

DETECTION ET MESURES DES IMPACTS SUR LES BORDS D'ATTAQUES.

Élèves :	LUCZAK Nadia, SÜSS Alexandra
Partenaire :	Jet Aviation
Adresse :	
Parrain du projet :	M. BURGERT Gilbert
Tél :	0041 58 158 44 25 - 0041 79 76 399 10
Fax :	
E-mail:	Gilbert_burget@jetaviation.com
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.

Comment une aile génère-t-elle de la portance? La première loi de Newton stipule qu'un corps au repos reste au repos, et qu'un corps en mouvement continue en suivant un mouvement rectiligne à moins qu'il soit soumis à l'application d'une force extérieure. Cela signifie que si l'on observe une déviation dans le flux de l'air, ou que si l'air à l'origine au repos est accéléré en mouvement, une force y a donc été imprimée. La troisième loi de Newton stipule que pour chaque action il existe une réaction opposée de force égale. Par exemple, un objet qui repose sur une table exerce une force sur cette table (son poids) et la table applique une force égale et opposée sur l'objet qu'elle soutient. De façon à générer de la portance, l'aile doit faire quelque chose à l'air. Ce que fait l'aile sur l'air est l'action tandis que la portance est la réaction. La figure 1 montre les ligne de flux. L'air passe au dessus de l'aile et est dévié vers le bas. La déviation de l'air est l'action. La réaction est la portance de l'aile.

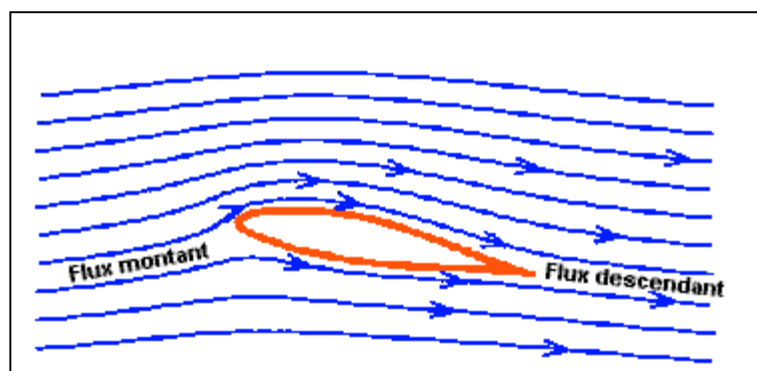


Fig. 1 Flux d'air autour d'une aile générant de la portance, montrant le flux montant et le flux descendant.

Comme le suggère les lois de Newton, l'aile doit modifier quelque chose dans l'air pour obtenir de la portance. Des modifications du moment de l'air résulteront des forces sur l'aile. Pour générer de la portance, l'aile doit dévier de l'air vers le bas, beaucoup d'air. La portance d'une aile est égale à la modification du moment de l'air qu'elle dévie vers le bas. Le moment est le produit de la masse par la vitesse. La portance d'une aile est donc proportionnelle à la quantité d'air dévié vers le bas multipliée par la vitesse verticale de cet air (ici nous avons utilisé une version dérivée de la seconde loi de Newton qui lie l'accélération d'un objet à sa masse ainsi qu'à la force qui y est appliquée, $F=m.a$). Pour obtenir plus de portance, l'aile peut soit dévier plus d'air (masse) ou augmenter la vitesse verticale de cet air. Cette vitesse verticale derrière l'aile est appelée " flux descendant ". La figure 2 montre comment le flux descendant apparaît du point de vue du pilote. La figure 5 montre aussi comment le flux descendant pourrait être visualisé par un observateur au sol qui regarde l'aile avancer. Pour le pilote, l'air quitte l'aile en suivant en gros son angle d'attaque. Pour l'observateur au sol, s'il était capable de voir l'air, l'air semblerait quitter l'aile presque verticalement. Plus l'angle d'attaque augmente, plus la vitesse verticale est élevée. De même, si pour le même angle d'attaque la vitesse de l'aile augmente, la vitesse verticale est aussi augmentée. Ainsi schématiquement, aussi bien l'augmentation de vitesse que l'augmentation de l'angle d'attaque participent à l'allongement de la flèche représentant la vitesse verticale. C'est cette vitesse verticale qui donne à l'aile sa portance.

