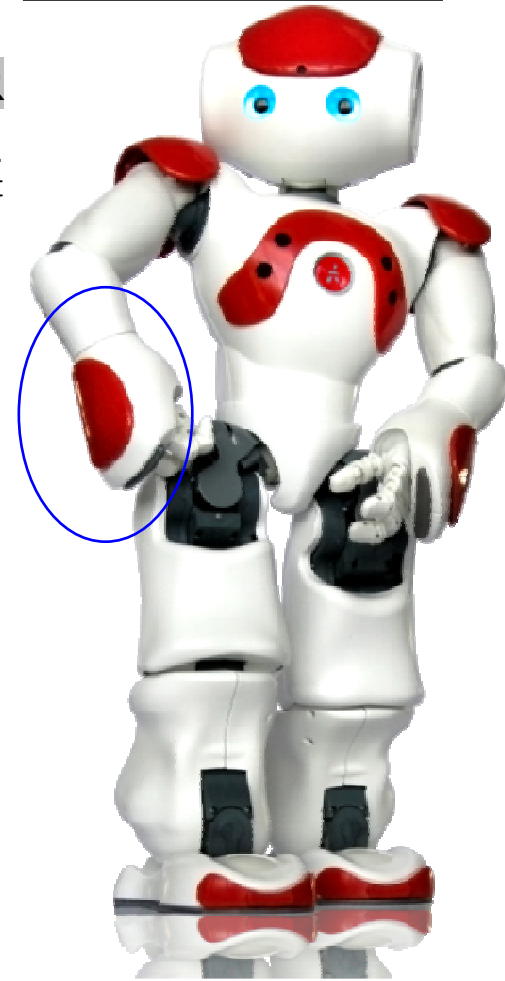
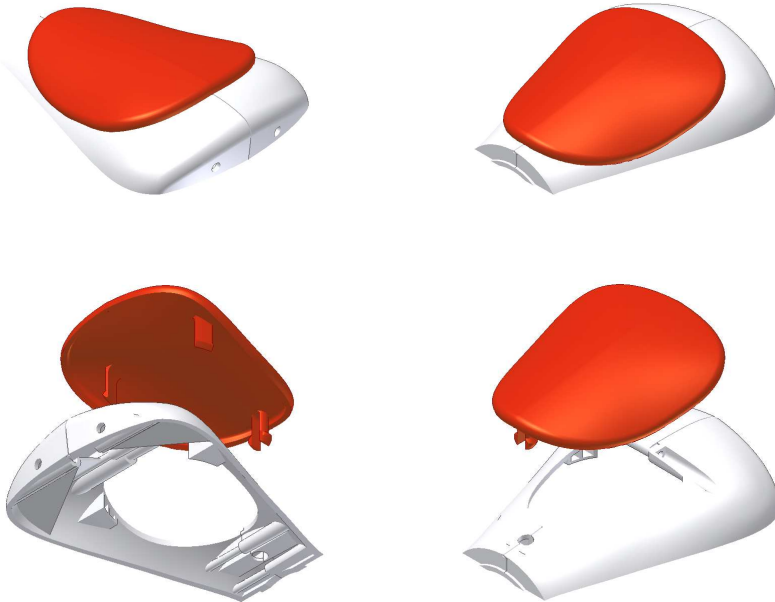


1. Mise en situation et design du projecteur LASER

NAO est un robot bipède d'environ 60 cm de hauteur pour moins de 5 kg. Le projecteur LASER NAO est un accessoire qui doit se monter en lieu et place de la goutte d'origine clipsée sur le dessus de la main.

