SYSTÈME DE MESURE TOPOGRAPHIQUE PAR P.S.D.

(PSD : POSITION SENSITIVE DETECTOR)

U51. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

1.1. Éléments à votre disposition

1.1.1. Matériel

Liste du matériel	*U51*	*U52*	*U53*
Échantillons à contrôler		X	
Capteur P.S.D. UDT SC 10/D		X	X
Indicateur de position UDT 431		X	X
Laser He-Ne Siemens		X	X
Motorisation XY Micro-Contrôle + coffret de commande		X	X
Maquette convertisseur simple rampe			X
Micro-ordinateur	X	X	X
Module USB6009		X	X
Multimètre			X
Imprimante	X	X	X
Éléments élec. et méca. de liaison		X	X

cadre 1.

1.1.2. Documentation

Liste de la documentation	*U51*	*U52*	*U53*
Dossier technique	X	X	X

cadre 2.

1.1.3. Logiciels

Liste des logiciels	*U51*	*U52*	*U53*
Winlens	X		
Psd		X	X
Excel	X	X	X

cadre 3.

1.2. Travail demandé

1.2.1. Problématique

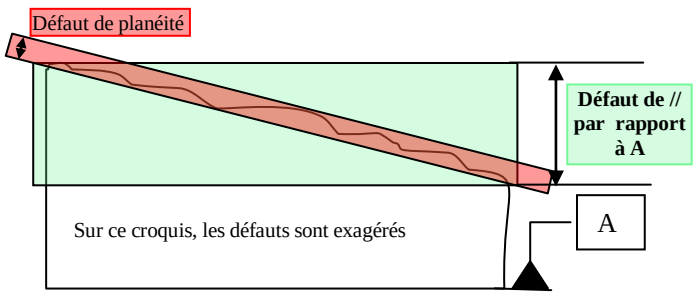
- Lorsqu'on réalise des pièces en fabrication, elles ne peuvent être parfaites. Il existe 4 ordres de défauts qui caractérisent une surface :
  - Ordre 1 : écart de forme
  - Ordre 2 : écart d'ondulation
  - Ordre 3 : écart de rugosité (stries-sillons)
  - Ordre 4 : écart de rugosité apériodique (Arra-chements , fentes , piqûres)

- L'odre 1 et 2 sont caractérisés par les tolérances géométriques (voir tableau ci-contre) et les ordres 3 et 4 par les paramètres d'état de surface (rugosités).

- Dans ce TP, vous devrez utiliser un système de mesure de topographie qui vous permettra de définir le type de défauts que vous avez sur les échantillons mis à votre disposition(nous nous interesserons à trois défauts : la parallélisme, la planéité et la rugosité). La métrologie dimensionnelle permet de quantifier ces défauts.

- Quel est le principal défaut visible à l'œil nu de l'échantillon 1 et celui de l'échantillon 2 ? En fin de U53, vous devrez le quantifier.

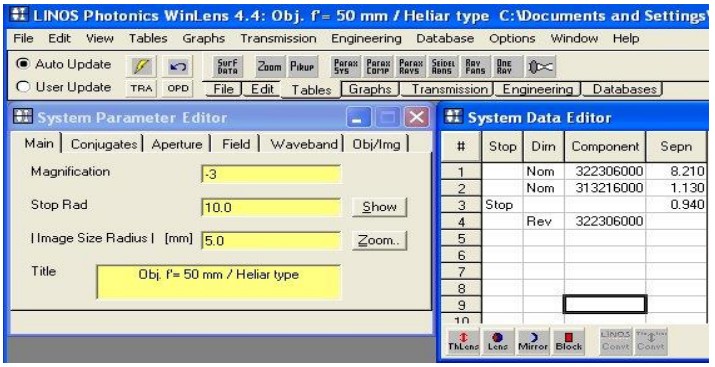
Caractéristiques			Symboles
Tolérances de profil d'éléments isolés		Profil d'une ligne quelconque	⌒
		Profil d'une surface quelconque	⌓
Tolérances de forme	Tolérances d'éléments isolés	Rectitude	⏤
		Circularité	○
		Planéité	▱
		Cylindricité	⌭
	Tolérances d'éléments associés	Tolérance d'orientation — Parallélisme	//
		Tolérance d'orientation — Perpendicularité	⊥
		Tolérance d'orientation — Inclinaison	∠
		Tol. battement — Battement	↗ ⌰
Tolérances de position d'éléments associés		Localisation	⌖
		Symétrie	⌯
		Concentricité & coaxialité	◎



