

Profilométrie à grande et petite échelle

Élèves :	PILLON Laura, ADDICH Nawar, TARDIO Gaël, WESTPALM VAN HOORN Frédéric et JOUANIN Charles
Partenaire :	Photons & Polymers Association ARTID , http://www.artid.org/
Adresse :	66 rue du Général de Gaulle 68460 Lutterbach
Parrain du projet :	Dr K. Zahouily Mr. René JOECKLE
Tél :	03 89 53 83 10 - 06 63 58 23 60 03 89 67 54 82
Fax :	
E-mail:	K.zahouily@photonpolymers.com joeckle@newel.net , association@artid.org
Financement :	Lycée Jean Mermoz -

A. Définition du cahier des charges

L'objectif de ce chapitre est de saisir et d'énoncer le besoin, c'est-à-dire l'exigence fondamentale nécessitant la mise en œuvre du système.

A.1. Analyse du besoin

A.1.1. Saisie du besoin

Projet à contenu technique affirmé et en collaboration avec une entreprise.

A.1.1.1. Système à grande échelle

La convention (dite d'Ottawa : <http://www.droitsenfant.com/ottawa.htm>) sur l'interdiction de l'emploi, du stockage, de la production et du transfert des mines antipersonnelles et sur leur destruction n'a pas été signée par certains pays et l'usage de ces mines est toujours d'actualité. Cet usage est facilité par le prix de revient très bas de ces mines et par la difficulté qu'a l'ennemi de détecter ces mines qui ne renferment pas de composants métalliques (donc pas détectables par un détecteur de métaux).

D'après Susan Walker, de Handicap International (<http://www.martinbeaulieu.ca/fiches/1060.php>): "ces armes ne ressemblent à aucune autre. Ce sont des armes aveugles. Elles ne peuvent distinguer un soldat d'un civil, et elles font beaucoup trop de mal aux civils. Même des soldats, de bons soldats, ne veulent pas tuer de civils. La guerre est la guerre, et des innocents meurent; mais pas 50 ans après la fin de la guerre."

Le déminage, qui fait suite à un conflit, nécessite beaucoup de moyens humains et la technique de déminage a peu évolué : par conséquent, on estime le coût du m² de sol déminé à plusieurs centaines d'euros.

L'association ARTID (<http://www.artid.org/>) a développé un système de déminage dont les performances sont encore à tester.



Principe de la chute libre de la nappe de chaînes

DEMICHAIN est un nouveau concept de déminage mécanique.

Il consiste à faire tomber en chute libre des chaînes pesantes sur le sol à déminer. Les forces générées dans le sol par la chute des chaînes déclenchent l'explosion des mines actives.

Le dispositif DEMICHAIN consiste en un cadre avec une nappe de près de 3 X 3 m² de chaînes. Ce cadre est soulevé à environ 3 à 4 m de haut par un engin de levage, placé au-dessus de la zone à déminer puis lâché en chute libre. Il s'agit de contrôler la position du point de largage de façon que le terrain soit couvert par les chutes successives suivant un plan préétabli, assurant le recouvrement adéquat des zones de largages successifs.

Avec des chaînes de 10 kg par mètre agencées avec un écartement de 5 cm, on arrive à une masse de près de 200 kg par m². En adoptant une hauteur de largage de 3 m, l'énergie disponible par unité de surface est considérable : 6 000 Joules / m². Cette énergie est libérée en très peu de temps (de l'ordre de la milliseconde) et produit donc des effets instantanés intenses (pression, force). Ces effets sont produits simultanément et uniformément sur une surface dont les dimensions sont très supérieures aux grandeurs caractéristiques du problème (dimension des mines, profondeur d'enfouissement). Les effets sont "mono-dimensionnels", ce qui signifie que leur intensité ne décroît que faiblement en profondeur.

Le développement et la mise au point de ce système passent par une étude de la déformation des terrains en fonction de leur profil et de leur constitution. Le projet consiste à mettre un point un système de mesure de déformation rapide permettant d'obtenir une cartographie de la déformation sur l'ensemble de la surface soumise à l'impact.

Le projet consiste à mettre un point un système rapide de mesure de déformation du terrain permettant d'obtenir une cartographie de la déformation sur l'ensemble de la surface soumise à l'impact.

L'étude comportera quatre parties :

1. Etablissement du cahier des charges

Il doit conduire à la réalisation d'une maquette, à l'échelle avant de faire un essai en grandeur réelle.

2. Etude de faisabilité.

La partie **mécanique** réalisera un montage permettant de simuler la déformation d'une surface à une échelle qui reste à définir.

La partie **optique** comportera la réalisation d'une source éclairant ou balayant l'ensemble de la surface à analyser ainsi que le choix du système d'observation.

On mettra en oeuvre deux techniques :

- celle de la lumière structurée utilisant la projection d'un réseau de lignes parallèles (franges) dont le pas sera bien choisi, avec possibilité de faire un décalage de phase
- celle du scanner 3D utilisant la projection d'un plan laser

La partie **informatique** d'adaptation du logiciel Visulm pour permettre de piloter le pas des franges (avec le décalage de phase) ou le balayage du plan laser, l'acquisition des images (état du sol avant et après impact) et le traitement conduisant à une cartographie avec visualisation 3D de la déformation.

3. Etude des performances.

On évaluera si possible la répétabilité des résultats de mesure et la résolution du système de mesure. On étudiera les modifications à apporter à la maquette qui permettront d'adapter le système aux dimensions réelles.