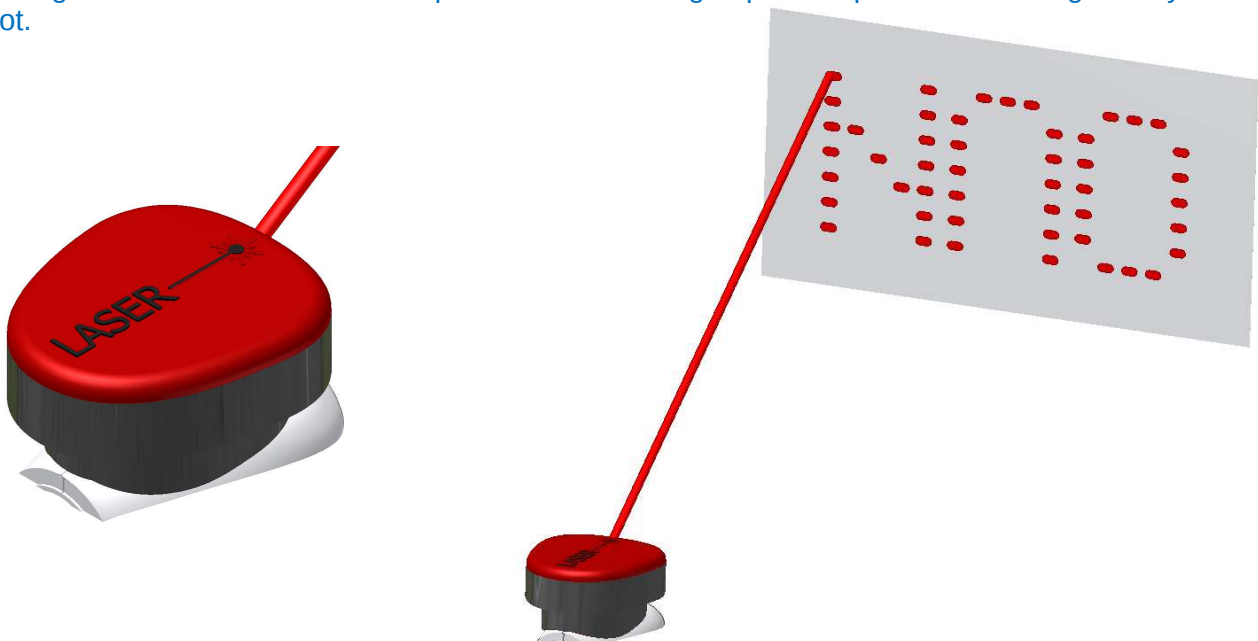
Montage initial :



Situation de l'accessoire et simulation du résultat attendu :

Le projecteur doit s'intégrer parfaitement sur le dessus de la main sans occuper le volume sous celle-ci. Il doit projeter au minimum une lettre (**N,A,O**) voire les trois (**NAO**) lisible(s) pour un observateur situé à 3 mètres.

Le design de l'accessoire devra être particulièrement soigné pour ne pas nuire à l'image attrayante du robot.



2. Contraintes pour écrire avec une source LASER

Les contraintes techniques :

1. Génération mécanique d'un balayage d'un point lumineux de diamètre 3 à 5mm pour créer la « surface » d'affichage :
 - Alimenter en énergie électrique (autonomie énergétique de l'accessoire)
 - Utiliser une source lumineuse de type LASER (*cf. Annexe: Définition et principe LASER*)
 - Utiliser nécessairement au moins 2 surfaces réfléchissantes mobiles (miroirs)
 - Trouver des surfaces ayant une très bonne qualité réfléchissante (rendement de la puissance optique en jeu) et non diffractantes
 - Maîtriser les lois de l'optique (*cf. Annexe : Extraits de cours d'optique*)
 - Mettre en mouvement les miroirs
 - Asservir le mouvement de chaque miroir
2. Générer un « contour » de lettres facilement identifiable et lisible à 3 mètres
 - Utiliser une fréquence de balayage suffisante pour obtenir la persistance rétinienne de l'affichage
 - Utiliser un modèle d'écriture standard et éprouvé (*cf. Annexe : Codes ascii sur matrice 5x7*)
 - Dimensionner les caractères
 - Déterminer la fréquence maximale d'utilisation du LASER en mode pulsé sans atténuation de la puissance optique
 - Synchroniser l'allumage/extinction du LASER aux mouvements des miroirs
 - Utiliser une commande suffisamment rapide et compatible avec le protocole de commande I2C