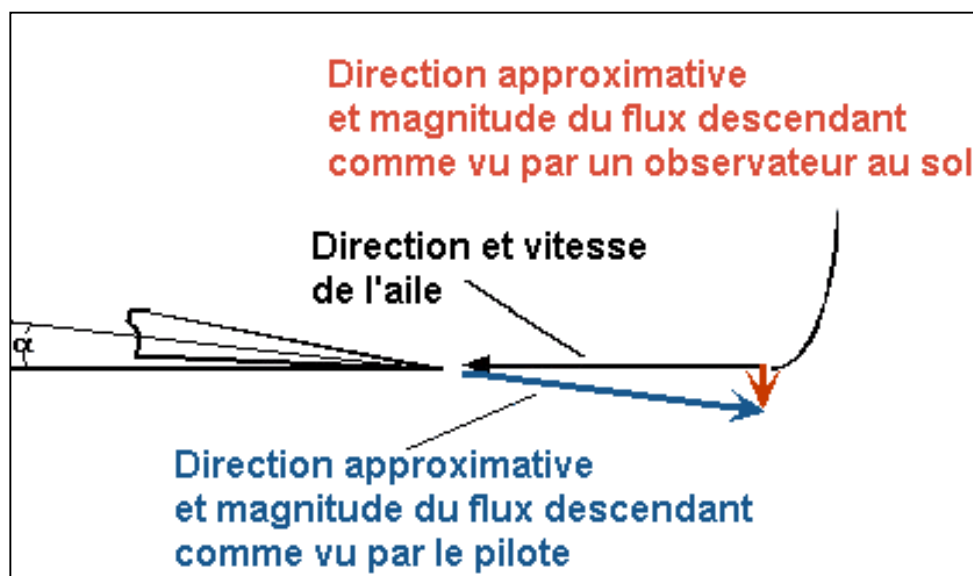


Fig. 2 Comment le flux descendant apparaît au pilote et à l'observateur au sol.

Mais comment une aile aussi fine peut-elle dévier autant d'air ? Quand l'air contourne le sommet de l'aile, il tire sur l'air se situant au dessus de lui et accélère cet air vers le bas, sinon il y aurait des vides au dessus de l'aile. L'air est tiré d'en haut pour éviter les vides. Cette traction entraîne la diminution de la pression au dessus de l'aile. C'est l'accélération de l'air au dessus de l'aile en direction du flux descendant qui génère la portance. Comme nous avons vu sur la Figure 1, une complication dans l'image de l'aile est l'effet de " flux montant " au bord d'attaque de l'aile. Comme l'aile se déplace, l'air est non seulement dévié vers le bas à l'arrière de l'aile mais est aussi attiré vers le haut au bord d'attaque. Ce flux montant contribue à une portance négative et plus d'air doit être dévié vers le bas pour compenser.

Normalement, si on regarde l'air s'écouler sur l'aile dans le cadre de référence de l'aile. En d'autres mots comme le pilote, l'air se déplace et l'aile est fixe. Nous avons déjà établi que pour un observateur au sol l'air semble sortir de l'aile presque verticalement. Mais que fait l'air au dessus et en dessous de cette aile? La Figure 3 montre un instantané des mouvements des molécules d'air au moment où l'aile passe. Rappelez vous que c'est l'air qui était au repos au départ et que c'est l'aile qui se déplace. En avant du bord d'attaque, l'air se déplace vers le haut (flux montant). Au bord de fuite, l'air est dévié vers le bas (flux descendant). Au dessus de l'aile, l'air est accéléré vers le

bord de fuite. En dessous, l'air est à peine accéléré vers l'avant voire pas du tout.

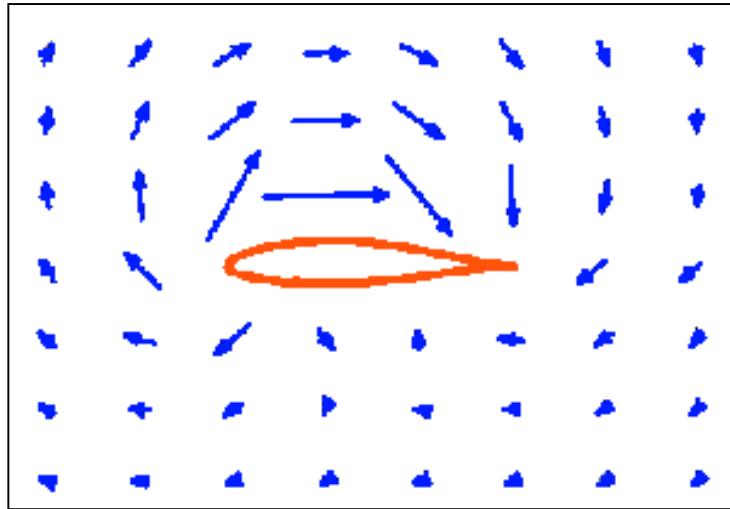


Fig. 3 Direction des déplacements d'air autour d'une aile du point de vue d'un observateur au sol.

Ce que nous observons à partir de la figure 3 est que la surface supérieure de l'aile fait beaucoup plus pour déplacer l'air que l'inférieure. La surface supérieure est donc la surface la plus critique. Ainsi, les avions peuvent transporter des charges extérieures, telles que des réservoirs largables, sous les ailes mais pas au dessus car elle interférerait avec la portance. C'est aussi pour cela que les haubans en dessous des ailes sont courantes alors que les haubans au dessus de l'aile ont été si rare dans le passé. Un hauban, ou n'importe quelle obstruction, sur le sommet de l'aile interférerait avec la portance.