A.1.1.2 Système à petite échelle

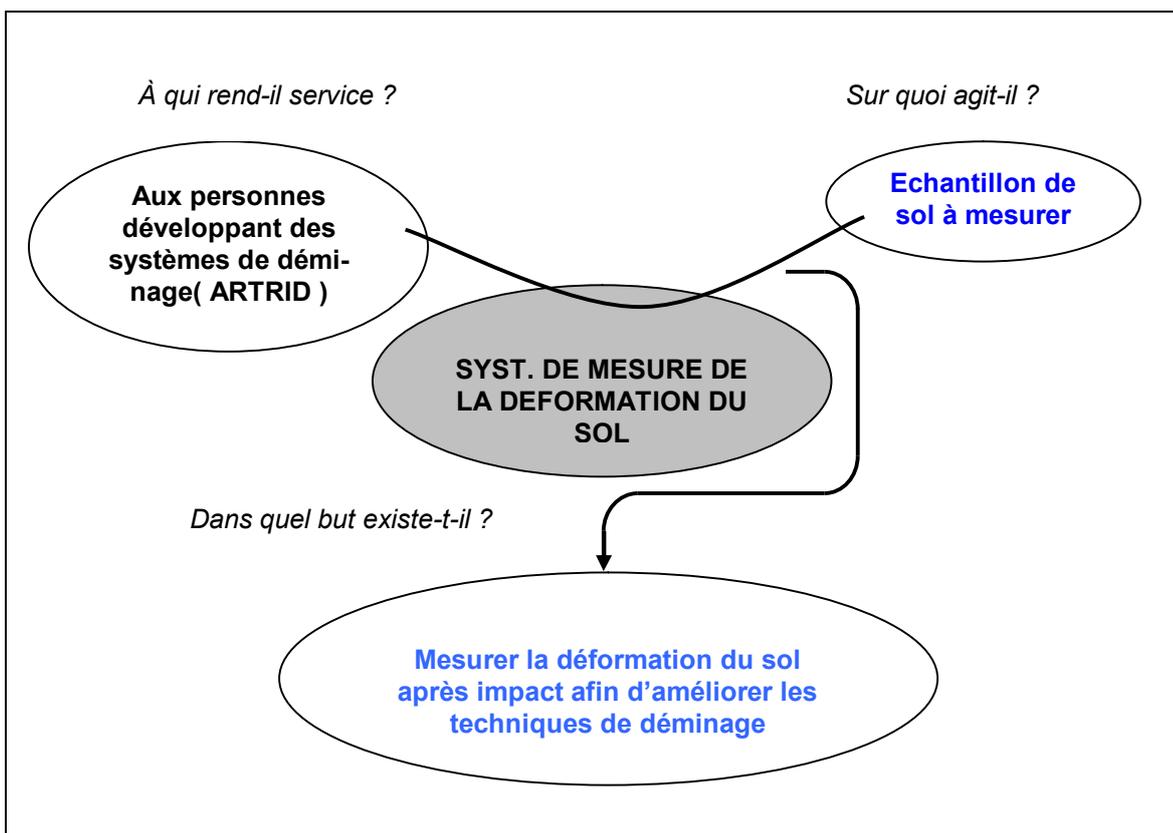
L'étude de la polymérisation d'une résine est actuellement faite par l'entreprise « *Photon & Polymer* » près de Mulhouse. Le problème des chimistes actuellement est qu'ils n'arrivent pas à savoir comment peut évoluer une goutte en cours de polymérisation en volume et en forme. La connaissance de la cinétique de la réaction permettrait en effet d'améliorer l'efficacité notamment de colles dont on sait que l'adhérence dépend beaucoup de l'évolution du volume.

Suite au stage de notre camarade Laura Pillon effectué dans cette entreprise, et dans le cadre du projet de thème de BTS Photonique, le responsable, Dr K. Zahouily, nous a proposé un sujet sur l'élaboration d'un système de suivi de la cinétique d'une goutte de résine pendant sa condensation.

Ce projet consiste à visualiser au cours du temps l'évolution du volume et de la forme d'une goutte de résine en polymérisation. Pour cela, nous développeront un système sans contact composé d'une caméra CCD munie d'un objectif et d'un projecteur de franges, permettant de prendre des images de la goutte au cours de temps.

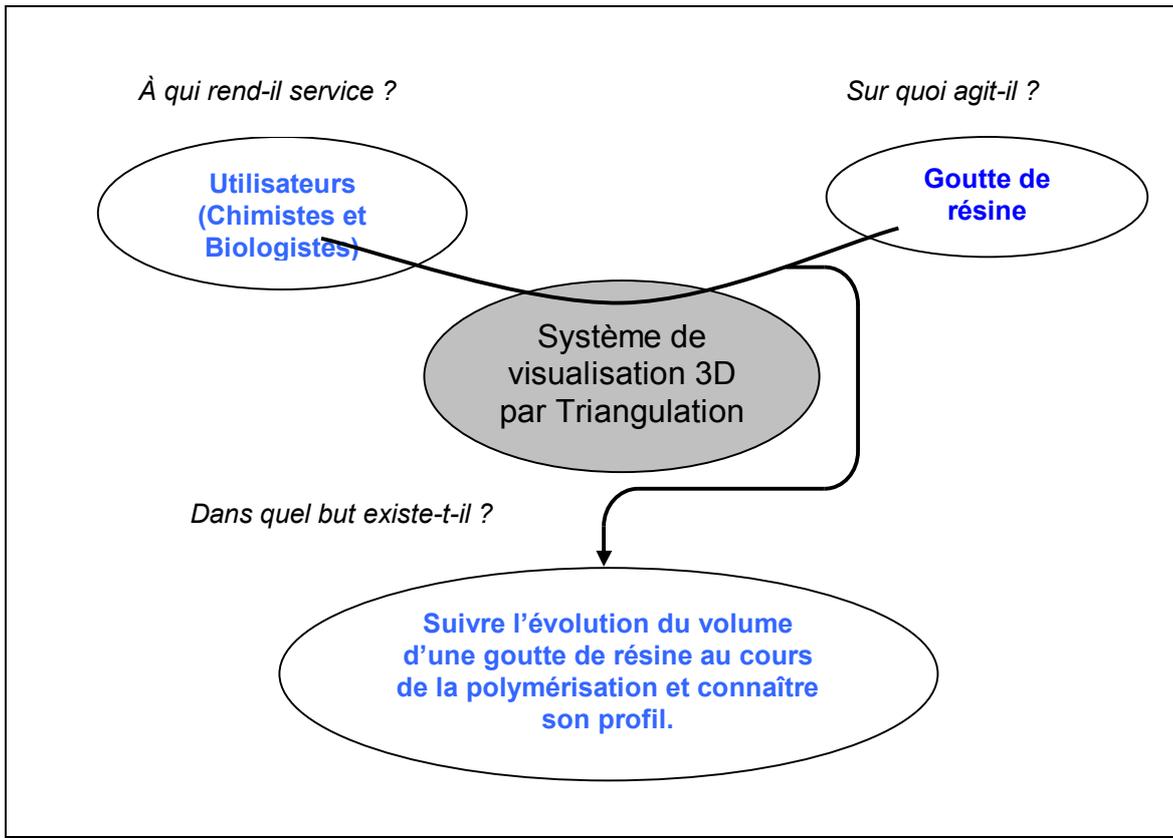
L'analyse et l'interprétation de ces images par les logiciels adéquats permettra, par visualisation en 3D, une observation qualitative de la modification de la forme, et quantitative du changement de volume.