Les contraintes économiques :

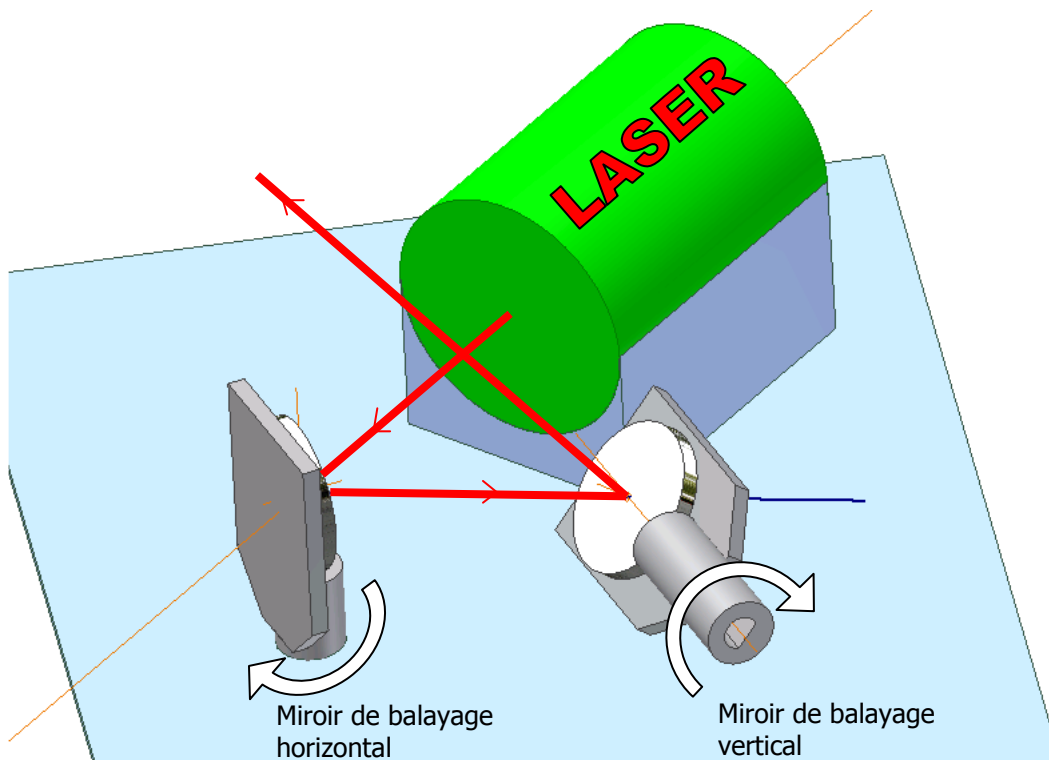
- Être peu onéreux !

Les contraintes liées à la sécurité des personnes :

- L'augmentation des performances des modules LASER est incompatible avec le respect des normes de sécurité des personnes exposées à un rayonnement type LASER (EN 60825-1)

3. Rappel de la première conception : Les différents principes de balayage laser envisagés

3.1 Pilotage de 2 miroirs simples selon des axes orthogonaux :



Avantages :

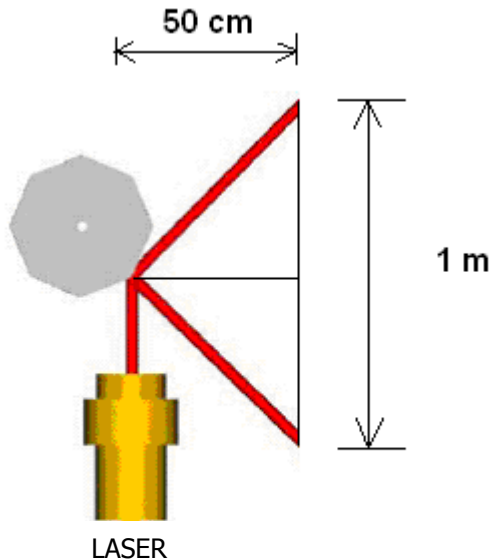
- Très faible encombrement des miroirs et porte-miroirs
- À priori, toute forme de graphisme accessible
- Matériel identique pour les deux axes de balayage