1.2.2. Simulation du système d'imagerie sous Winlens

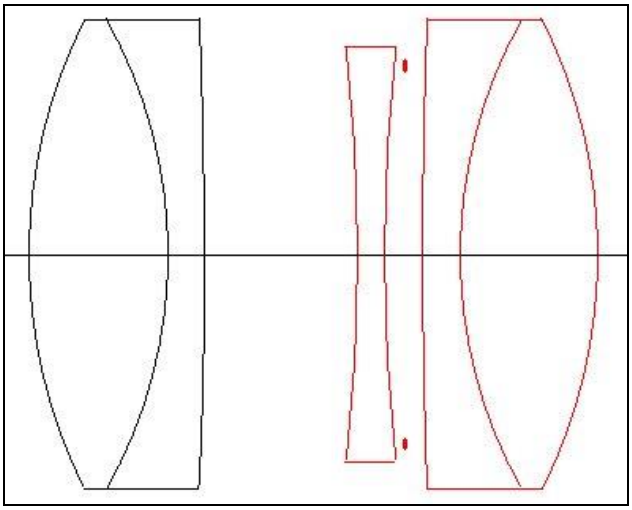
Remarques

- Pour la simulation d'un système réel, il est conseillé d'installer sur le poste (si ce n'est déjà fait) le logiciel *WinLens* version 4.4 (free) sous : http://sti.mermoz.free.fr/mo/psd.htm
- Toutes les distances sont en mm sauf les longueurs d'onde qui sont en nm.



cadre 4.

- Ouvrir le fichier *objpsd.spd (ou HELIAR50.spd dans EXAMPLES de la librairie)* et le sauvegarder sous *votre_nom.spd*.
- Deux éditeurs s'affichent (voir *cadre 4*) : celui System Data Editor des données du système (dans la colonne Stop se trouvent les diaphragmes ; dans la colonne Component se trouvent les références des lentilles ou doublets achromatiques ; dans la colonne Sepn est indiquée la distance de séparation entre 1 élément et le suivant) et celui System Parameter Editor des paramètres du système (Magnification = grandissement transversal ; Stop Radius = rayon d'ouverture du diaphragme).
- Dans Aperture de System Parameter Editor, imposer un rayon (Stop radius) du diaphragme d'ouverture égal à 10 mm.
- Dans Field de System Parameter Editor, imposer un rayon (Image Size Radius) de l'image égal à 5 mm. L'image mesure donc 10 mm égale à une arête du capteur PSD.



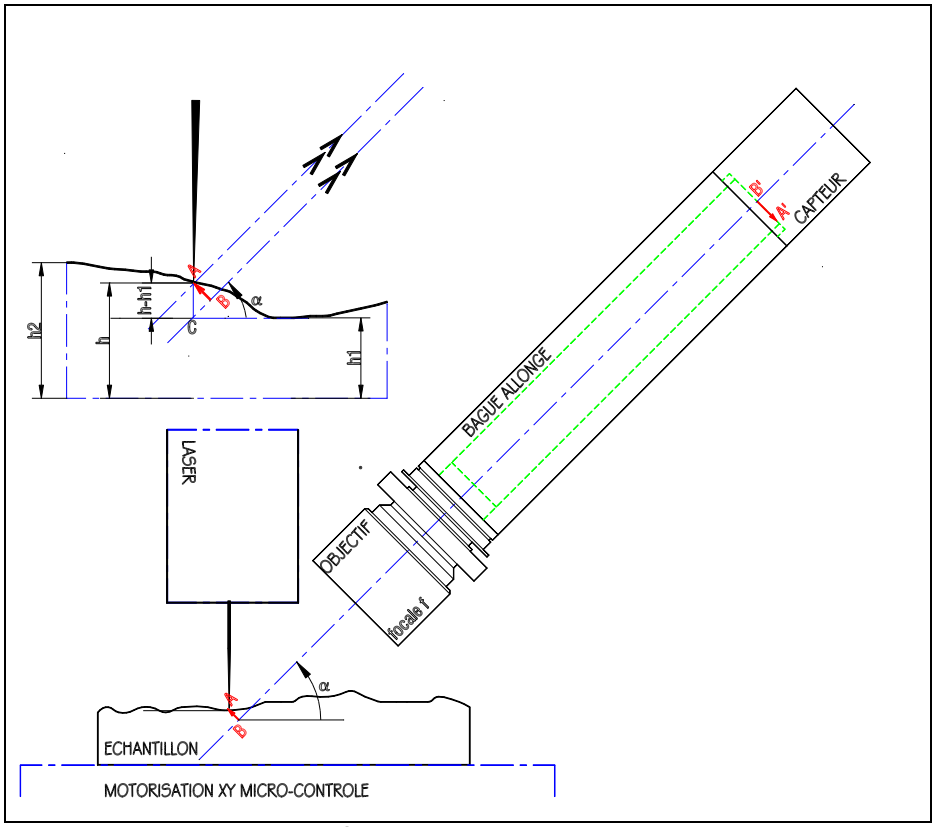
cadre 5 : A compléter.