A.1.2 Enoncer du besoin



A.1.2.1 A grande échelle

cadre 1 : Diagramme bête à cornes.



A.1.2.2 A petite échelle

cadre 2 : Diagramme bête à cornes.

A.1.3 Validation du besoin

A.1.3.1 A grande échelle

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

- Pour optimiser les conditions d'impact et l'efficacité du déminage
- Un système de mesure par voie optique sur une surface de quelques m^2 est adapté dans le cas présent (mesure surfacique sans contact)

Qu'est-ce qui peut le faire disparaître ? Le faire évoluer ?

- Évolution technologique.
- Techniques concurrentes.

Conclusion :

- Ce besoin est bien réel, donc validé.

Le besoin étant validé, il s'agit de recenser et d'expliquer dans ce chapitre les satisfactions et performances attendues du système.

A.1.3.2 A petite échelle

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

- Suivre l'état d'une goutte de résine pendant la polymérisation.
- Connaître la variation du profil d'une résine pendant sa solidification.

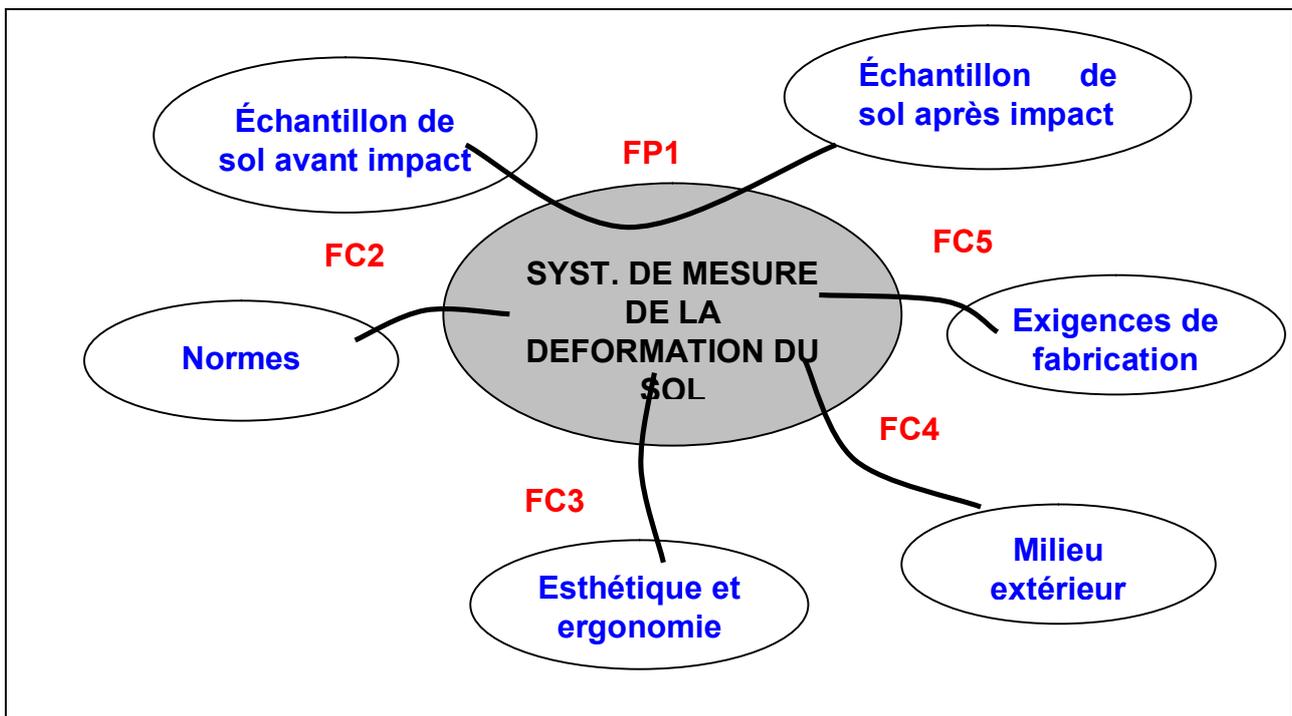
Qu'est-ce qui peut le faire disparaître ? Le faire évoluer ?

- Que l'existence d'une résine ait les mêmes caractéristiques à la fin de la solidification qu'au début de l'étalement du liquide.

Conclusion :

- Ce besoin est bien réel, donc validé.

A.2. Étude de faisabilité



A.2.1. Identification des fonctions

A.2.1.1. A grande échelle

cadre 3 : Diagramme pieuvre.