Un fluide suit une surface courbe à cause de la viscosité, c'est à dire la résistance à l'avancement qui donne à l'air une sorte d'adhérence. La viscosité de l'air est très faible mais est suffisante pour que les molécules d'air se collent à la surface. La vitesse relative entre la surface et les molécules d'air les plus proche est absolument nulle. Un peu au dessus de la surface, le fluide a un peu de vitesse. Plus on s'éloigne de la surface, plus la vitesse du fluide s'élève jusqu'à atteindre la vitesse du flux extérieur.

La portance comme fonction de l'angle d'attaque. L'aile dévie l'air vers le bas ou plus exactement tire l'air du dessus vers le bas. Ce que toutes les ailes ont en commun est leur angle d'attaque par rapport à l'air qu'elles traversent. C'est cet angle d'attaque qui est le premier paramètre déterminant de la portance. La portance d'une aile inversée peut être expliquée grâce à son angle d'attaque, et ce malgré l'apparente contradiction avec l'explication populaire s'appuyant sur le principe de Bernoulli. Le pilote ajuste l'angle d'attaque pour ajuster la portance à la vitesse et à la charge. L'explication populaire de la portance qui se concentre sur la forme de l'aile ne donne au pilote que la possibilité d'adapter la vitesse.

Pour mieux comprendre le rôle de l'angle d'attaque il est utile d'introduire un " véritable " angle d'attaque, définit de telle façon que l'angle de l'aile par rapport à l'axe du vent donnant une portance nulle soit définit comme étant zéro degrés. Si on change l'angle d'attaque aussi bien vers le haut ou vers le bas, on remarque que la portance est proportionnelle à cet angle. La Figure 4 montre le coefficient de portance (portance normalisée à la taille de l'aile) pour une aile standard en fonction de l'angle d'attaque effectif. Une relation similaire entre portance et angle d'attaque peut être trouvée pour toutes les ailes, indépendamment de leur conception. Le rôle de l'angle d'attaque est plus important que les détails de la forme du profil dans la compréhension de la portance.