Inconvénients :

- Très faibles amplitudes de rotation (moins de 3°) à haute fréquence (kHz) : soit les moteurs fonctionnent en quasi statique ou alors il est nécessaire d'intercaler un système mécanique miniature transformant une rotation continue en rotation alternative (système « 4 barres »)
- Dans le cas d'une motorisation directe, cela imposerait des moteurs coûteux et une faible durée de vie.
- Nécessité d'asservir en position la commande des porte-miroirs et donc de développer des capteurs spécifiques.

3.2 Pilotage d'une roue porte-miroirs et d'un miroir simple selon des axes orthogonaux :

L'idée est de remplacer un miroir simple oscillant (créant les lignes horizontales par exemple) par une « roue » polygonale portant sur chacune de ses faces un miroir.



Exemple d'une roue à huit miroirs dont les faces réfléchissantes sont parallèles à l'axe de rotation

En se basant sur le fait que la persistance rétinienne est effective à partir de 16 Hz et que le balayage devient pratiquement imperceptible dès 20 Hz :

N moteur tr/min	Temps écriture NAO (ms)	Fréquence écriture NAO	Fréquence de commande du LASER	Validation LASER
960	62,5	16 Hz	2,5 kHz	oui
1200	50	20 Hz	3,2 kHz	oui

Formule de l'angle de projection du faisceau laser, noté p , sur un porte-miroir à n facettes

$$p = 360^\circ - (2 \times (180^\circ - 360^\circ / n))$$

L'angle de projection pour un porte miroirs à 8 faces est de 90° soit une distance parcourue de 1m sur un plan disposé à 50 cm.

Cela suppose que le balayage vertical soit d'une amplitude suffisante sinon l'écriture s'affiche selon un format peu lisible :

Exemple de rapport hauteur/largeur = 1/10 :



Conclusion :

Le balayage horizontal est nettement facilité (asservissement en vitesse d'un moteur DC) mais subsiste le problème du balayage vertical comme dans la solution 1.

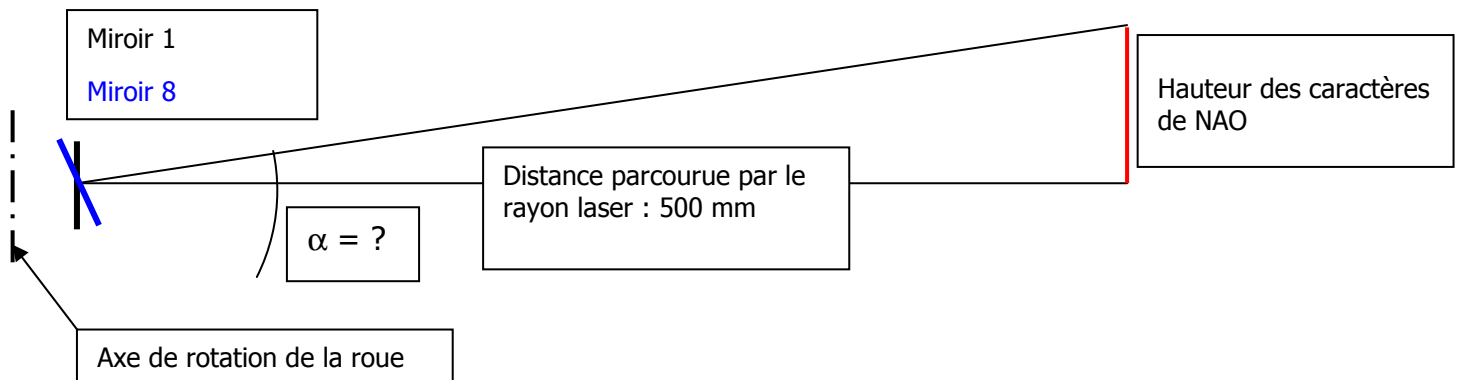
D'autre part, le nombre de miroirs doit être judicieusement choisi pour optimiser le compromis encombrement de la roue (largeur de chaque miroir > $\varnothing$ faisceau LASER) et angle de balayage horizontal : déformation des caractères et puissance optique qui chute avec l'étendue de la surface projetée !