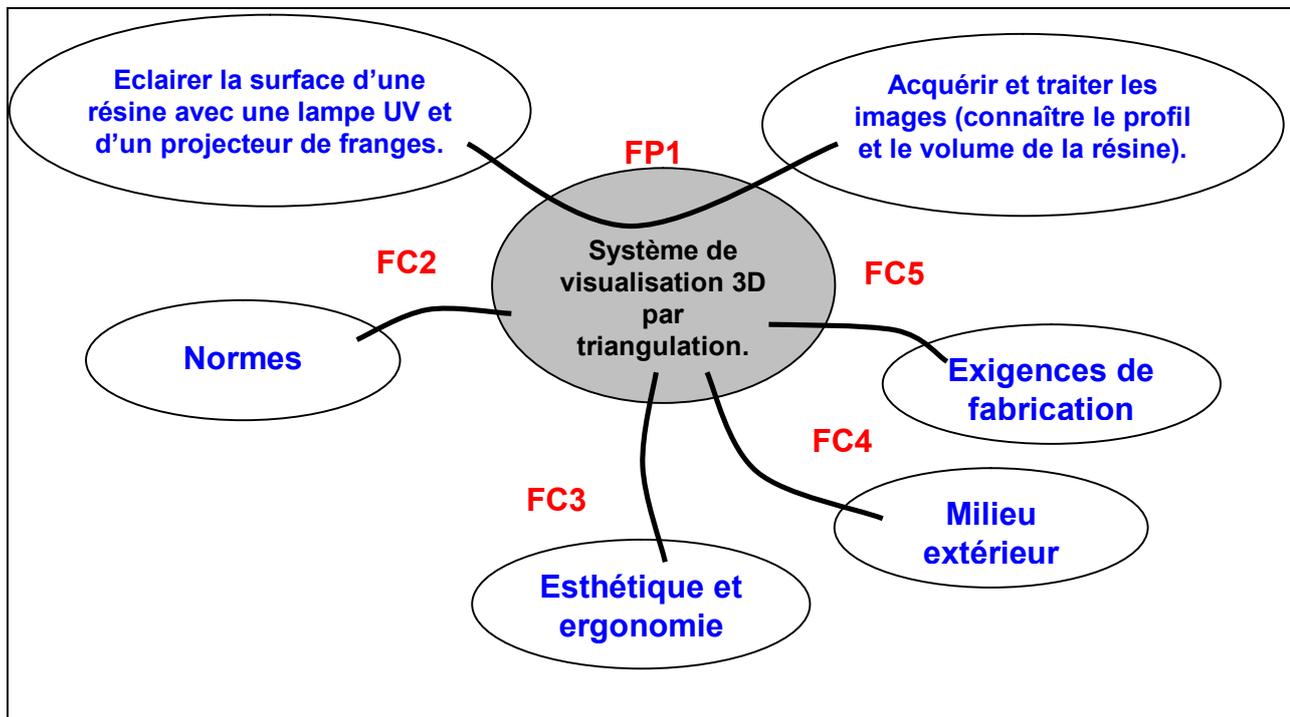
Fonction principale

FP1	Mesurer la déformation d'un échantillon de sol par un système optique sans contact (lumière structurée ou balayage par plan laser).
-----	---

Fonctions contraintes

FC2	Assurer la sécurité de l'utilisateur d'un point de vue électrique, mécanique et optique.
FC3	Être facile d'utilisation.
FC4	S'affranchir des perturbations.
FC5	Respecter les exigences de fabrication.

A.2.1.2. A petite échelle



Fonction principale

FP1	Observer et analyser le profil de l'évolution de volume d'une goutte de résine en cours de polymérisation.
-----	--

Fonctions contraintes

FC2	Assurer la sécurité de l'utilisateur d'un point de vue électrique, mécanique et optique.
FC3	Être agréable à l'œil, et facile d'utilisation.
FC4	Fonctionner dans le milieu ambiant (laboratoire de mise en œuvre).
FC5	Respecter les exigences de fabrication.

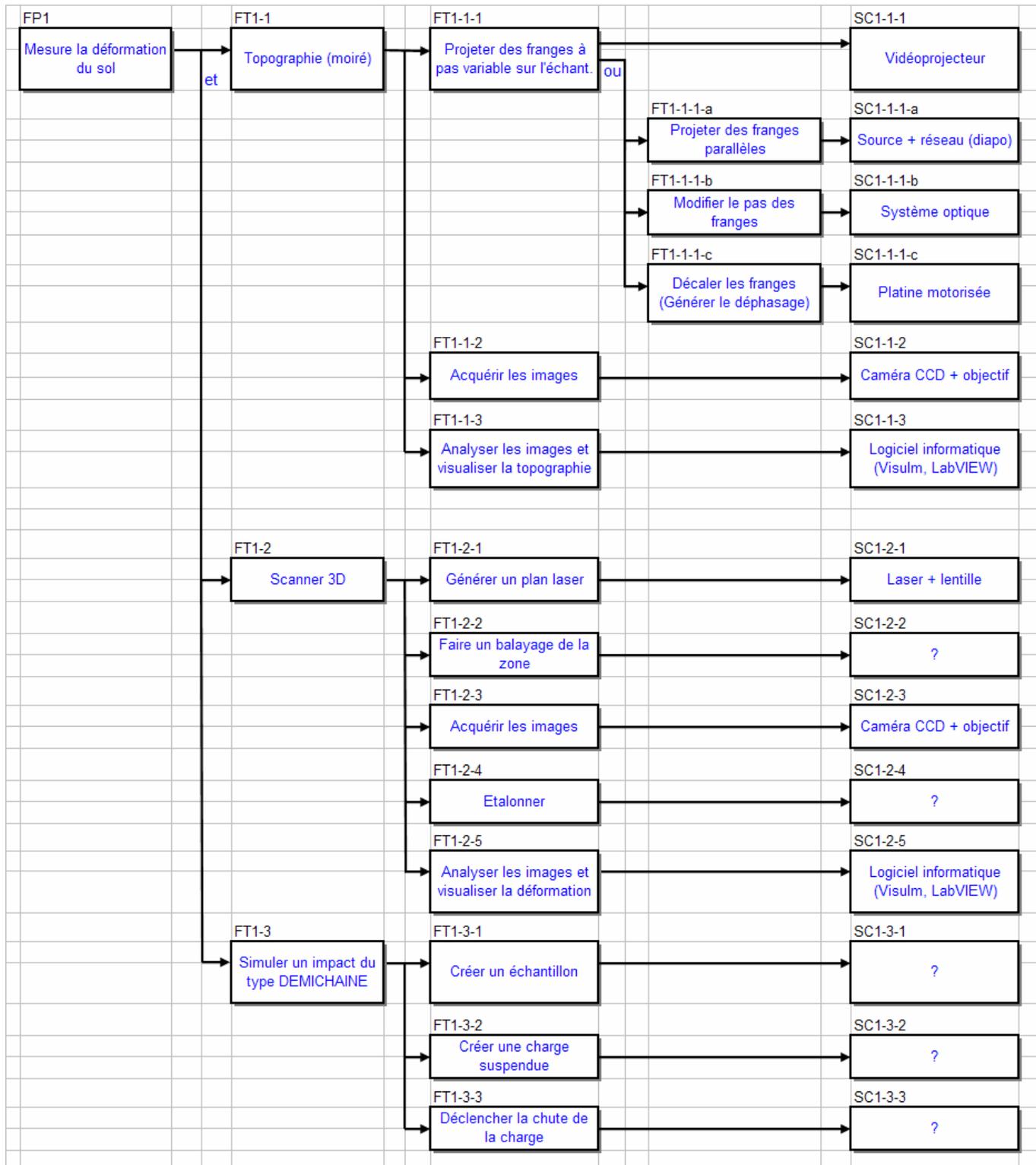
cadre 4 : Diagramme pieuvre.

