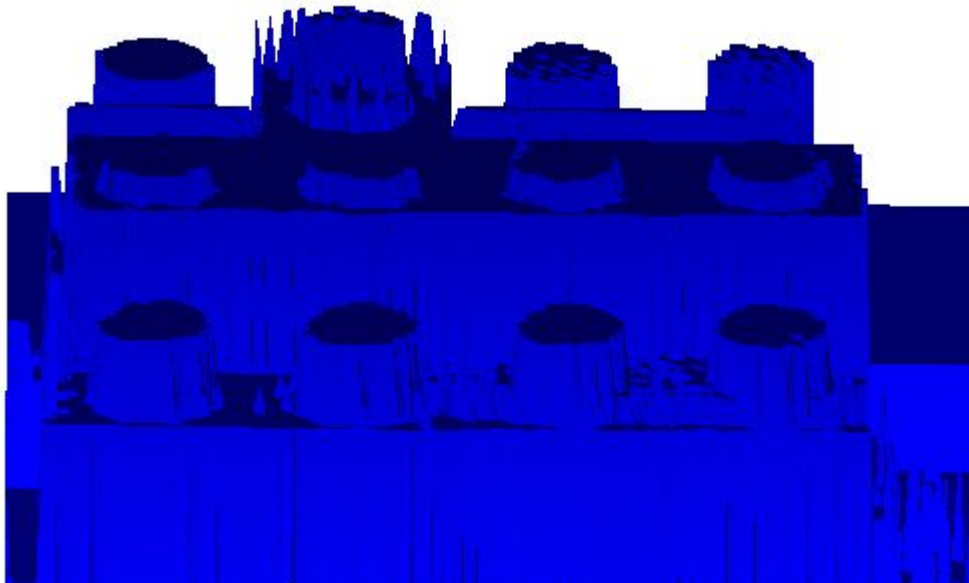
- 141 pas par ligne 25 μm
- 100 lignes
-