- Dans Wave Band de System Parameter Editor, rentrer la longueur d'onde moyenne de travail : 633 nm. Valider le pavé Parax Sys dans Tables. Dans Paraxial Values, relever la focale f' de cet objectif à la longueur d'onde moyenne de travail et la position (Rear Focus) du foyer image par rapport à la face de sortie.
- Avec Lens Drawing de Graphs, afficher le schéma du système. En s'aidant du graphe et en supprimant des éléments dans l'éditeur des données, dire de quels éléments l'objectif est composé. Le préciser sur le *cadre 5*.
- Dans Conjugates, on veut imposer le grandissement transversal γ. Pour γ variant de - 1 à - 5 par pas de 1, relever dans Paraxial Values, pour chaque valeur du grandissement transversal γ, la distance z' (Image distance) de l'image par rapport au dioptre de sortie et calculer (ou déterminer dans Field Size) la dimension transversale x de l'objet qui donne une image de 10 mm.
- Faire un tableau sous *Excel* dans lequel on fait figurer γ, z', et x.

- Sachant que l'on éclaire l'objet sous un angle de 90° avec l'horizontale et que l'on observe cet objet sous un angle $\alpha = 45°$, la variation de hauteur $(h_2 - h_1)$ est liée à x par la relation :

$$\boxed{x = \cos(\alpha).(h_2 - h_1)}$$ (voir ***cadre 6***).

- Calculer pour chaque valeur de γ la valeur maximale mesurable $(h_2 - h_1)$ si l'image mesure 10 mm.
- Compléter le tableau *Excel* dans lequel on fait figurer γ, z', x et $(h_2 - h_1)$. Tracer sous *Excel* z' = f$(h_2 - h_1)$. Sauvegarder sous *nom-object.xls*. En faire une sortie imprimante.
- Expliquer que la longueur de la bague allonge conditionne le grandissement et qu'il faut donc l'adapter à la dénivellation maximale de la pièce à analyser. À quelle distance de la face de sortie de l'objectif doit se situer le capteur si la dénivellation maximale de la pièce à analyser est de l'ordre de 4 mm ?



cadre 6 : Synoptique du système. Objectif de projection (focale de 50 mm).

1.2.3. Principe de la mesure

1.2.3.1. Réponse du capteur

Le détecteur P.S.D. (PSD : Position Sensitive Detector) utilisé est à deux dimensions. Il a une surface sensible de 10 x 10 mm. Sur chacune des voies x et y, après traitement électronique des signaux, les tensions ux et uy délivrées sont images du barycentre du spot lumineux éclairant la surface sensible.

En première approximation, on peut considérer que la réponse du détecteur est linéaire d'après la fonction affine :

$$\begin{cases} px = 5.ux \\ py = 5.uy \end{cases} \quad (1)$$

avec :

- px, py : coordonnées du barycentre du point image dans l'intervalle [-5, 5] mm ;
- ux, uy : tensions délivrées par le système dans l'intervalle [-1, 1] V. Le *cadre 8* donne un exemple : ux = -10 mV, uy = -727 mV.