A.2.2. Critères à respecter

A.2.2.1. A grande échelle

Fonctions de service	Critères	Niveaux - Limites
FP1 : Mesurer la déformation...	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de franges (lumière structurée) • Balayage par plan laser • Résolution en z • Nature du sol • Durée de la mesure • Affichage de la mesure 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface d'analyse : quelques m² • Déformation de l'échantillon de sol : quelques mm • Eclairer toute la surface à analyser • Ligne laser : largeur de la surface • Surface diffusante • Largeur de 2 mm maximum. • 0,5 mm espéré • Influence du pouvoir diffusant du sol • De l'ordre de la minute • Image monochrome 255 niveaux entre le point le plus bas (noir) et le plus haut (blanc)
FC2 : Assurer la sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité mécanique • Sécurité optique • Sécurité électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Respect des normes
FC3 : Etre facile d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Logiciel d'acquisition des mesures et de calcul de la topographie ou de la déformation 	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte des numériseurs définis dans le logiciel (cartes d'imagerie, caméras USB, ...) • Prise en compte des déphaseurs définis dans le logiciel (axes motorisés, vidéo projecteurs,...) • Démodulation des images phasées • Mesures suivant z • Visualisation 3D de la déformation
FC4 : S'affranchir des perturbations	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrations • Contraste des images en lumière ambiante 	<ul style="list-style-type: none"> • positionner le système de mesure sur une partie non influencée par l'impact • Garantir un contraste suffisant de l'image
FC5 : Respecter les exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Réaliser le système avec les moyens disponibles au lycée 	<ul style="list-style-type: none"> • Tenir compte du parc machine du lycée.

Recherche des solutions



Légende :

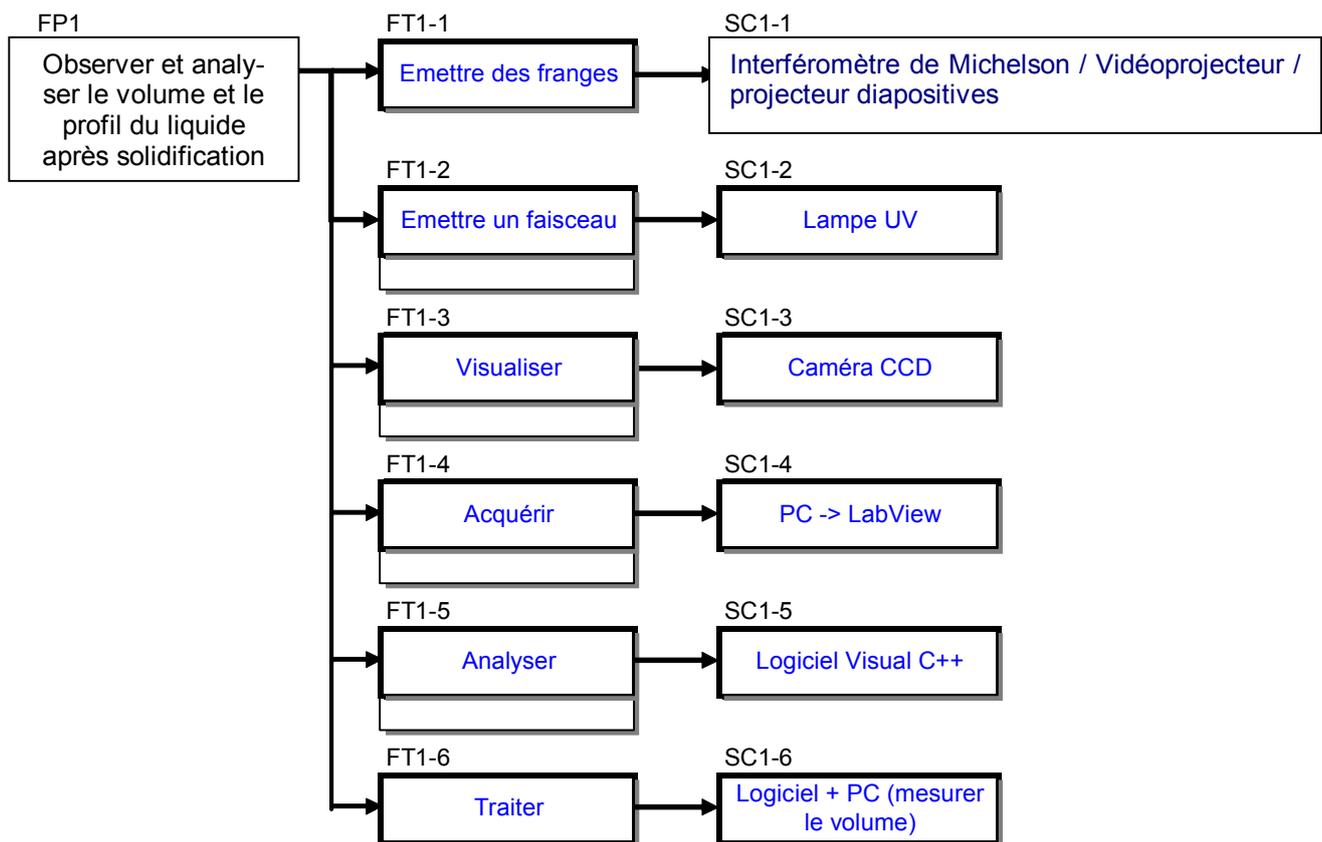
FP : Fonction principale, FT : Fonction technique, FC : Fonction contrainte, SC : Solution constructive.