Il faut une roue qui comporte plus de 8 miroirs et trouver une solution pour le balayage vertical.

3.3 Pilotage d'une roue porte-miroirs dont les miroirs sont inclinés par rapport à l'axe de rotation :

Dans ce cas le balayage de la surface est assuré par le mouvement de rotation de la roue porte-miroirs.

Exemple de caractérisation pour un porte-miroirs à 8 faces :



On a $\tan \alpha = 40 / 500 = 0,08$ soit $\alpha = 4,57^\circ$

D'où un angle d'inclinaison entre chaque miroir de $0,286^\circ$

Conclusion :

La nette amélioration provient de la suppression d'une motorisation (gain encombrement + gain énergétique).

La difficulté reste la faisabilité de la roue porte-miroirs qui doit assurer une MIP complexe et précise et le MAP des miroirs.

Là encore, le choix du nombre de miroirs sera un compromis entre encombrement et qualité de la projection (lisibilité des caractères)

3.4 Pilotage d'un support multi-LASER :

Ce dispositif comporte autant de diodes LASER que de lignes de balayage, il ne reste plus qu'à animer le système d'un mouvement de rotation alternatif pour créer le balayage verticale et donc générer la surface de projection.

Avantages :

Balayage performant d'un point de vue mécanique et optique car les diodes LASER sont utilisées en émission directe

Inconvénients :

Encombrement incompatible avec le contexte du robot NAO !

Normes de sécurité plus difficile à respecter.

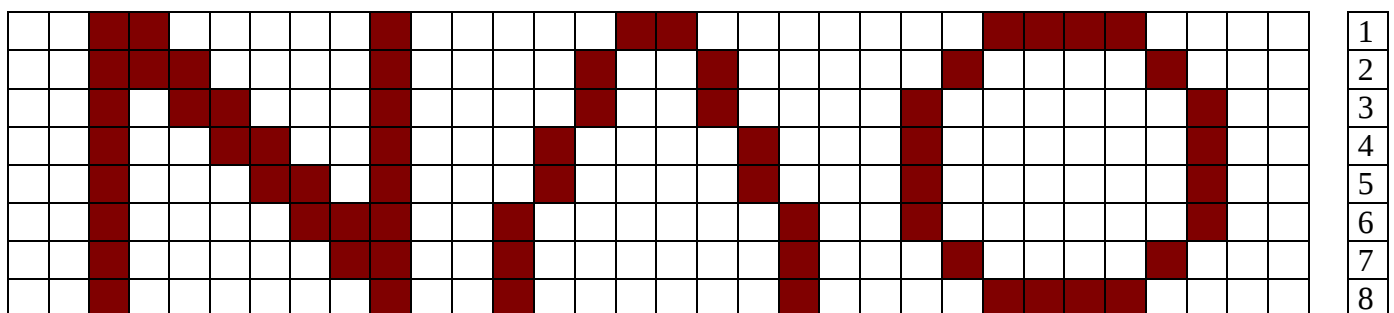
3.5 Principe de balayage retenu pour la nouvelle conception :

La faisabilité d'un porte-miroirs à faces inclinées ayant été vérifiée grâce à un contournage réalisé avec la machine à électro-érosion à fil en mode 4 axes (pilotage u/v), le choix se porte naturellement vers la solution de principe exposée au **3.3** avec une roue porte-miroirs à 14 facettes inclinées d'un angle relatif de $0,5^\circ$.