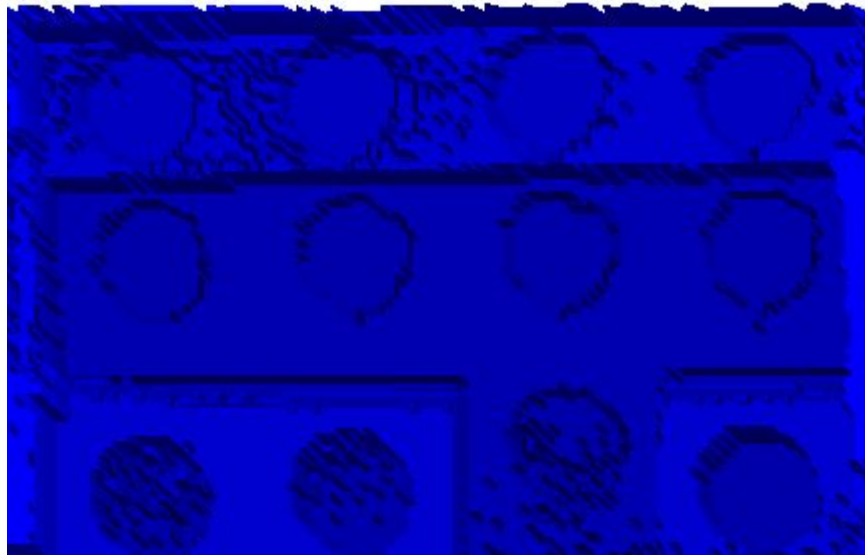
14 000 Points au total











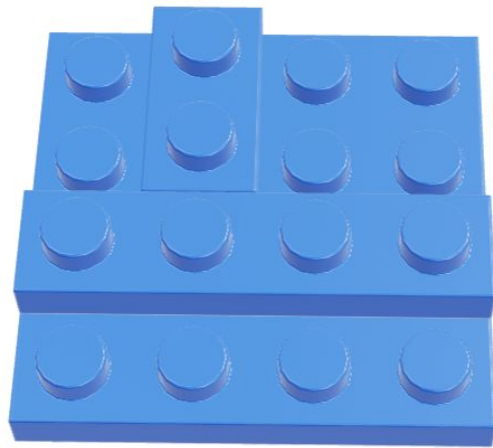
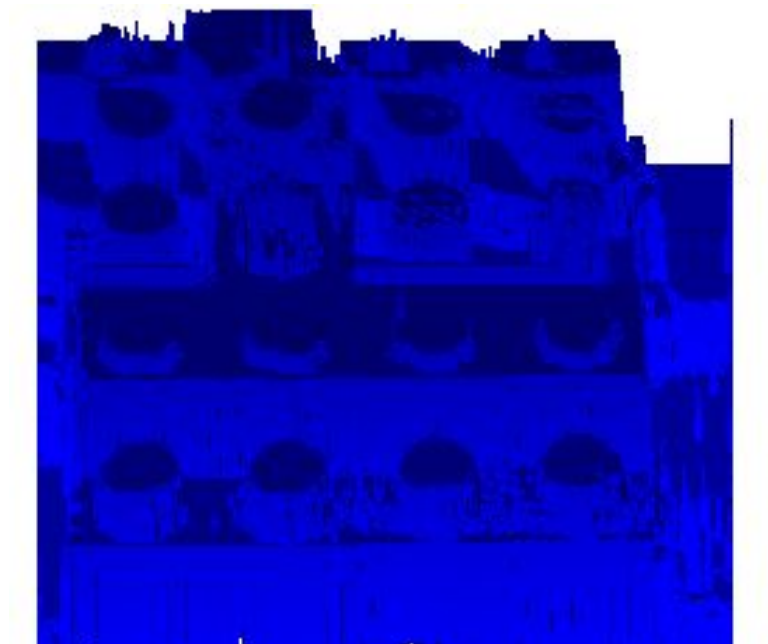
Scan 2

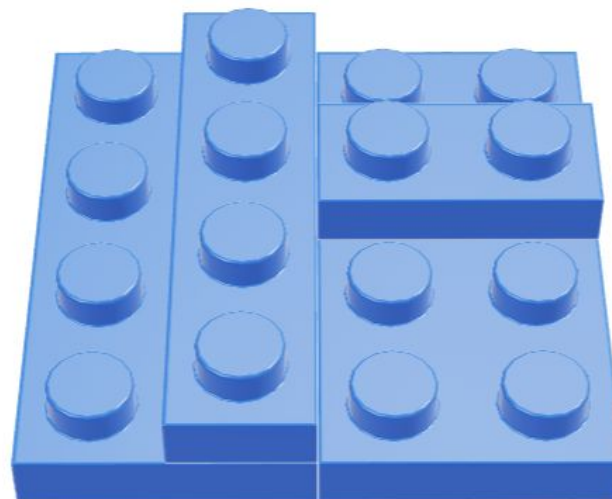
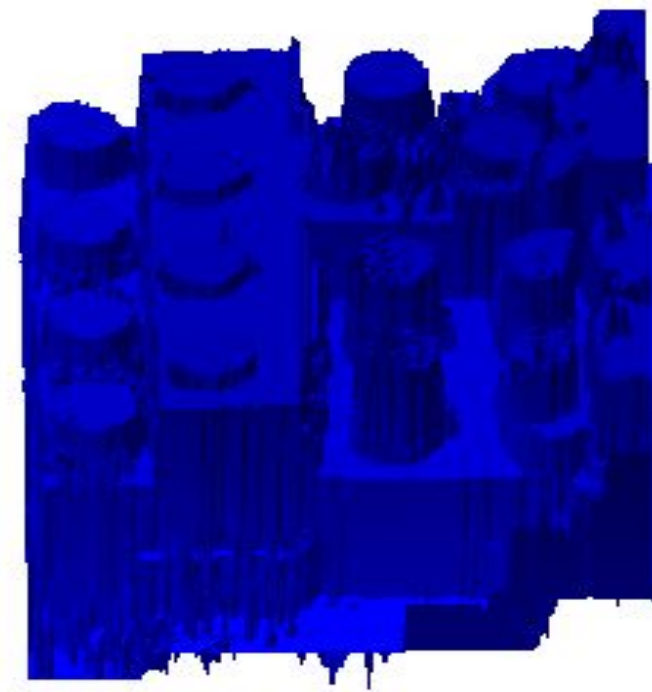
Un scan en 5h:

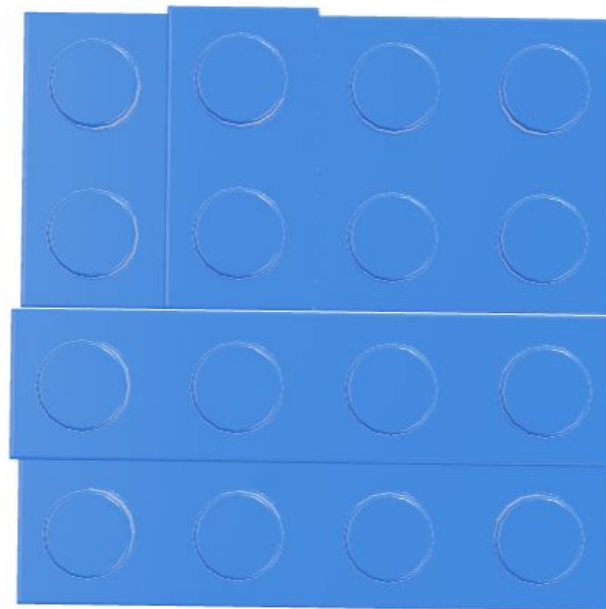
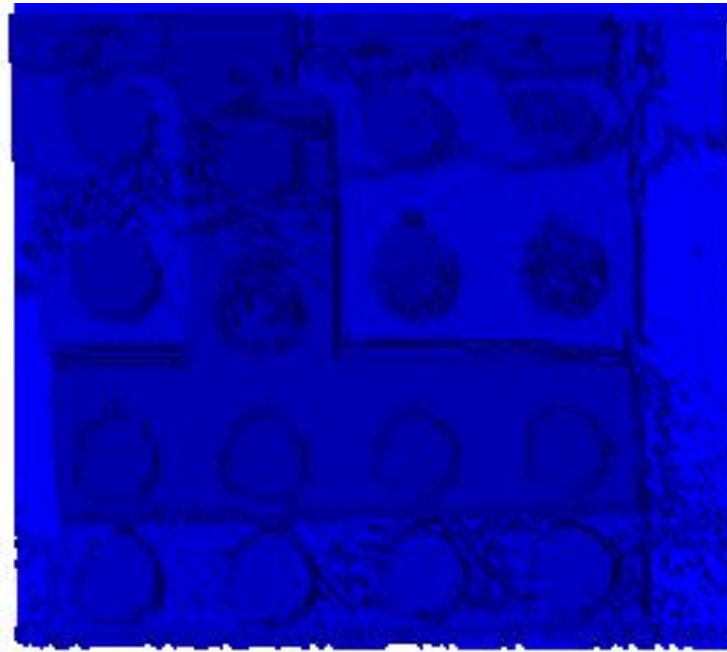
- 141 pas par ligne, 25 μm
- 126 lignes

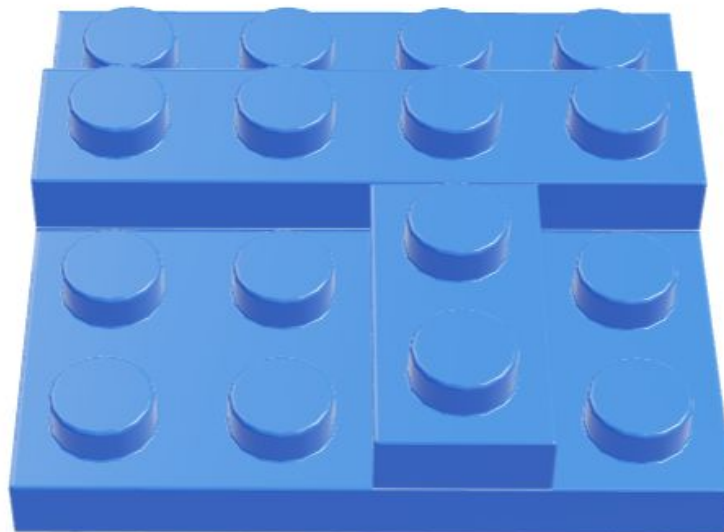
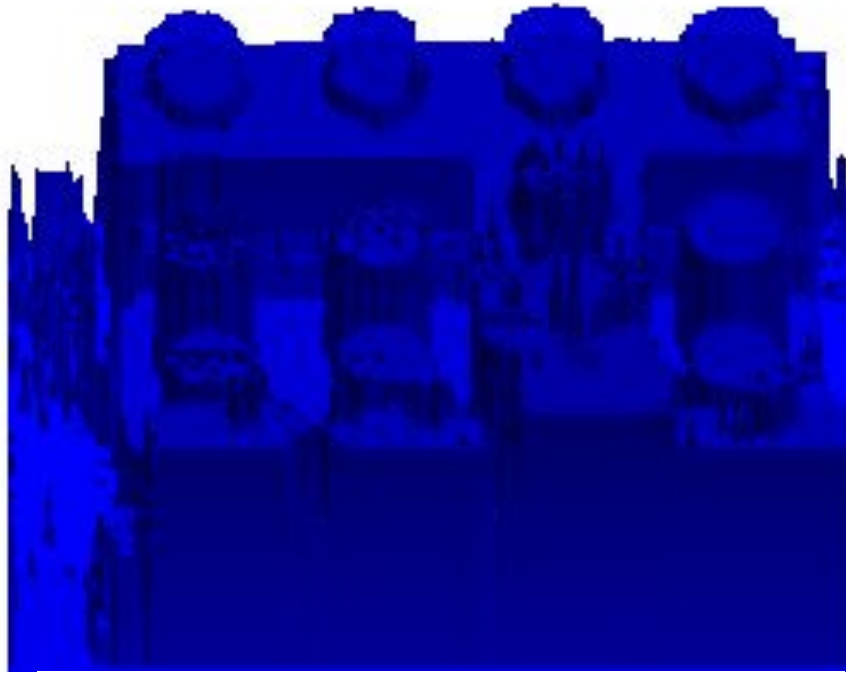
17 000 Points au total











La pointe pousse le miroir sur la durée

Problème



Solution

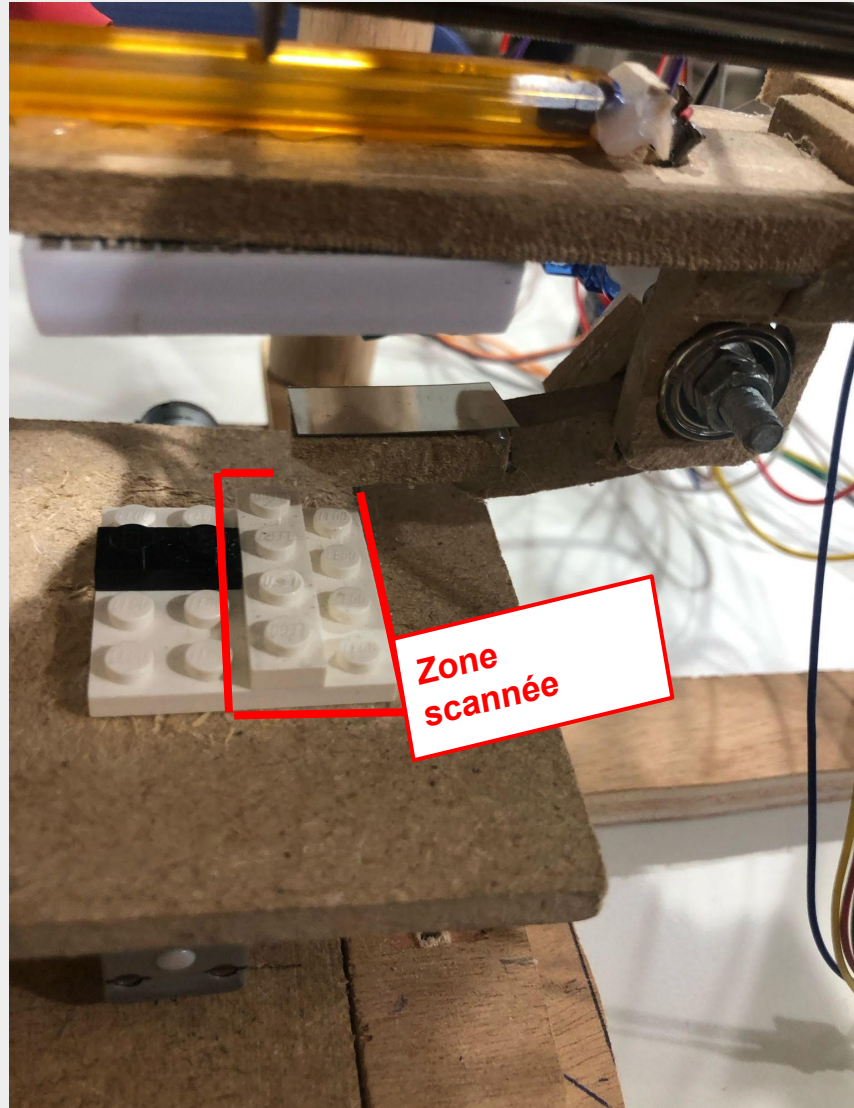


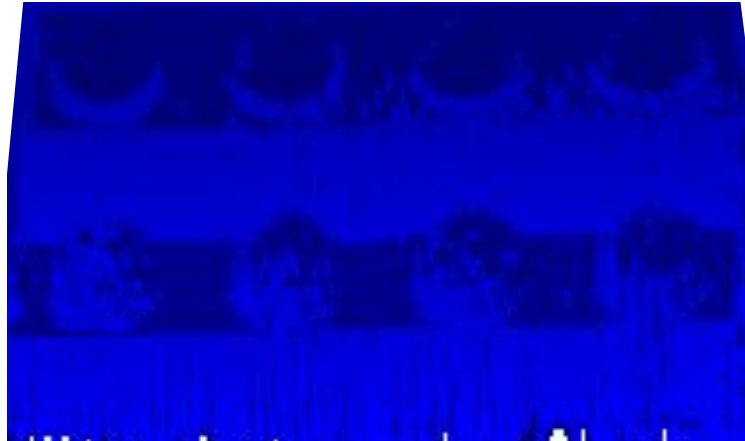
Scan 3

Un scan en 4.5h:

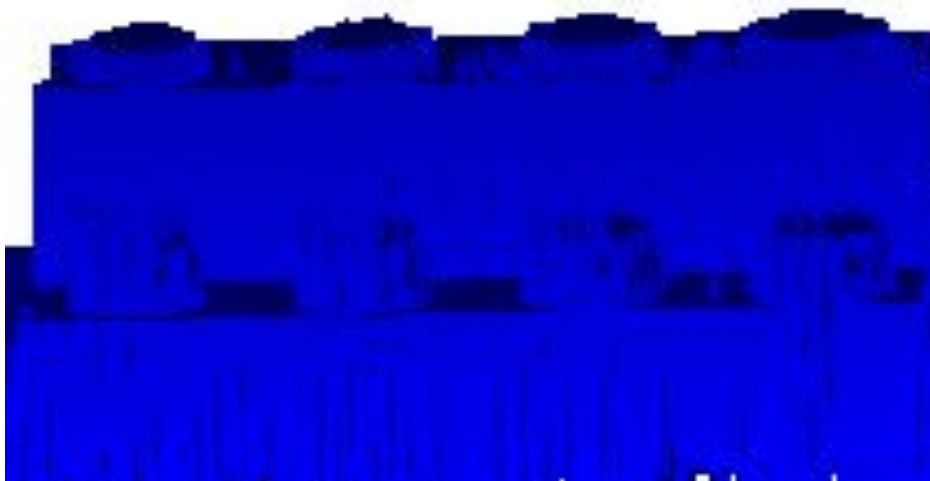
- 300 points par ligne
- 50 lignes

15 000 points





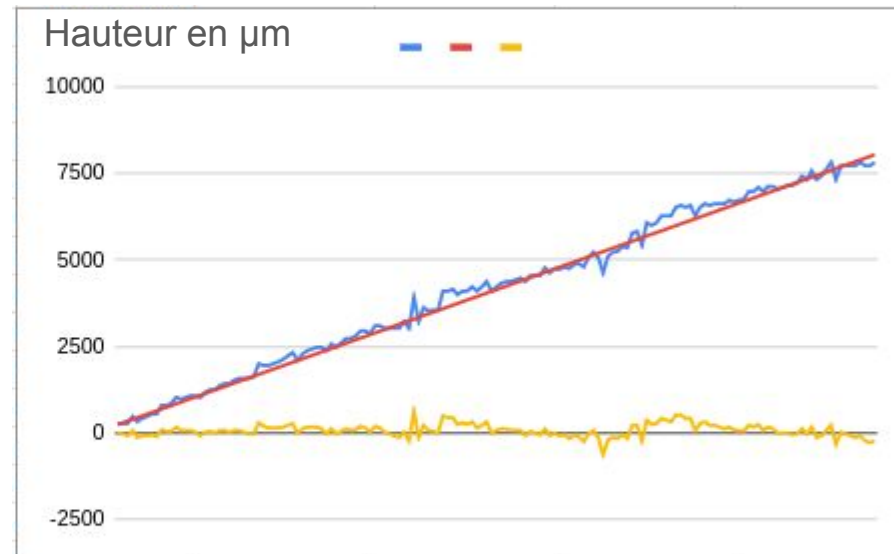




Incertitude

Valeur Experimental en micrometre	Valeur Reelle en micrometre	Erreur
250	250	0
275	300	-25
275	350	-75
475	400	75
325	450	-125
425	500	-75
475	550	-75
550	600	-50
550	650	-100
800	700	100
800	750	50
850	800	50
1025	850	175
975	900	75
1025	950	75
1075	1000	75
1075	1050	25
1025	1100	-75
1175	1150	25
1250	1200	50
1250	1250	0
1375	1300	75

Incertitude type (ecart-type des erreurs)		
180.0098329		



160 Points
Incertitude type: 180 μm

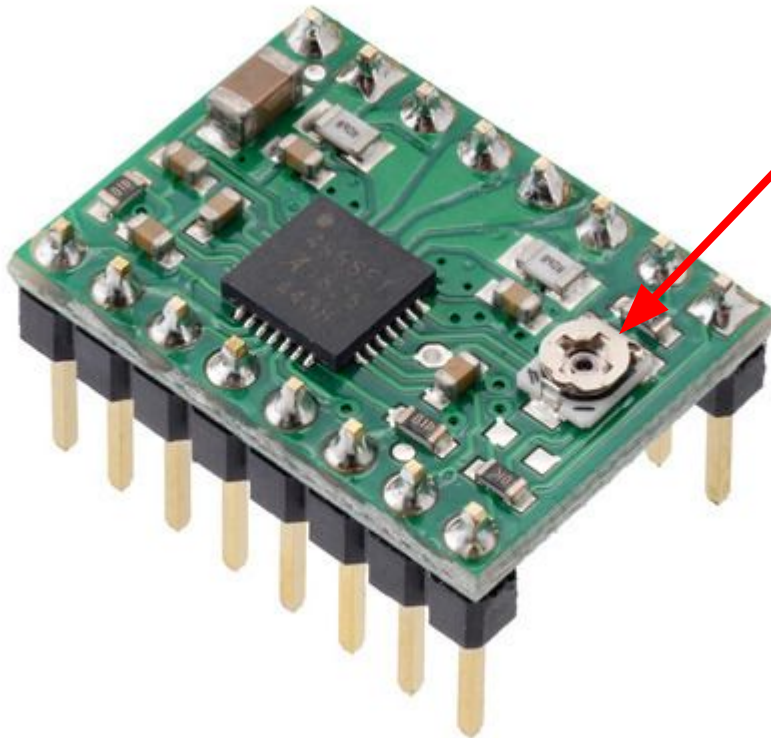
Conclusion

- Un résultat final très proche de l'objet scanné
- Scans d'une longue durée dû au temps requis par mesure.
- Un scanneur qui fonctionne à chaque utilisation, sans surchauffe des moteurs: Utilisation possible sans supervision du système.

Annexe

Surchauffe des moteurs

Stepper motor driver:



Régulateurs d'ampères
en sortie:

Le constructeur affiche
300mA, mais la sortie est
initialement à 1A