A.2.2.2. A petite échelle

Fonctions de service	Critères	Niveaux - Limites
FP1 : Observer et Analyser le profil d'une goutte de résine en cours de polymérisation.	<ul style="list-style-type: none"> Taille de la goutte de résine 	<ul style="list-style-type: none"> Taille suffisante par rapport au champ de la caméra CCD en début comme en fin de polymérisation.
	<ul style="list-style-type: none"> Caméra CCD + Objectif 	<ul style="list-style-type: none"> Objectif de microscope performant pour des analyses plus efficaces.
	<ul style="list-style-type: none"> Projecteur de frange 	<ul style="list-style-type: none"> Interféromètre ou vidéoprojecteur.
	<ul style="list-style-type: none"> Lampe UV 	<ul style="list-style-type: none"> Fonction des caractéristique photochimique de la résine.
	<ul style="list-style-type: none"> Logiciels 	<ul style="list-style-type: none"> Labview, Visual C++ (Visulm)

Recherche des solutions

Pour les solutions constructives non précisées, il s'agit de faire un inventaire des solutions et de choisir la plus appropriée.



Légende :

FP : Fonction principale, FT : Fonction technique, FC : Fonction contrainte, SC : Solution constructive.

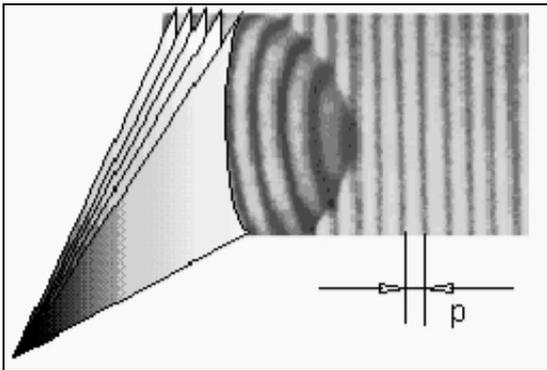
() : Coefficient de difficulté de mise en œuvre de la fonction (1 : facile et/ou rapide, ..., 4 : long et/ou difficile).

B. Principes mis en œuvre

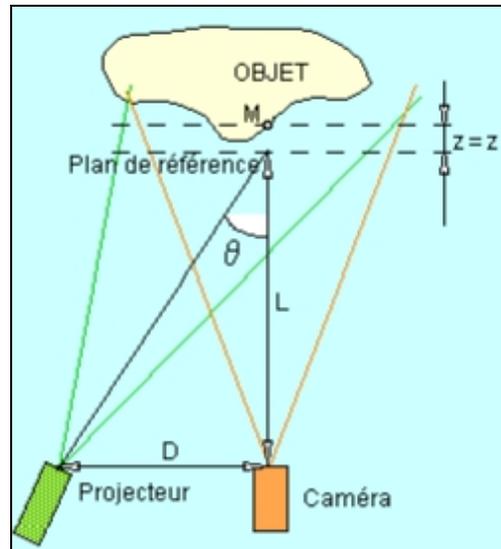
B.1. Schéma de principe

B.1.1. A grande échelle

- Projection de franges (moiré) : voir *cadre 5* et *cadre 6*.



cadre 5 : : Projection de franges.



cadre 6 : Principe du montage.

B.1.2. A petite échelle

Voir cadre 3.

B.2. Explications fondamentales

Cadre 3

B.2.1 A grande échelle

B.2.1.1. Lumière structurée : première méthode de numérisation tridimensionnelle

Pour plus d'informations, consulter les documents :

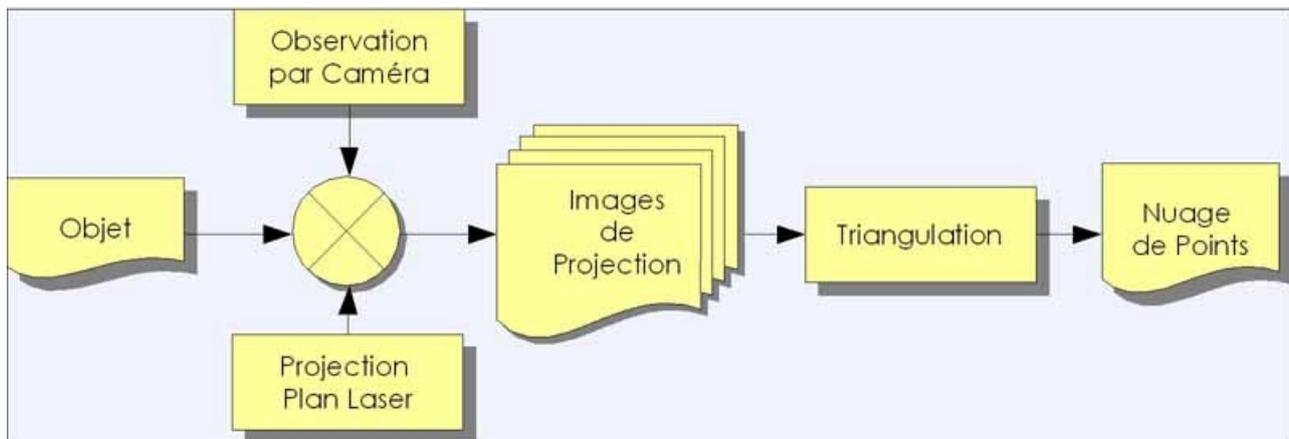
- <http://sti.mermoz.free.fr/mo/moire.htm>
- logiciel *Visulm* : <http://gop.mermoz.free.fr/visuim/>

B.2.1.2. Scanner 3D : autre méthode de numérisation tridimensionnelle

La méthode d'acquisition retenue ici est la triangulation laser. Il s'agit de projeter un plan (ligne) laser de faible puissance sur la surface de l'objet. L'élément projeté est visualisé par une caméra et le système d'acquisition calcule ensuite les coordonnées des points par triangulation. Les technologies laser des systèmes industriels autorisent une acquisition rapide de plusieurs milliers de points par seconde avec une précision du centième au dixième de millimètre.