4. Rappel de la première conception

Choix de la forme et des dimensions de l'écriture

4.1 Principe de formation des caractères :



Le principe retenu est une « pixelisation » de la fenêtre d'écriture en définissant une matrice de points (lignes x colonnes) à « allumer » ou à « éteindre ».

Pour l'exemple ci-dessus :

Fréquence de balayage $f = 16$ Hz (valeur minimale)

$T = 0,0625$ s

La matrice contient 256 carreaux (pixels) que l'on doit pouvoir « allumer » ou « éteindre » à volonté

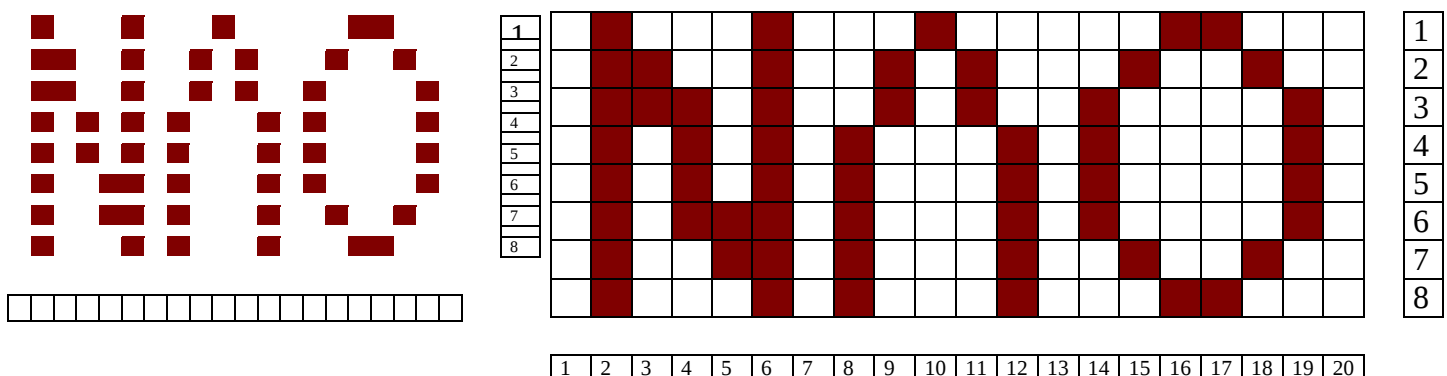
Il vient :

$T_{\text{carreau}} = 2,44 \cdot 10^{-4}$ s

$F_{\text{carreau}} = 4096$ Hz

Dans ce cas, cela nécessite une gestion de l'émission LASER à 4096 Hz

4.2 Dimensions de la « fenêtre » d'écriture :



Pour une vision correcte à 3 m, des essais ont montrés que les dimensions H x l suivantes étaient satisfaisantes :

40 x 50 (cas 1 à gauche)

50 x 140 (cas 2 à droite)

Le respect d'un rapport $H / l = 3$ env. est un critère de lisibilité.

Si la fenêtre est trop grande, on risque de ne plus apercevoir le faisceau LASER car sa puissance optique par unité de surface devient trop faible pour être visible.

4.3 Choix du formalisme de l'écriture :

Nous avons choisi de reprendre le modèle d'écriture des afficheurs LCD :

Tous les caractères sont décomposables dans une matrice de points formée de 7 lignes et 5 colonnes.

Cf. Annexe 3

Toutefois pour suite l'évolution du développement du robot d'Aldebaran Robotics (cf.fichiers ressources du projet LASER NAO 2014) l'écriture de NAO sera modifiée pour tendre vers :

NAO

5. Choix de conception préliminaire

Le porte-miroirs définitif comportera 14 faces inclinées d'un angle relatif de $0,5^\circ$.

L'inclinaison initiale sera choisie lors de l'implantation des composants de façon à éviter toutes interférences du faisceau LASER avec les éléments du boîtier.

La fréquence de balayage de l'écriture a été fixée à 20 Hz. Cela entraîne une fréquence de rotation du moteur de 1200 tr/min.