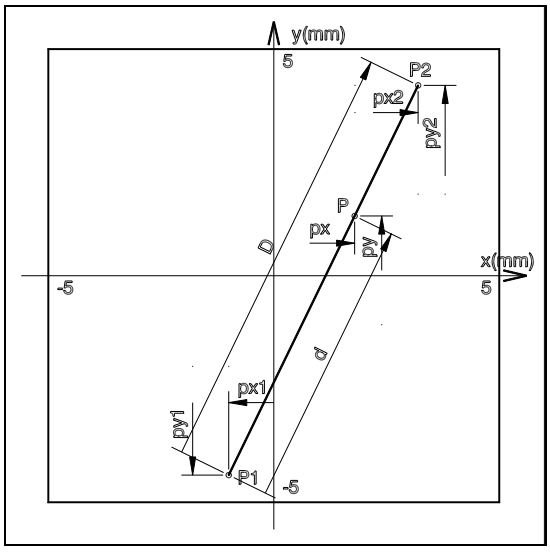
cadre 8 : Visualisation du

En réalité, la réponse du détecteur n'est linéaire qu'au centre. Voir le cadre 4 du dossier technique. Elle peut être assimilée à une fonction polynomiale de degré 5 :

$$\begin{cases} px = pos_capteur(ux) \\ py = pos_capteur(uy) \end{cases} \quad (2)$$

Remarque :

Dans le logiciel *Psd*, on pourra sélectionner l'une ou l'autre des réponses (1) ou (2) par un clic sur le bouton droit de la souris.



cadre 7 : Points images sur le détecteur.

1.2.3.2. Étalonnage

On utilisera pour les calculs ci-dessous la relation (2) (d'après cadre 4 du dossier technique).

L'utilisation de ce capteur à des fins métrologiques nécessite un étalonnage. Il faut mémoriser l'altitude de deux points P1 et P2 ainsi que les tensions correspondantes.

On notera :

- h1 : altitude du premier point d'étalonnage P1 en mm correspondant à une dimension connue de l'échantillon (11.92 mm). Voir ***cadre 6***.
- h2 : altitude du deuxième point P2 en mm correspondant à une autre dimension connue (14.08 mm).
- px1, py1 : coordonnées de P1 d'après ux1, uy1 (V) pour la hauteur h1.
- px2, py2 : coordonnées de P2 d'après ux2, uy2 (V) pour la hauteur h2.
- h : altitude du point courant P palpé de l'échantillon en mm.
- px, py : coordonnées de P sur le détecteur calculé d'après ux, uy (en V) délivrées par le système pour la hauteur h.
- γ (gamma) : grandissement transversal.
- α (alpha) : angle formé par l'axe de visée du capteur et l'horizontale.

Pour un point quelconque de l'échantillon, on obtient :

$$\overline{AB} = \cos(\alpha).(h - h1)$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

$$\overline{A'B'} = pos_cap(ux,uy) - pos_cap(ux1,uy1) = d$$

Pour h = h2, on obtient :

$$\boxed{\gamma = \frac{D}{\cos(\alpha).(h2 - h1)}} \quad (3)$$

Pour h courant, on obtient :

$$\boxed{h = h1 + \frac{d}{\cos(\alpha).\gamma}} \quad (4)$$

Données :	**À compléter :**	
Tenir compte du défaut de linéarité du détecteur : OUI		
h1 = 12.00 mm		
h2 = 14.00 mm		
ux1 = -0.30 V	px1 =	(À déterminer graphiquement
uy1 = -0.92 V	py1 =	d'après cadre 4 du dossier
ux2 = 0.80 V	px2 =	technique…)
uy2 = 0.92 V	py2 =	
	D =	
α = 45°	γ =	
ux = 0.55 V	d =	
uy = 0.00 V	h =	

cadre 9 : Tableau à compléter.

Compléter le tableau donné *cadre 9*.

1.2.4. Métrologie du plan

Lire la page 8 du dossier technique.

- Ouvrir le logiciel *Psd*.

Attention !

Le logiciel *Psd* est très gourmand en ressources machines. Fermer toutes les applications en cours (*Excel, Winlens*, …).

- Ouvrir successivement les fichiers *u51_1.psd*, *u51_2.psd*, *u51_3.psd*.
- Pour chacun de ces fichiers, compléter le tableau *cadre 10*.
- Conclure sur les défauts. Utiliser les termes suivants : défaut de forme, défaut de position, parallélisme, planéité.

Fichiers :	**À remplir :**
u51_1.psd	Défaut de planéité : Défaut de parallélisme :
u51_2.psd	Défaut de planéité : Défaut de parallélisme :
u51_3.psd	Défaut de planéité : Défaut de parallélisme :

cadre 10 : Tableau à compléter.

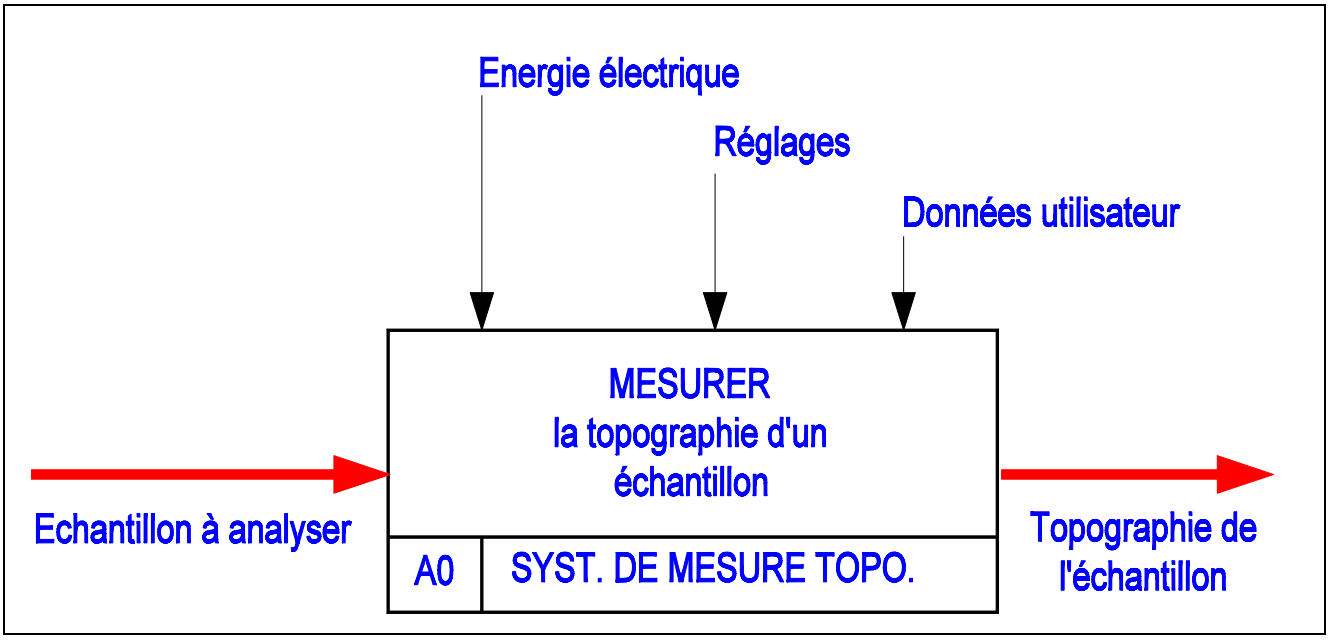
Remarques :

Le tilt correspondant à l'angle suivant lequel il faut tourner le plan optimal pour le rendre parallèle au plan référence, voir page 8 du dossier technique.

Dans le logiciel *Psd*, le tilt peut être supprimé par un clic sur le bouton droit de la souris.

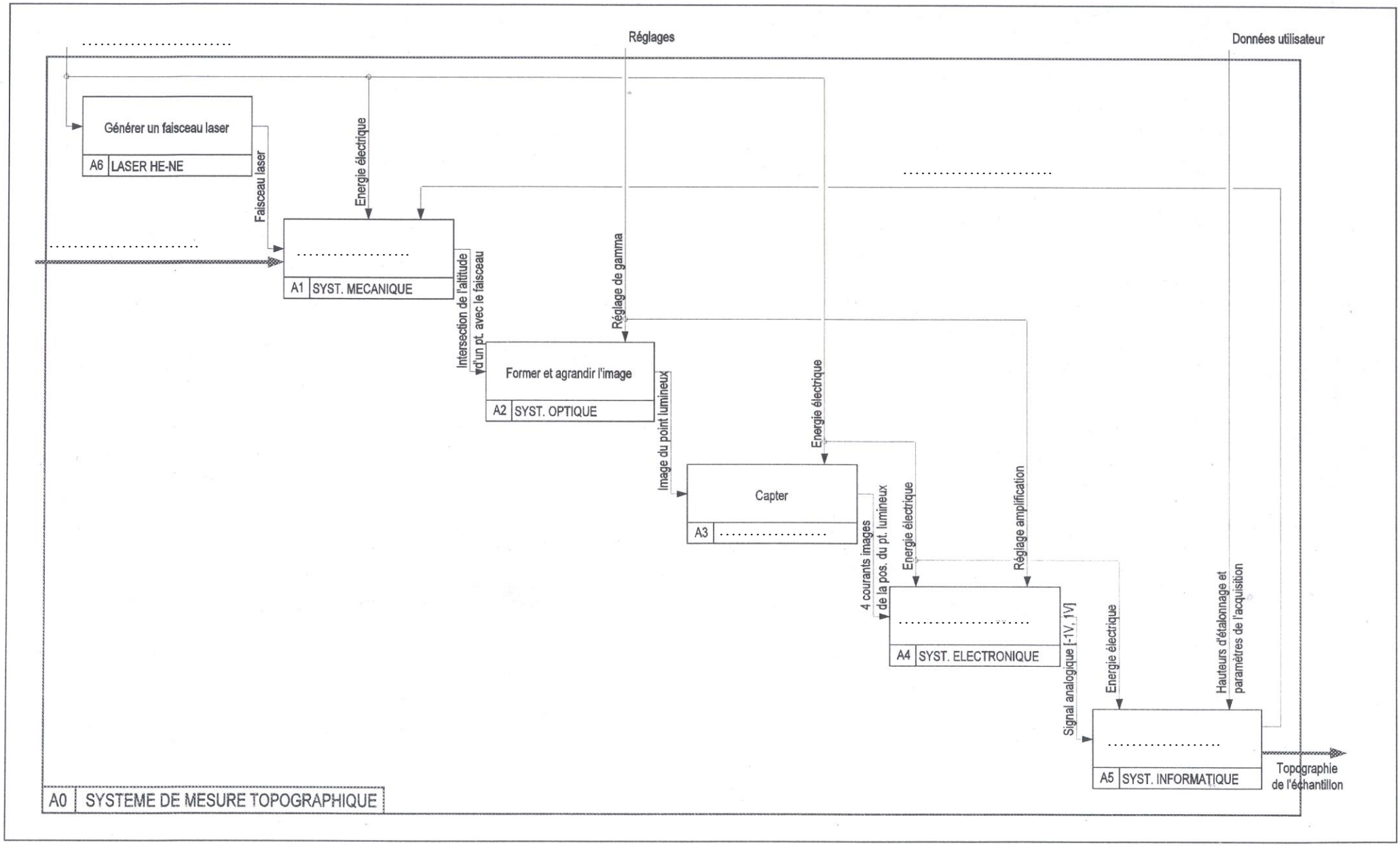
1.2.5. SADT

On donne cadre 11 le niveau A0 de l'analyse fonctionnelle développée cadre 12.



cadre 11 : Analyse descendante niveau A-0.

Compléter le diagramme d'analyse fonctionnelle SADT du cadre 12. Pour cela vous pouvez vous inspirer des termes suivants : Ordre de déplacement, Convertir et amplifier, Energie électrique, Déplacer la pièce, Cellule PSD, Echantillon à analyser, Traiter et visualiser.



Cadre 12 : SADT niveau A0