Afin de capturer la géométrie complète d'un objet, le plan laser doit balayer sa surface. Ce balayage ou "scanning" est assuré soit par un défilement de l'objet devant le système d'acquisition, soit par un déplacement du plan laser. Le système d'acquisition fournit finalement un nuage de points correspondant à la géométrie de l'objet mesuré.

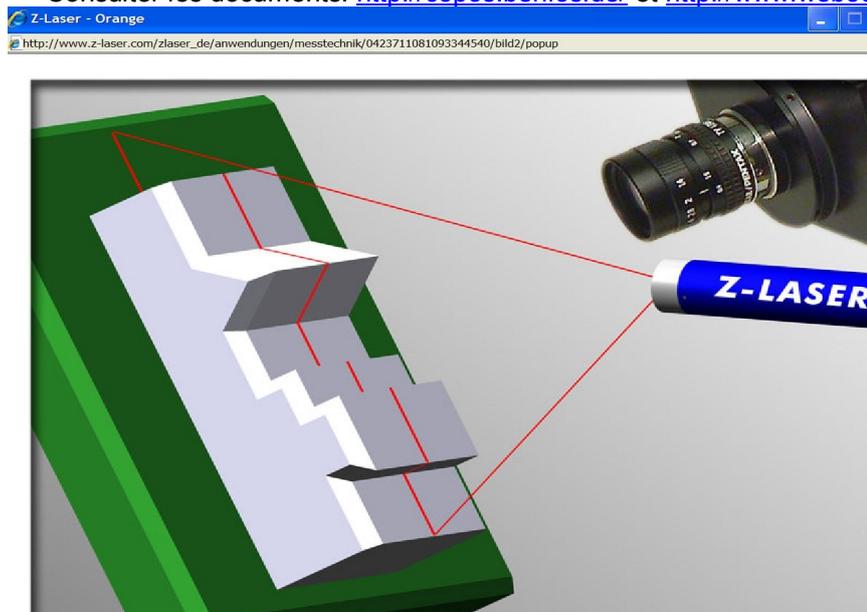
L'acquisition 3D par triangulation laser peut se résumer par l'organigramme suivant :



cadre 7 : Organigramme du scanning 3D par triangulation laser.

D'après le site Web : <http://vision.u-bourgogne.fr/seulin/2.htm> .

Consulter les documents: <http://copolos.berlios.de/> et http://www.web3d-fr.com/bp_breve.php?id_breve=1208



Informations complémentaires

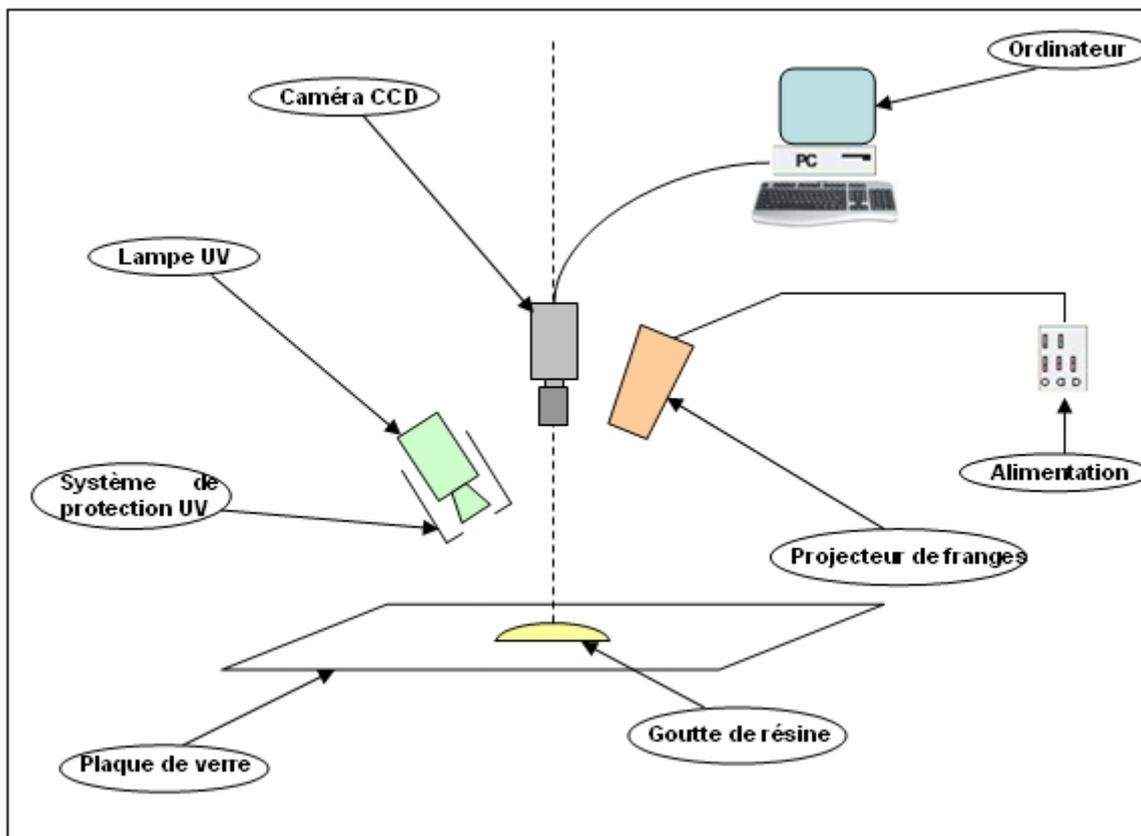
Platine motorisée

L'acquisition des images phasées en lumière structurée nécessite soit la projection d'un réseau sinusoïdal pouvant se décaler à l'aide d'un vidéoprojecteur, soit le déplacement d'un réseau sinusoïdal éclairé en transmission (ou d'une diapositive) à l'aide d'une platine de rotation motorisée. Le logiciel *Visulm* permet de générer des impulsions via le port parallèle du PC. Ces impulsions seront à interpréter par une carte électronique à réaliser dans le cadre du projet.