À une distance de projection de 50 cm, les dimensions brutes de la fenêtre d'affichage seront de :

$h \times l : 140 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$

La matrice sera définie par : 14 lignes de 50 points soit 700 points au total.

On privilégiera un montage des composants mécaniques sur la carte du circuit imprimé. Toutefois, des pièces spécifiques réalisant les fonctions de MIP du laser et du moteur seront nécessaires.

6. Critiques de la première conception

Le résultat en images avec les commentaires :

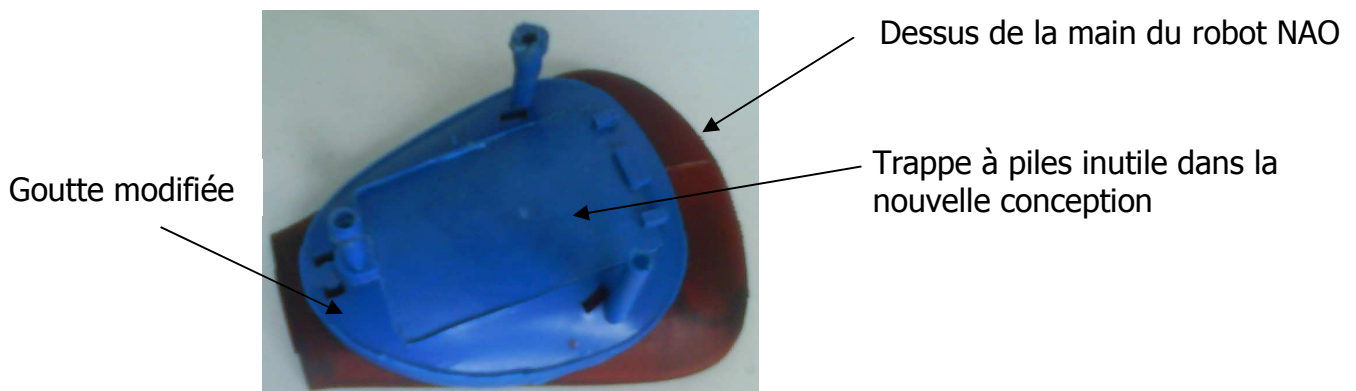
La forme extérieure est fonctionnelle mais l'esthétique doit être améliorée (pb de proportion des volumes)





 Trop long

L'adaptation du boîtier du projecteur sur le dessus de la main du robot est satisfaisante. La goutte modifiée sera un point de départ pour la nouvelle étude, cependant la trappe à piles n'a pu lieu d'être car le projecteur fonctionnera sur accumulateurs rechargeables mais non démontables (nécessité d'une prise DC)





Roue porte-miroirs

Moteur DC

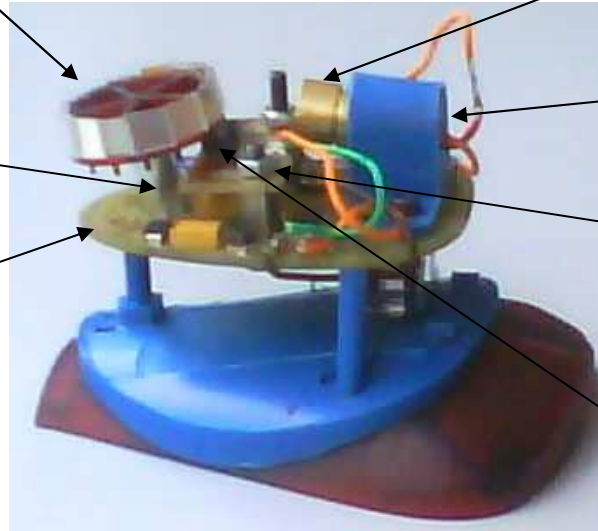
Platine (support CI)

Laser

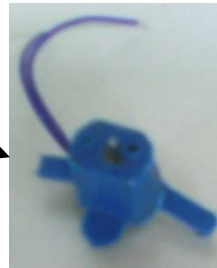
Support laser

Support capteur
de vitesse

Capteur à
fourche



Support moteur
(non fonctionnel)



À conserver, à améliorer et/ou à modifier :

Le principe de base du générateur d'images est validé, ainsi que l'architecture globale.

- Ne plus utiliser de piles rechargeables mais des accus rechargeables avec un chargeur secteur. (prise DC nécessaire).
- Augmenter la qualité et la largeur des miroirs mais en gardant le même nombre. Il faut (donc augmenter le diamètre de la roue porte-miroirs).
- Améliorer le guidage et la motorisation de la roue porte-miroirs (problèmes de précision du guidage) et améliorer le montage.
- Améliorer la mise en position des miroirs / roue
- Améliorer le maintien en position des miroirs sur la roue en prévoyant une "coiffe" sur la roue qui terminerait le maintien.
- Améliorer les formes du boîtier extérieur (hauteur excessive)
- Synchroniser le mouvement de rotation de la roue / laser
- Gérer l'allumage / extinction du laser pour diminuer les distorsions du faisceau laser.

LISTES DES COMPOSANTS ET CALCULS EXPÉRIMENTAUX :

Pour ce projet, on utilisera des composants électroniques dits **CMS** pour **C**omposants **M**ontés en **S**urfaces.

1. L'ALIMENTATION ET RÉGULATION DE TENSION :

La fonction « *Alimentation* » est assurée par l'utilisation de deux **piles** accumulateurs Bâtons LR3 dit aussi AAA, qui fourniront une tension de 2,4 V ; avec une quantité d'électricité de 2000 mA.h, théoriquement le système sera alimenté pendant 10 h de fonctionnement.

La tension de 2,4 V ne suffit pas pour alimenter notre microcontrôleur qui fonctionne sous une tension de 5V. Pour ce fait, on utilisera un **régulateur de tension max 876**, un régulateur élévateur de tension (**Voir schéma électronique** pour l'illustration).

2. LE MOTEUR :

Le **moteur de référence FF-K20WD**, qui est utilisé. Il est alimenté sous une tension de $U=5V$, en fonctionnement l'arbre du moteur tourne à une vitesse de 1300 tr/min et consomme une quantité d'électricité $Q=2,2$ mA.h. Pour ce moteur $K=$; $\Phi=$

$$E' = K.n.\Phi = U - r_r I \Rightarrow n = \frac{U - r_r I}{K.\Phi} = f(U)$$

3. LE LASER :

Le **laser**, fonctionnera sous une tension de 5V, il consomme une quantité d'électricité de $Q=20$ mA.h.

$$W = U.I.t = h.v = h.\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h.c}{U.I.t} = \frac{h.c}{U.Q} \Rightarrow \lambda = \frac{6,629.10^{-34} * 3.10^8}{5 * 20.10^{-3} * 3600} \text{ Do}$$

nc la longueur d'onde est : $\lambda =$

4. LES CAPTEURS DE TYPE FOURCHE :

Pour les deux(2) **capteurs**, de type fourche de référence KRB-11, on obtient une consommation de 10 mA.h.

Un des capteurs fourches est placé sous les languettes de la roue porte miroir et détecte le passage de chacune d'elles. (Capteur miroir équivalent à un top ligne)

L'autre capteur (Capteur tour équivalent à un top trame) permet au système électronique de détecter la première ligne et donc de ne jamais décaler la projection du mot NAO lors du fonctionnement.

5. COMPOSANTS PASSIFS :

L'**interrupteur**, deux positions **Marche/Arrêt**, ce composant ne consomme pas de courant électrique, composant mécanique.

Les **contacts de la pile**, sont choisis en tenant compte de l'encombrement, donc minimiser au maximum possible, la place prise par les piles et leurs contacts.

I. SCHÉMA ÉLECTRONIQUE DU SYSTÈME

Ci-dessous, le **schéma électronique**, du système :