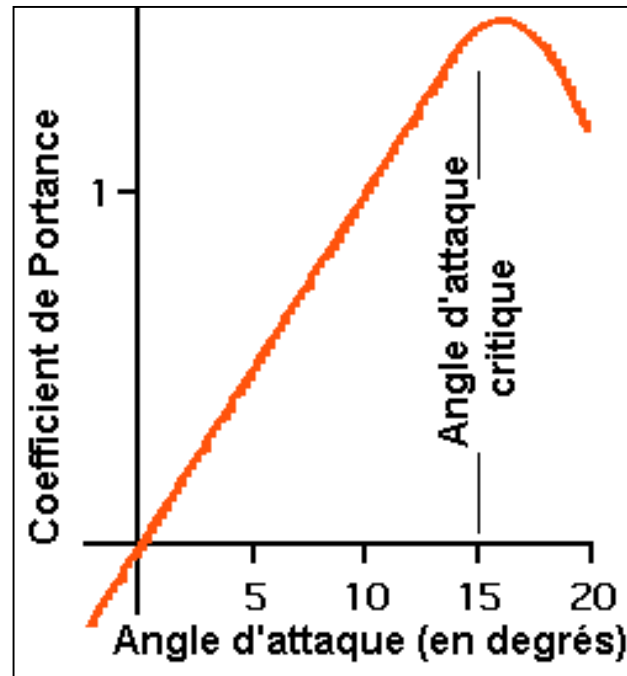


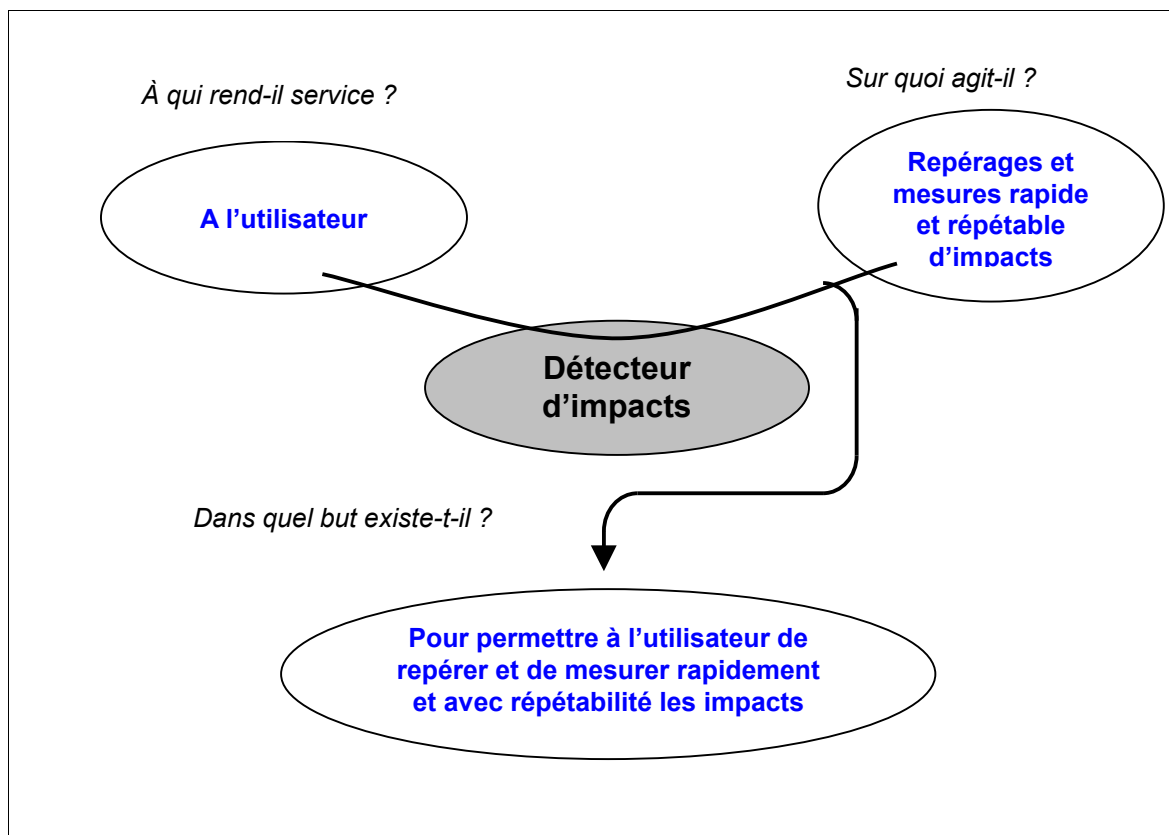
Fig. 4 Coefficient de portance en fonction de l'angle d'attaque effectif.

Généralement, la portance commence à diminuer à partir d'un angle d'attaque de 15 degrés. Les forces nécessaires pour dévier l'air à un angle aussi grand sont plus grandes que ce que la viscosité de l'air peut supporter, et l'air commence à se séparer de l'aile. Cette séparation du flux d'air du dessus de l'aile est un décrochage.

L'importance des bords d'attaques est donc primordiale dans le bon fonctionnement de la portance de l'avion. C'est pourquoi la présence d'impacts, atteignant une certaine dimension, n'est pas négligeable. Ces impacts engendreraient une perte dans la maîtrise de la portance de l'avion et donc une perte dans la maîtrise du procédé de vol, augmentant ainsi l'insécurité du vol, pouvant même le rendre dangereux.

A.1.2. Enoncé du besoin

Cadre 1 : Diagramme bête à cornes.



A.1.3. Validation du besoin

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

- Manque de répétabilité lors de la détection et de la mesure des impacts (besoin d'une méthode unique et répétable).
- Manque de précision lors de la détection et de la mesure des impacts (détection et mesures effectuées à l'œil nu).

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

- Evolution : Innovation technologique, création de matériaux résistants aux chocs.
- Disparition : L'avion n'est plus utilisé comme moyen de transport.

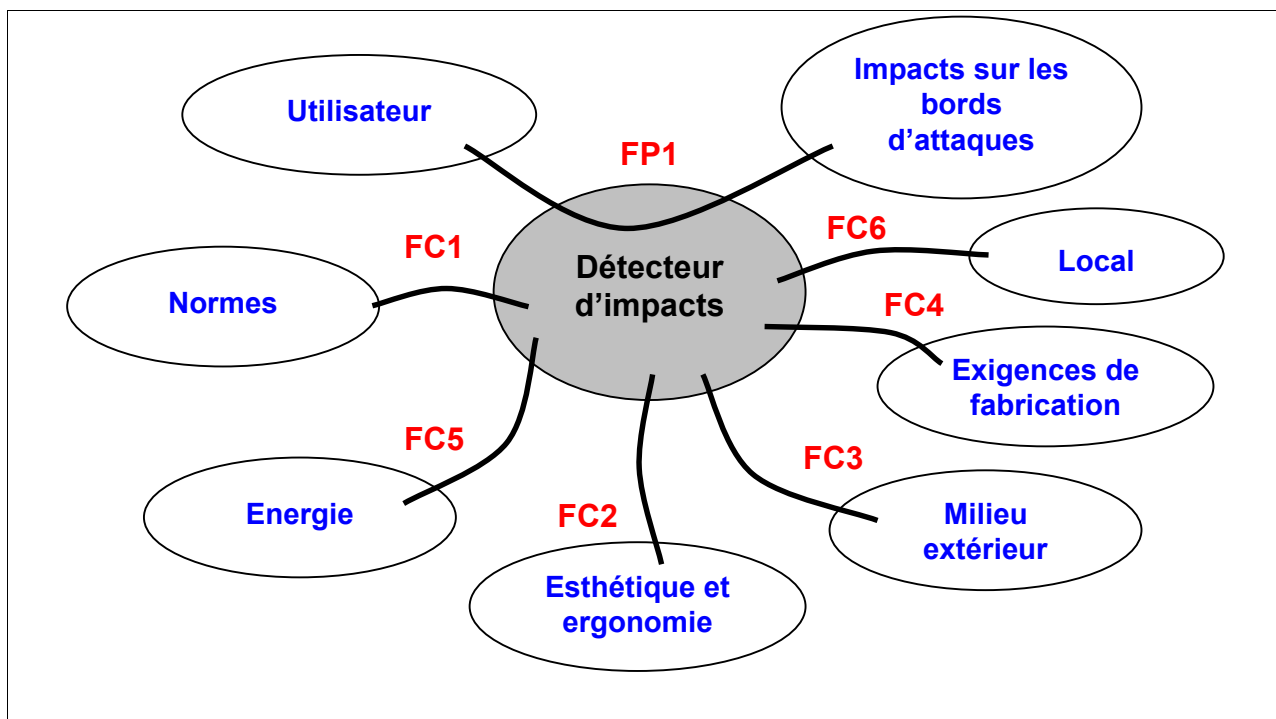
Conclusion :

- Ce besoin est bien réel, donc validé.

A.2. Étude de faisabilité

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

A.2.1. Identification des fonctions



Cadre 1 : Diagramme pieuvre.

Fonction principale

FP1	L'utilisateur détecte et quantifie les impacts sur les bords d'attaques.
-----	--

Fonctions contraintes

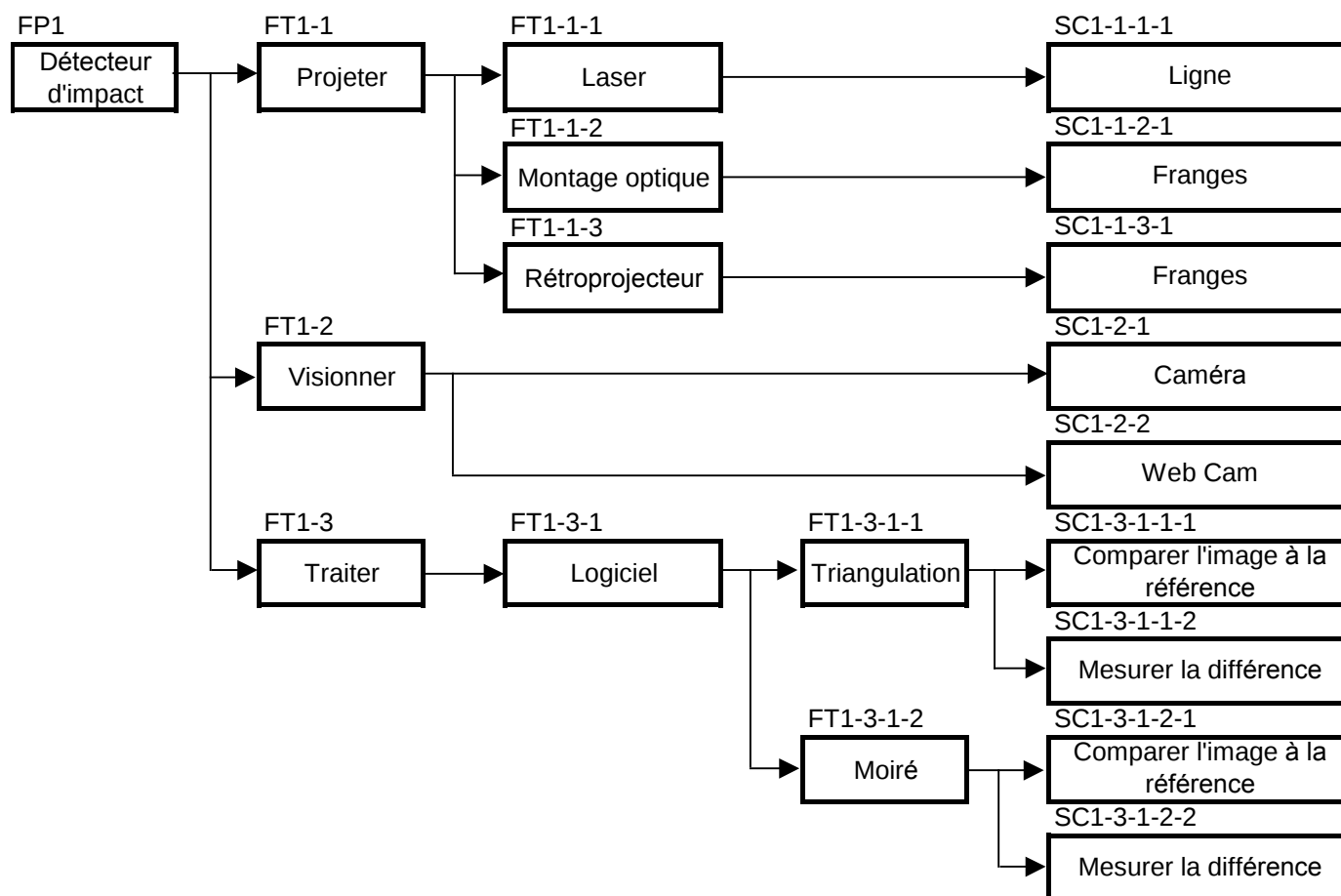
FC1	Assurer la sécurité de l'utilisateur d'un point de vue électrique, mécanique et optique.
FC2	Etre agréable à l'œil, et facile d'utilisation.
FC3	Fonctionner dans le milieu ambiant (laboratoire de mise en œuvre).
FC4	Respecter les exigences de fabrication.
FC5	Le détecteur doit être alimenté en énergie
FC6	Ranger le système dans un local

A.2.2. Critères à respecter

Fonctions de service	Critères	Niveaux - Limites
FP1 : Détecter et quantifier,,,	* Projection de franges (lumière structurée)	* Surface d'analyse
	* Balayage par plan laser : Mesure de la déformation	He-Ne $\lambda = 632,8\text{nm}$
	* Résolution en z : * Caméra * Web cam	Résolution : Résolution :
FC1 : Assurer la sécurité,,,	* Sécurité mécanique * Sécurité électrique	* Respect des normes
FC2 : Etre facile d'utilisation	* Logiciel d'acquisition des mesures et calcul de la déformation * Ensemble compact * Esthétique	* 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 * Système transportable
FC3 : Fonctionner dans,,,		
FC4 : Respecter les exigences,,,	* Réaliser le système :	* Avec les moyens du laboratoire * Avec le matériel mis à disposition par l'entreprise
FC5 : Le détecteur doit,,,		
FC6 : Ranger le système,,,		

A.3. 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.

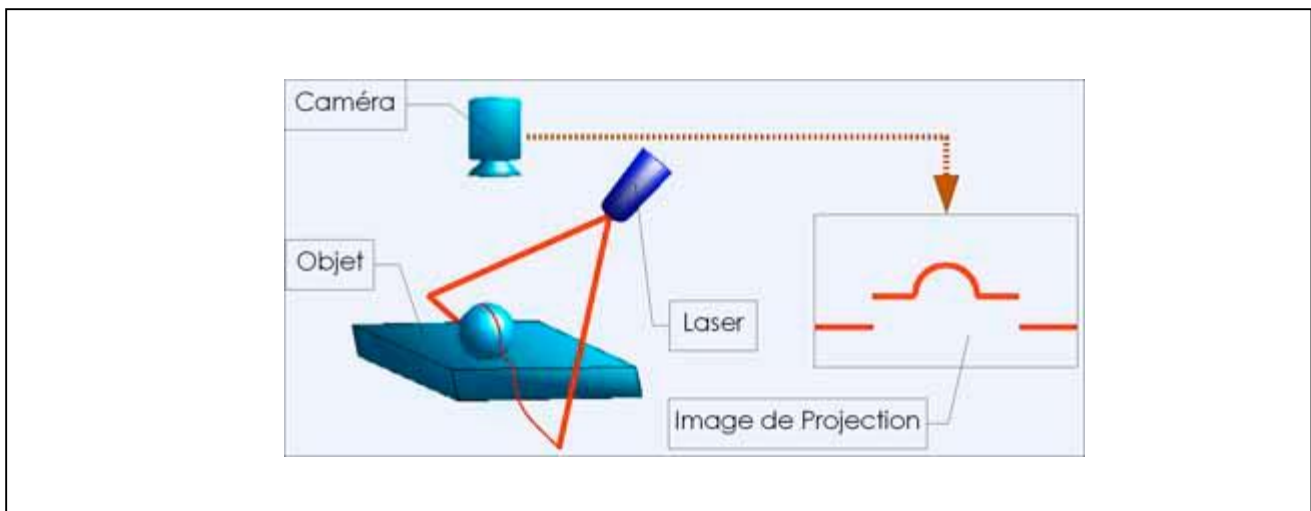
() : Coefficient de difficulté de mise en œuvre de la fonction (1 : facile et/ou rapide, ..., 4 : long et/ou difficile).

B. Principes mis en œuvre

- Triangulation laser.
- Projection de franges (Moiré).

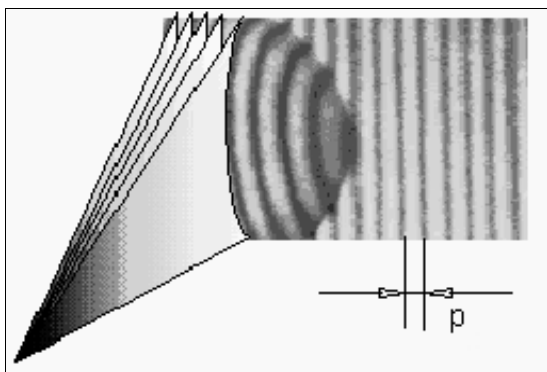
B.1. Schéma de principe

- Triangulation laser.

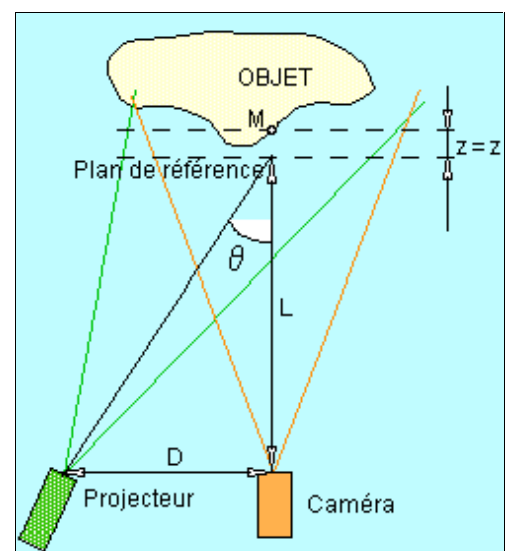


Cadre 3 : Principe de triangulation laser.

- Projection de franges (Moiré).



Cadre 4 : Projection de franges.



Cadre 5 : Principe du montage.

B.2. Explications fondamentales

- **Triangulation laser (voir cadre 3).**

Principe :

Un trait laser plan est projeté sur l'objet à digitaliser.

Une caméra filme la scène, numérisée en temps réel.

Ce trait est transformé en un ensemble de points 3D.

L'ensemble se déplace tout autour de la pièce.

Les données collectées sur la surface permettent d'obtenir rapidement un modèle 3D virtuel de l'objet réel.

La technologie de digitalisation est basée sur une triangulation laser / caméra :

Le choix de l'angle est très important : il assure un bon compromis entre une perception suffisante du relief et une gestion efficace des parties cachées : à 0° la caméra ne percevrait aucun relief, à 90° le relief serait optimum, mais la moindre variation d'altitude empêcherait la caméra de voir la ligne laser.

La scène caméra est en 2D, comme la ligne laser réelle, qui appartient à un plan. Grâce à une procédure de "calibration", il est possible de traduire une information "ligne et colonne dans l'image vidéo" en information "u,v", c'est à dire dans un système métrique de coordonnées cartésiennes 2D.

Chaque image vidéo est composée de pixels dont la valeur ("hauteur") dépend de l'intensité lumineuse captée. L'électronique extrait, pour chaque ligne de cette image, l'information "colonne" d'un point, correspondant au maximum de l'énergie lumineuse. C'est l'algorithme du subpixel. La résolution en colonne ainsi obtenue, qui influe directement sur la résolution métrique, dépend de l'angle de triangulation, et des paramètres optiques (focale, zoom, ...)

Passage de la vidéo au monde 3D XYZ :

Image vidéo brute. Cette image est paramétrable pour ne conserver que l'information adéquate pour le traitement électronique :

- Puissance Laser (jouant sur l'épaisseur du trait),
- Temps d'intégration Caméras (jouant sur la hauteur des pixels)
- Look Up Table (servant de seuil pour éliminer le bruit de fond)

Numérisation :

Il s'agit d'un traitement électronique en temps réel qui, pour chaque ligne vidéo, extrait le point associé. Le résultat est un ensemble de points dans un système de coordonnées (colonne, ligne), avec la résolution du subpixel en colonne.

Calibration :

Détermine la relation entre le monde 2D des caméras et le système de coordonnées cartésiennes (UV). Après application des formules de calibration, le résultat est un ensemble de points (sections) dans un monde 2D, métrique, lié à l'ensemble (caméra/laser).

Les informations de positionnement de l'ensemble (caméra/laser) par rapport à l'objet permettent de localiser les points de la trace laser dans l'espace. On peut alors assembler les sections et constituer des informations 3D sur toute la surface de l'objet (nuage de points, ou, plus exactement, nuage de lignes de points).

- **Projection de franges (Moiré) (voir cadres 4 et 5).**

Le moiré est un effet de contraste changeant avec la déformation d'un objet, indépendamment des effets d'ombre. D'une manière générale, le moiré est une figure composée de lignes sombres et claires résultant de la superposition de deux réseaux (ensemble de lignes globalement parallèles). Il s'agit en fait d'un phénomène d'interférences spatiales entre les deux réseaux. Ce phénomène est utilisé pour analyser la déformation d'un objet, il permet aussi d'expliquer le phénomène de tramage que l'on a lorsque l'on numérise une image composée de points (comme une photo de quotidien), ou bien l'effet étrange produit par une chemise à rayures à la télévision (superposition de la trame de la chemise et de la trame de l'écran).

→ RESEAUX PARALLELES DE PAS DIFFERENTS

Approche géométrique.

Moiré de réseaux parallèles : Considérons deux réseaux constitués de lignes parallèles équidistantes, par exemple verticales. Le premier réseau a un pas p , le second a un pas $p + \delta p$, avec $\delta p > 0$. Si nous faisons coïncider les traits les plus à gauche des réseaux, le décalage entre les traits des deux réseaux s'accroît lorsque l'on va vers la droite. Au bout d'un certain nombre de traits, les deux réseaux seront en opposition, c'est à dire que les traits du deuxième réseau seront entre les traits du premier réseau. De loin, on va donc avoir une impression de clair lorsque les traits des deux réseaux sont superposés (il y a du blanc entre les traits), et une impression de sombre lorsque les traits sont en opposition. La première ligne sombre apparaît lorsque le décalage est $p/2$. Le trait n du second réseau est décalé de $n \cdot \delta p$ par rapport au trait n du premier réseau. La première ligne sombre apparaît donc pour $n \cdot \delta p = p/2$, soit :

$$n = \frac{p}{2\delta p}$$

La distance d séparant une ligne sombre d'une ligne claire est donc :

$$d = n \cdot p = \frac{p^2}{2\delta p}$$

La distance séparant deux lignes sombres, qui est également la distance séparant deux lignes claires, est :

$$2d = \frac{p^2}{\delta p}$$

On voit de cette formule que :

- plus le pas est grand, plus les lignes claires et sombres sont espacées.
- plus l'écart de pas δp est grand, plus les lignes claires et sombres sont rapprochées, des lignes très espacées signifient que les réseaux ont des pas très proches.

Approche sinusoïdale.

Si l'on ne considère plus des réseaux de lignes de fort contraste, mais des réseaux transparents ayant un contraste I variant de manière continue selon une sinusoïde :

$$I_2(x) = I_0 \cdot \sin(2\pi \cdot k_2 \cdot x)$$

$$I_1(x) = I_0 \cdot \sin(2\pi \cdot k_1 \cdot x)$$

Les pas sont respectivement de $p_1 = 1/k_1$ et $p_2 = 1/k_2$, l'intensité lorsque l'on superpose les deux réseaux est alors :

$$I(x) = I_0 \cdot (\sin(2\pi \cdot k_1 \cdot x) + \sin(2\pi \cdot k_2 \cdot x))$$

soit, d'après la formule de la somme de deux sinus dérivée des formules d'Euler :

$$I(x) = I_0 \cdot 2 \cos \left(2\pi \frac{(k_1 - k_2)}{2} \cdot x \right) \cdot \sin \left(2\pi \frac{(k_1 + k_2)}{2} \cdot x \right)$$

On voit donc que l'intensité résultante est composée d'une sinusoïde ayant une « fréquence spatiale » (nombre d'onde) élevée qui est la moyenne des fréquences spatiales des deux réseaux, et d'une sinusoïde ayant une fréquence spatiale faible qui est la moitié de la différence des fréquences spatiales des deux réseaux. Cette deuxième composante est une « enveloppe » pour l'autre sinusoïde. La longueur d'onde λ de cette composante est l'inverse de la fréquence spatiale :

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{k_1 - k_2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right)$$

soit si l'on pose $p_1 = p$ et $p_2 = p + \delta p$:

$$\lambda = \frac{p_1 p_2}{p_1 - p_2} = 2 \frac{p^2}{\delta p} + p$$

Les zéros de cette enveloppe sont espacés de $\lambda/2$, et les maxima d'amplitude en valeur absolue sont espacés également de $\lambda/2$; on retrouve donc le résultat de l'approche classique, à un écart de $p/2$ près qui correspond à l'inexactitude de position du trait sombre selon que l'on considère un trait du réseau 1 ou du réseau 2. Cette erreur est négligeable si $\delta p \ll p$.

C. Démarche du projet

		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 (19, 20 décembre)			
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. • Répartition du travail (voir A.3.) : • — • — • — • — • — • —		
REVUE CRITIQUE N°2 : VALIDATION DE LA DÉFINITION DU PROJET (6, 7 mars)			
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 – RÉSULTATS OBTENUS (15, 16 mai)			