Caméra CCD associée à un objectif

L'acquisition des images est réalisée à l'aide d'une caméra CCD connectée au PC.

B.2.2 A petite échelle



Nous projeterons d'abord sur la goutte des franges à l'aide d'un système à projection de franges (plusieurs possibilités peuvent être envisagées : projection de franges d'interférence, par vidéoprojecteur, par projecteur diapo).

Pendant que la goutte de résine polymérise (donc elle sera mise sous une lampe à UV), nous l'observons à l'aide d'une caméra CCD munie d'un objectif de microscope qui donnera une image au cours du temps. Les données seront récoltées sur un ordinateur puis traitées à l'aide de différents logiciels.

C. Démarche du projet

C.1. A grande échelle

		Travail demandé	
		Séances (4 H)	Élèves
A1	Analyse du besoin	2	1, 2
A.1.1	Saisie du besoin : Compléter le cas échéant le paragraphe A.2.1.		
A.1.2	Énoncé du besoin : Compléter le cas échéant le paragraphe A.2.2.		
A.1.3	Validation du besoin		
A2	Étude de faisabilité	2	1, 2
A.2.1	Identification des fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Mettre les éléments ext. en relation avec le produit. Formuler le but visé pour chacune des relations. 		
A.2.2	Caractérisation des fonctions : Compléter les colonnes <i>caractéristiques</i> et <i>critères</i> .		
A3	Caractérisation des fonctions	2	1, 2
A.3.1	Recherche de solutions : <ul style="list-style-type: none"> Compléter le FAST. Proposer un maximum de solutions, ne pas en éliminer a priori. Rechercher des solutions existantes ou similaires. Consulter publications, articles, anciens rapports... Approfondir les connaissances sur le sujet en optique, électronique, mécanique, informatique... 		
A.3.2	Évaluation des solutions : <ul style="list-style-type: none"> Critique des différentes solutions issues du FAST. Choix de la solution retenue. Montage simple avec du matériel disponible au laboratoire ou mis à disposition par l'entreprise permettant de démontrer la faisabilité du projet. 	2	1, 2
REVUE CRITIQUE N°1 : DEMONSTRATION DE FAISABILITÉ (14 décembre)			
A4	Définition du projet	7	1 2
	Définition exacte de la solution finale : <ul style="list-style-type: none"> Choix des composants. Réalisation dessins d'ensemble et de définition. Schémas structurels. Programme informatique. Répartition du travail (voir A.3.) : <ul style="list-style-type: none"> Balayage par plan laser Lumière structurée 		
REVUE CRITIQUE N°2 : VALIDATION DE LA DÉFINITION DU PROJET (15 février)			
A5	Mise en œuvre	7	1, 2
	<ul style="list-style-type: none"> Montage, assemblage, ... Réalisation, réglages, ... Après la mise en œuvre de la partie réalisée par chaque étudiant, intégration finale et mise au point. 		
A6	Homologation et conclusions	8	1, 2
	<ul style="list-style-type: none"> Faire les mesures demandées dans le cadre du projet. Analyser les performances du système. Rédiger le rapport de projet. Rédiger éventuellement une notice d'utilisation. 		
		Total :30	
REVUE CRITIQUE N°3 : ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME – RÉSULTATS OBTENUS (7 juin)			

C.2. A petite échelle

		Travail demandé	
		Séances (4 H)	Élèves
A1	Analyse du besoin	2	1, 2, 3
A.1.1	Saisie du besoin : Compléter le cas échéant le paragraphe A.2.1.		
A.1.2	Énoncé du besoin : Compléter le cas échéant le paragraphe A.2.2.		
A.1.3	Validation du besoin		
A2	Étude de faisabilité	2	1, 2, 3
A.2.1	Identification des fonctions : • Mettre les éléments ext. en relation avec le produit. • Formuler le but visé pour chacune des relations.		
A.2.2	Caractérisation des fonctions : Compléter les colonnes <i>caractéristiques</i> et <i>critères</i> .		
A3	Caractérisation des fonctions	2	1, 2, 3
A.3.1	Recherche de solutions : • Compléter le FAST. Proposer un maximum de solutions, ne pas en éliminer à priori. • Rechercher des solutions existantes ou similaires. • Consulter publications, articles, anciens rapports... • Approfondir les connaissances sur le sujet en optique, électronique, mécanique, informatique...		
A.3.2	Évaluation des solutions : • Critique des différentes solutions issues du FAST. • Choix de la solution retenue. • Montage simple avec du matériel disponible au laboratoire ou mis à disposition par l'entreprise permettant de démontrer la faisabilité du projet.	2	1, 2, 3
REVUE CRITIQUE N°1 : DEMONSTRATION DE FAISABILITÉ (31 Janvier)			
A4	Définition du projet	7	1, 2, 3
	Définition exacte de la solution finale : • Choix des composants. • Réalisation dessins d'ensemble et de définition. • Schémas structurels. • Programme informatique. <u>Répartition du travail</u> (voir A.3.) : • – • – • – • – • – • –		
REVUE CRITIQUE N°2 : VALIDATION DE LA DÉFINITION DU PROJET (3 Avril)			
A5	Mise en œuvre	7	1, 2, 3
	• Montage, assemblage, ... • Réalisation, réglages, ... • Après la mise en œuvre de la partie réalisée par chaque étudiant, intégration finale et mise au point.		
A6	Homologation et conclusions	8	1, 2, 3
	• Faire les mesures demandées dans le cadre du projet. • Analyser les performances du système. • Rédiger le rapport de projet. • Rédiger éventuellement une notice d'utilisation.		
		Total :30	
REVUE CRITIQUE N°3 : ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME –			