



# Steel Sheet Piling

## Détection des fissures sous la griffe courbe des palplanches FISE - 2023



ENSTA Bretagne  
2 rue F. Verny  
29806 Brest Cedex 9, France

GODARD Maël  
mael.godard@ensta-bretagne.org



Entreprise :

Nom : ArcelorMittal  
Coordonnées : 296 Bd Charles de  
Gaulle, 4083 Esch-sur-Alzette,  
Luxembourg

Contact :  
DEHON Gilbert  
Gilbert.Dehon@arcelormittal.com

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant participé au bon déroulement de mon stage et m'ayant permis d'en tirer le meilleur :

- Mr Gilbert DEHON, responsable de l'amélioration continue du Train 2 et tuteur de mon stage pour m'avoir permis de réaliser mon stage au Train 2 ainsi que pour sa grande implication et ses conseils à la fois techniques et managériaux.
- Mrs Fränk KLEIN et Bertrand WAGNER respectivement responsables techniques qualité secteur chaud et secteur froid pour leur disponibilité et leur expertise technique.
- Mr Bastien CASPANI, ingénieur de recherche, avec qui j'ai eu la chance de travailler à l'occasion de ce projet pour m'avoir permis de m'impliquer dans les différents aspects du projet
- Mrs Lionel MATTIUZZO et José JACINTO, ingénieurs industriels, avec qui j'ai pu travailler pour la préparation d'études de postes pour leurs conseils avisés en matière de relations à la fois interne et avec l'extérieur
- Mr Thibaut GENIN, Mr Thierry PETESCH, Mme Roxane TREHOREL et les autres membres des bureaux du Train 2 et de l'AOB (centre de recherche) pour leur disponibilité et leur implication au quotidien et au cours des différents projets auxquels j'ai eu l'occasion de prendre part.

## Résumé

Mon cursus au sein de l'ENSTA Bretagne m'orientant vers un profil de chercheur en robotique, j'ai souhaité acquérir par le biais de ce stage l'expérience du métier d'ingénieur en charge de gérer des projets au sein d'un grand groupe tel qu'ArcelorMittal. J'ai ainsi pu prendre part à différents projets en occupant différents rôles tels que coordinateur, support ou simple contributeur. Ces projets ayant des sujets divers tels que les caméras thermique, la gestion qualité et l'amélioration continue, ce rapport se concentrera sur le projet principal de ce stage : la détection de fissure. Ce projet allie qualité, amélioration continue et gestion de projet.

L'étude préliminaire mécanique ayant d'ores et déjà été effectuée avant mon arrivée sur site, mon objectif durant ce stage était de dimensionner le système de vision et d'effectuer le traitement d'images préliminaire permettant de valider la capacité du système de vision à remplir sa fonction. Une partie de ce stage était aussi focalisée sur l'implantation du système dans la gestion de la qualité des produits sur site.

L'étude de la partie optique a permis de choisir une caméra et une focale adaptée, choix confirmé par la suite par un traitement d'image simulant la mise en mouvement de l'échantillon. Enfin un travail sur la base de donnée de gestion qualité relatif à ce projet et en cours.

## Abstract

As my curriculum at ENSTA Bretagne oriented me towards a profile of researcher in robotics, I wanted to acquire through this internship the experience of an engineer in charge of managing projects within a large group such as ArcelorMittal. I was able to take part in different projects by occupying different roles such as coordinator, support or simple contributor. These projects had various subjects such as thermal cameras, quality management and continuous improvement. This report will focus on the main project of this internship: crack detection. This project combines quality, continuous improvement and project management.

The preliminary mechanical study having already been done before my arrival on site, my objective during this internship was to dimension the vision system and to carry out the preliminary image processing allowing to validate the capacity of the vision system to fulfill its function. A part of this internship was also focused on the implementation of the system in the quality management of the products on site.

The study of the optical part made it possible to choose a camera and an adapted focal length, choice confirmed thereafter by an image processing simulating the setting in movement of the sample. Finally, a work on the quality management database related to this project is in progress.

## Sommaire

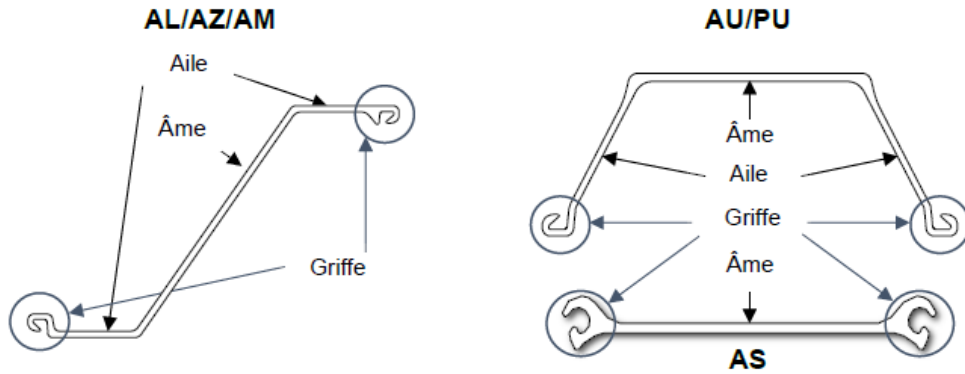
Remerciements.....	2
Résumé.....	3
Abstract.....	3
Abréviations et Lexique.....	6
1. Contextualisation.....	7
1.1. L'entreprise : ArcelorMittal.....	7
1.2. Le site du stage.....	7
1.3. Produits de l'entreprise.....	9
Layout.....	9
Produits.....	10
Le site de Differdange.....	11
2. Des fissures à détecter.....	11
2.1. Contexte et présentation générale du problème.....	11
2.2. Origine.....	13
2.3. Expression Fonctionnelle du Besoin.....	14
2.4. Contraintes de conception.....	14
3. Description technologique de la solution.....	15
3.1. Présentation.....	15
3.2. Justification des choix technologiques effectués.....	16
4. Choix de composants.....	17
4.1. Fréquence d'échantillonnage.....	19
4.2. Largeur détectable.....	19
4.3. Motion blur.....	20
5. Traitement d'image.....	20
5.1. Niveau de gris.....	21
5.2. Binarisation.....	22
5.3. Détection de fissure.....	23
6. La suite.....	24
6.1. Après la détection : la traçabilité.....	24
6.2. Next steps.....	25

Conclusion .....	26
Références Bibliographiques .....	26
Table des figures.....	26
Annexes .....	27
Annexe 1 : Rapport d'évaluation .....	28
Annexe 2 : Fiche technique Alvium 1800 U-508 m/c .....	30
Annexe 3 : Fiche technique Alvium 1800 U-1236 m/c .....	33
Annexe 4 : Fiche technique éclairage Overdrive .....	37
Annexe 5 : Champ de vision de l'Alvium 1800 U-1236m/c en fonction de la longueur focale et de la distance caméra/objet .....	45
Annexe 6 : Calculs de fréquence d'échantillonnage Alvium 1800 U-1236m/c .....	45
Annexe 7 : Calculs de largeur détectable et motion blur pour une longueur focale de 35 mm .....	45

## Abréviations et Lexique

Profil : deux lettres désignant la forme générale, puis deux chiffres définissant l'ensemble des dimensions (exemples : AL13, PU22)

Montage : Nom de profil suivi de 4 chiffres indiquant la série de production (exemples : AL132234, AU202224)



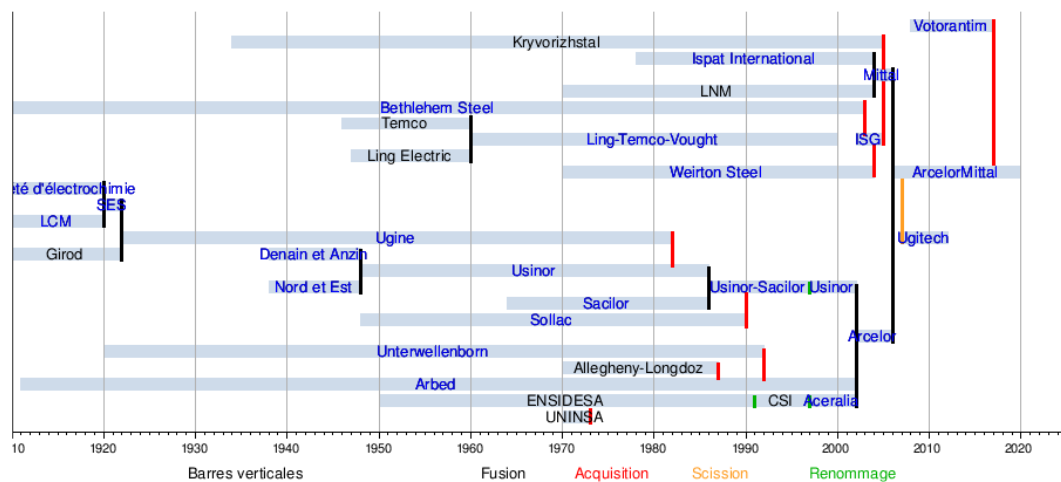
AL/AZ/AM	AU/PU	AS
<p>Griffe courbe</p> <p>Griffe droite</p>		

## 1. Contextualisation

### 1.1.L'entreprise : ArcelorMittal

En 2002, Arbed (Luxembourg), Aceralia (Espagne) et Usinor(France) fusionnent pour créer le groupe Arcelor. En parallèle, LNM et Ispat International fusionnent en 2004 pour former Mittal, qui absorbera par la suite Kryvorizhstal et ISG Steel. Le groupe Mittal finira par racheter Arcelor en 2006 pour former le groupe ArcelorMittal.

L'historique complet des fusions/rachats et renommages et regroupé Figure 1.



[Wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/ArcelorMittal)

ArcelorMittal est le leader mondial dans le domaine de la sidérurgie. Ses activités comprennent l'activité minière, la production d'acier brut, la transformation de produits et la Recherche et le Développement.

### 1.2.Le site du stage

Le groupe ArcelorMittal est divisé en plusieurs secteurs, eux-mêmes subdivisés en sites (voir figure 2)

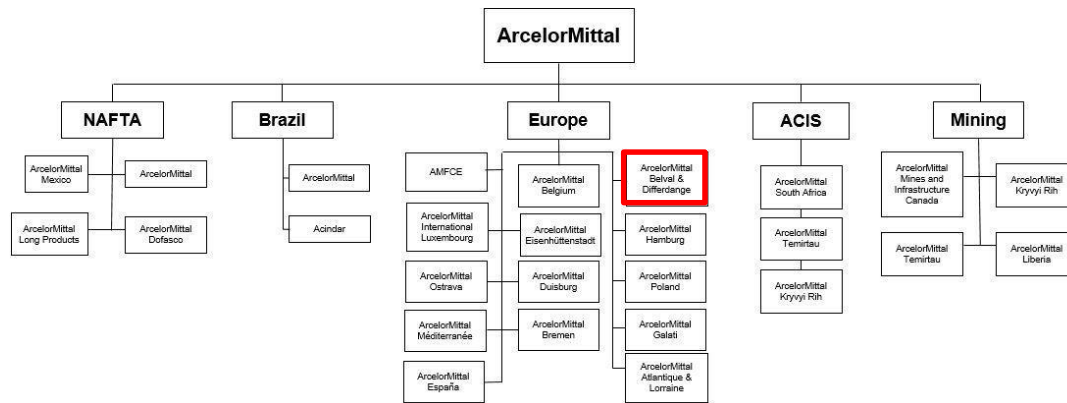


Figure 2: Organigramme du groupe ArcelorMittal

Le stage s’est déroulé dans un site d’ArcelorMittal Europe, composé de près de 74,000 employés répartis sur 400 sites. Le site en question est celui d’Esch-Belval, spécialisé dans la production de « produits longs ». ArcelorMittal Europe est en effet décomposé en trois filiales :

- Produits plats : Production des bobines laminées, plaques, aciers émaillés par exemple. Produits utilisés entre autres dans les domaines automobile et pétrolier
- Downstream solutions : Produits sur mesure majoritairement pour l’industrie automobile
- Produits longs : Production entre autres de palplanches, profilés et rails

**Présentation de l'entreprise**  
**Belval**  
 BD North

**Products:**   
**Markets:** infrastructure, construction

The production site of Belval consists of a melt shop-electric arc furnace, ladle furnace and continuous caster (6 strands) - and 2 hot rolling mills. Raw material for electric steelmaking is 100 % scrap (recycling).

- TMB (Tandem mill Belval) rolling mill produces light and medium sections and angles.
- Rolling Mill 2 is specialised in the production of hot rolled sheet piles for all kind of retaining structures.

ISO 9001 Quality Management	ISO 14001 Environmental System Management	OHSAS 18001 Health & Safety	Other ISO 50001 Energy management
✓	✓	✓	

17/10/2019 ArcelorMittal Belval & Differdange

**Facilities** Achievable capacity

- Scrap
- Electric arc furnace
- Ladle furnace
- Continuous casting - 3
- Beam blanks from Differdange
- Beam blanks
- Reheating furnace
- Reheating furnace
- Sheet pile mill
- Medium section mill
- Sheet piles
- Sections & Medium SPS

2

Figure 3: Le site d’Esch-Belval

Le site d’Esch-Belval, créé en 1911, est composé de trois zones distinctes :





Les Beam Blank (demi-produits) en provenance des aciéries de Belval et de Differdange sont enfournés dans le four à longerons (noté FAL). En sortie de four, les demi-produits chauds sont décalaminés (de la calamine se forme en surface du bloc lors de son passage au four) avant d'être laminés. Pour obtenir les palplanches en sortie de laminage, quatre cages composées de deux cylindres (appelés DUO) sont utilisées à hauteur de 2 ou 3 passes par DUO. Les barres mères produites sont ensuite coupées en barres filles avant d'être stockés sur des lits de refroidissement. Une dresseuse corrige enfin la rectitude des barres filles avant que celles-ci ne soient expédiées où envoyées au finissage pour jumelage.

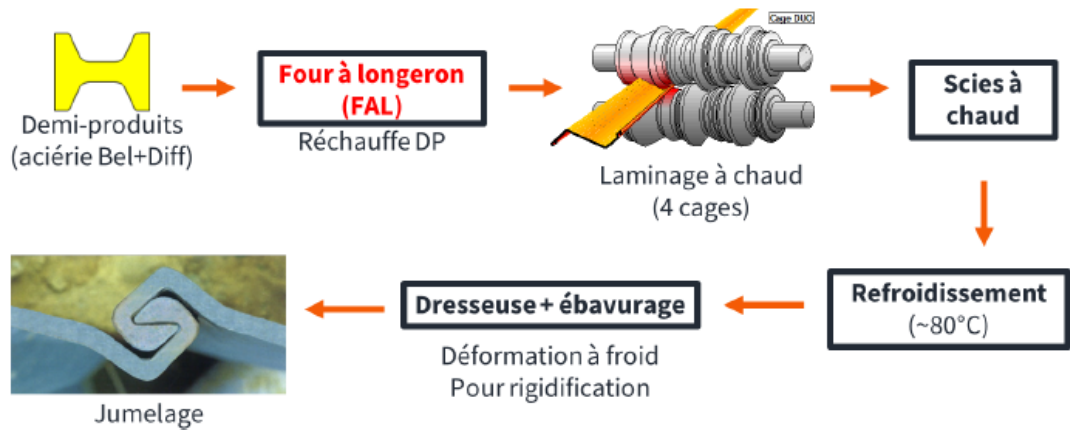


Figure 6: Processus de transformation du train 2

## Produits

Pour la production de ses palplanches, le train 2 se fournit principalement en demi-produit auprès de l'aciérie de Differdange. Le site de Belval n'est en effet pas capable de produire les BB1 nécessaires au laminage de nombreux profils de palplanches.

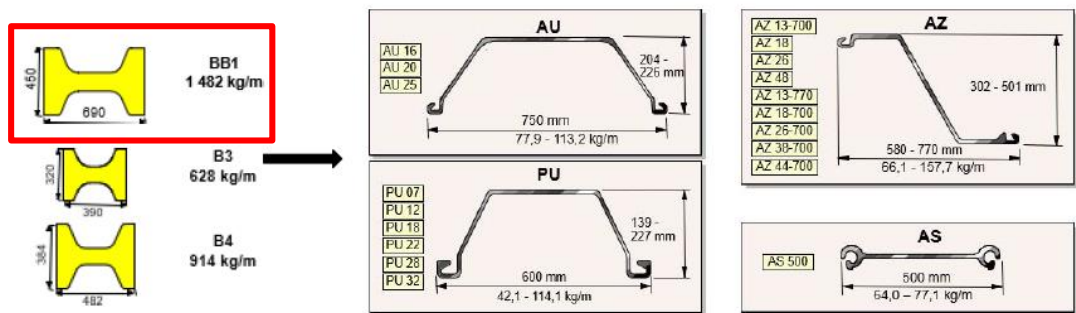


Figure 7: Profils des palplanches fabriquées au Train 2

## Le site de Differdange

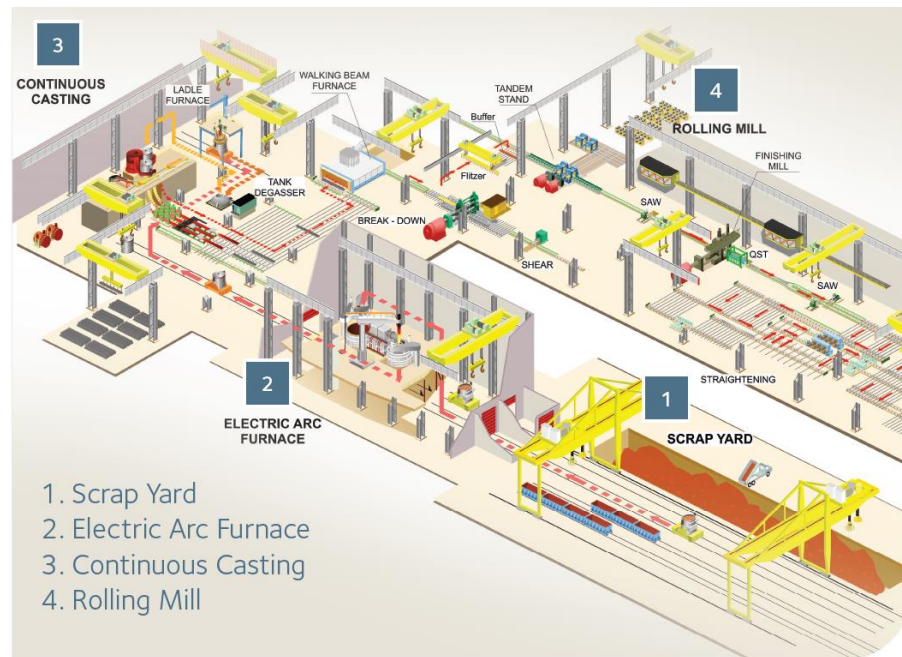


Figure 8: Layout du site de Differdange

Le processus de coulée de demi-produits commence par la fonte de la mitraille dans le four électrique. Une fois les 1600°C dépassés, le métal en fusion est transféré dans un four poche où la composition et la température du mélange sont ajustées. Le mélange est ensuite coulé dans des « brins » à la coulée continue, coulée au cours de laquelle le métal se solidifie. Les demi-produits sont ensuite découpés et reçoivent leur fiche d'identification pour envoi. Certains des demi-produits sont directement transformés au laminoir du site pour produire des poutres.

## 2. Des fissures à détecter

### 2.1. Contexte et présentation générale du problème

Ce projet de détection de fissure sur les palplanches entre dans le cadre de l'amélioration continue de la qualité des produits d'ArcelorMittal. La figure 9 récapitule l'ensemble des défauts pouvant apparaître lors de la production de palplanches au Train 2. Le défaut de fissure est de type « aciérie », code défaut 2.

## « Détection des fissures sous la griffe courbe des palplanches » FISE 2023

Type	Code	Nom du défaut	Type	Code	Nom du défaut	Type	Code	Nom du défaut	
Géométrie	11	Angle griffe courbée	Surface	1	Repliures	Forme	33	Tête courbée	
	12	Trop mince		3	Paille		37	Bout endommagé	
	13	Chambre "eng"		5	Languettes		41	Bavure de coupe	
	14	Ouverture griffe "schmal"		7	Déchirures		44	Bosse de la scie	
	15	Largeur bourrelet - "Knoten Schmal"		8	Calamine		45	Tête courbée cause finissage	
	24	Ouverture griffe "offnung weit"		30	Empreinte mécanique	Dressage	40	Rupture dresseuse	
	25	Largeur bourrelet - "knoten breit"		31	Empreinte ripeur		42	Bosse lors du dressage	
	32	Ondulation "wellen"		50	Ficelle		49	Rectitude	
	34	Manque de remplissage		Aciérie	2		Fissure		
	35	Bec de perroquet						9	Creux

Figure 9: Défectologie au Train 2

Ce défaut se traduit par la présence de fissure plus ou moins rectilignes sur la griffe courbe de palplanches.



Figure 10: Fissures sous griffe courbe

S'il ne pose pas de problème d'un point de vue mécanique, l'envoi de palplanches fissurées résulte souvent en une réclamation de la part des clients. Cela a donc un impact non négligeable sur l'image de marque d'ArcelorMittal, qui résulte en un impact économique. Au cours de l'année 2020 et du début de l'année 2021, une « crack crisis » (ou crise de fissure) a eu lieu résultant en de nombreuses réclamations sur de gros volumes. C'est à la suite de cette crise qu'il a été décidé de mettre en place un système de détection des fissures au Train 2.

Ce défaut est spécifique aux profils AL, AM et AZ. Les réclamations de la « crack crisis » ont principalement porté sur l'AL50, mais d'autres profils tels que l'AZ18 ont aussi été impactés.

« Détection des fissures sous la griffe courbe des palplanches » FISE 2023

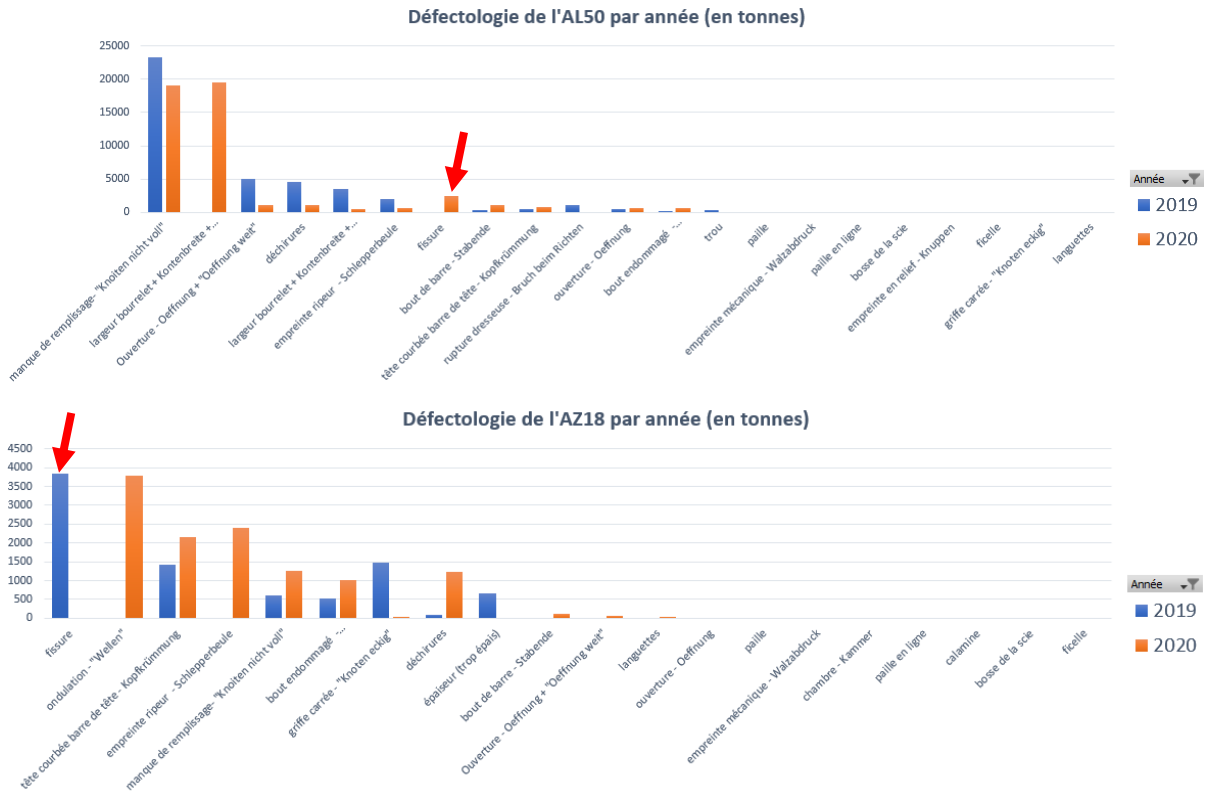


Figure 11: Défectologie de l'AL50 et de l'AZ18 en 2019 et 2020 (en tonnes)

2.2. Origine

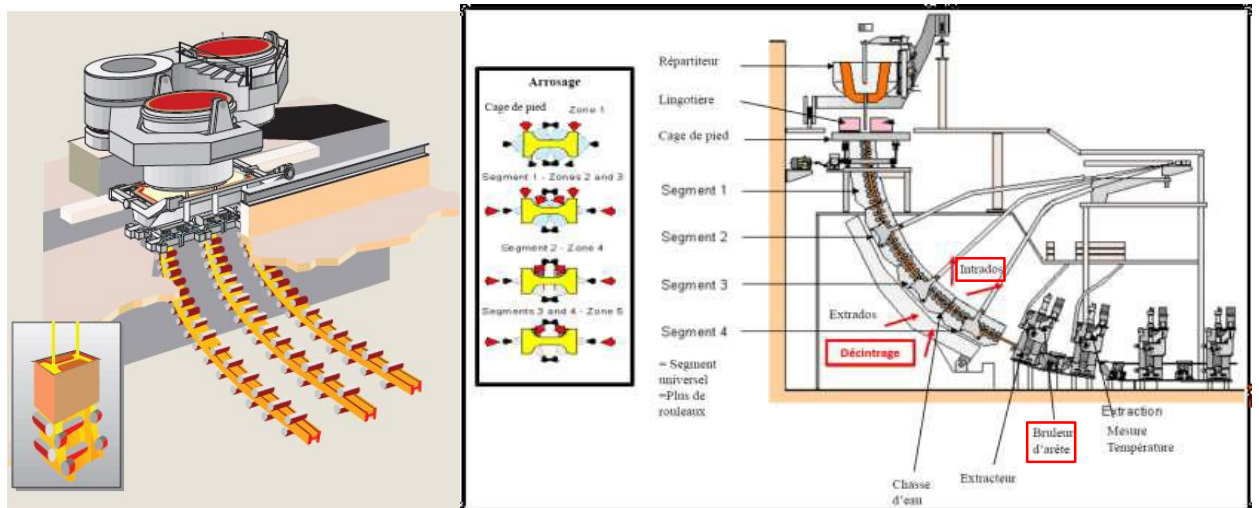


Figure 12: Coulée continue de Differdange

Lors de la coulée continue a lieu une phase de décintrage où le produit passe de la verticale à l'horizontale. A cette étape le métal a d'ores et déjà commencé à se solidifier, et des fissures peuvent donc apparaître à

cause de la déformation. Ces fissures se forment sur l'intrados du demi-produit, et se retrouvent sur le produit fini après laminage.

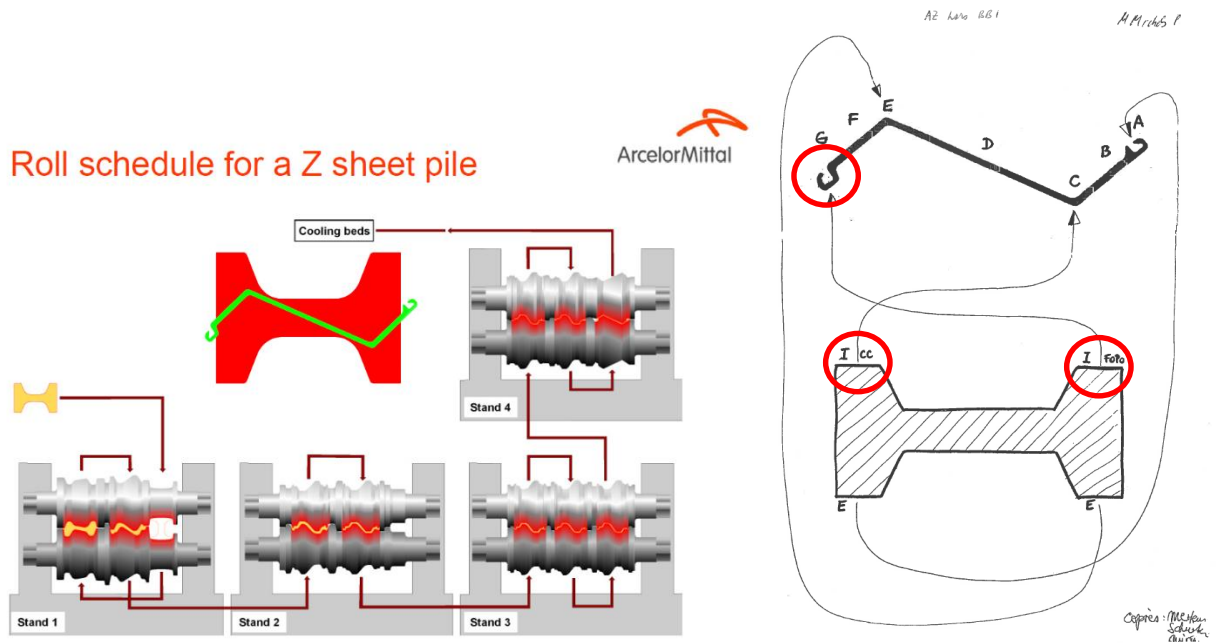


Figure 13: Schéma de passe des profils AL/AZ/AM

Le bloc est retourné lors de son refoulement à la première cage de laminage. La correspondance entre le demi-produit et la palplanche en sortie est donné à droite de la Figure 13. L'intrados, noté I sur le demi-produit, forme la griffe courbée en G sur la palplanche.

Afin de limiter l'apparition de fissures lors du décintrage, des brûleurs d'arrêt sont installés en fin de coulée continue. Ceux-ci ont pour objectif de réchauffer l'intrados des futurs demi-produits afin de limiter l'apparition de fissures lors du refroidissement. Si cette solution diminue l'apparition de fissures, le problème n'est cependant pas totalement résolu et il est donc nécessaire de pouvoir détecter d'éventuelles fissures que les brûleurs d'arrêt n'auraient pas pu empêcher.

### 2.3.Expression Fonctionnelle du Besoin

La caméra doit pouvoir détecter les fissures d'une longueur supérieure à 30mm et d'une largeur supérieure à 0.5mm présentes sous les griffes courbes des palplanches. Cette détection doit pouvoir se faire sur tous les profils concernés et donc pouvoir s'adapter aux changements de position de la zone d'intérêt. La détection doit aussi être faisable lorsque la palplanche est en mouvement afin de ne pas ralentir le flux.

### 2.4.Contraintes de conception

L'environnement du laminoir du train 2 impose de fortes contraintes. La première est la forte présence de dépôt de calamine, qui peut rapidement obstruer la vue de la caméra sur la barre voir abimer la caméra. Un système de protection et nettoyage devra donc être mis en place. La chaleur ambiante (due à la température

des barres) est aussi une composante importante à prendre en compte afin de dimensionner le système de refroidissement. Enfin la caméra doit être intégrée à une installation existante. L'ensemble des éléments devra donc être le plus compact possible pour pouvoir s'intégrer dans un espace restreint.

### 3. Description technologique de la solution

#### 3.1. Présentation

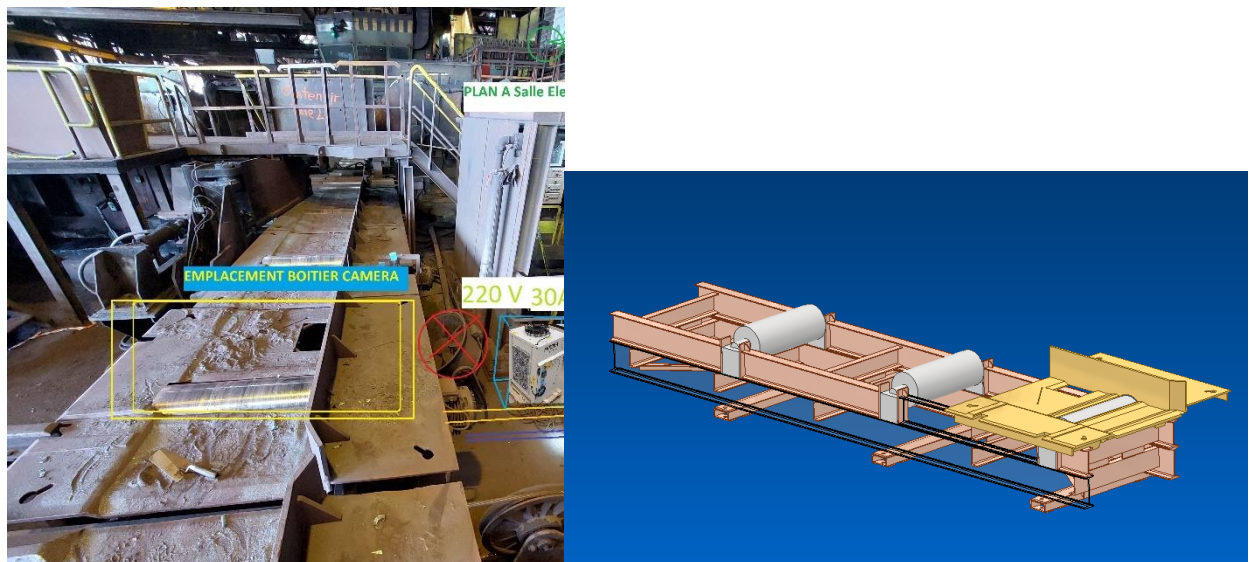


Figure 14: Position de la solution

La solution finale sera installée sous le train de rouleau de la scie

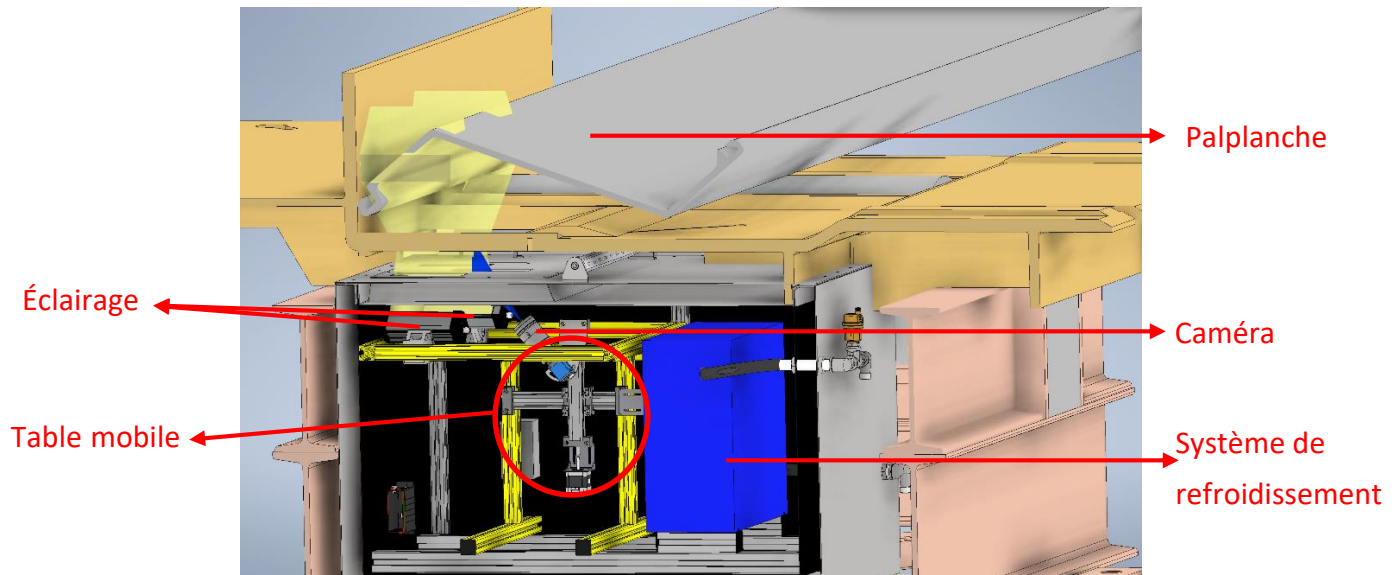


Figure 15: Modèle 3D de la solution

La solution retenue a été de mettre tous les composants dans un unique boîtier sur pied rétractables. La partie supérieure du boîtier sera trouée afin de mettre en place un plexiglas au-dessus de la partie « vision » et qui sera nettoyable par lame d'air. La partie « vision » est composée de deux éclairages et d'une caméra montée sur une table pouvant se déplacer en translation selon deux axes (vertical et gauche-droite). L'intégralité du boîtier est enfin refroidie par fluide caloporteur.

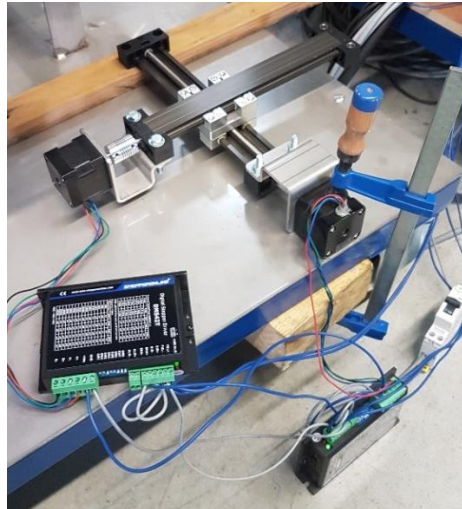


Figure 16: Table mobile

### 3.2. Justification des choix technologiques effectués

Une fois découpées, les palplanches passent environ 2h sur les refroidisseurs avant de passer à la dresseuse. Si un contrôle est effectué sur les refroidisseurs, le griffe courbe n'y est pas visible car sous la palplanche. Le contrôle des griffes ne peut alors être effectué qu'après le passage en dresseuse en retournant les barres. Le délai entre la fin du laminage de la barre et la détection du défaut est alors assez important et plusieurs autres barres ont le temps d'être produite avec autant de risque qu'elles présentent aussi des fissures. Afin de réduire ce délai au maximum, l'implantation du système de détection de fissures se fera sous le train de rouleau de la scie.

Le système se situant sous un trou dans le train de rouleau, tous les composants seront à l'intérieur d'un boîtier pour qu'ils ne soient pas endommagés dans le cas où une palplanche accrocherait dans le trou.

Le boîtier étant sous le train de rouleau et donc sous la palplanche, l'utilisation d'une caméra seule peut être compliquée compte-tenu de l'obscurité. C'est pourquoi un éclairage est prévu dans le boîtier. Afin de faciliter la détection de la fissure, l'éclairage sera le plus rasant possible et le plus puissant possible avec l'espace disponible. Enfin, deux lumières seront installées de part et d'autre de la griffe. De cette façon le plat de la griffe courbe devrait être uniformément éclairé tandis que la griffe sera noire à cause de l'ombre créée par les éclairages.



Si l'éclairage peut être fixe, il faut que la caméra puisse se déplacer afin d'avoir le meilleur angle de vue possible sur la griffe et ce quel que soit le profil. C'est pourquoi la caméra sera montée sur une table mobile avec éventuellement une possibilité d'ajouter un mouvement angulaire de la caméra suivant la normale de la table.

Enfin compte tenu des conditions extérieures, le boîtier devra avoir un système de refroidissement adapté et la partie vision ne devra pas être perturbée par la présence de calamine, très présente sur le site. Un système de refroidissement par fluide caloporteur ainsi qu'une lame d'air pour nettoyer le plexiglas devront donc être inclus.

## 4. Choix de composants

L'étude suivante portera sur la partie « vision » du système.

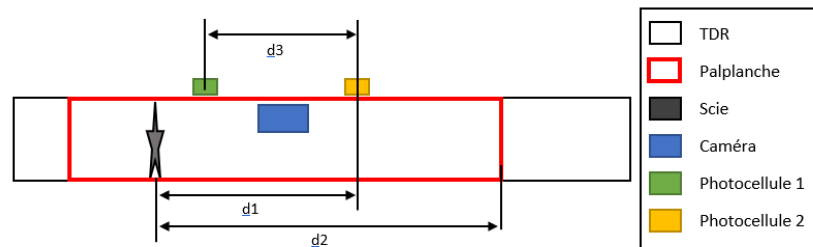


Figure 17: Schéma de positionnement du système

Pour le dimensionnement, il pourra être utile de distinguer deux cas :

- $d2 > d1$  : durant le sciage, la photocellule 2 captera la présence de la palplanche (cas 1)
- $d2 < d1$  : durant le sciage, la photocellule 2 ne captera pas la présence de la palplanche (cas 2)

Les entrées du dimensionnement sont :

- Vitesse d'avancée de  $v=3$  m/s max
- Longueur de palplanche de  $L=6$  à  $32$ m
- Distance caméra-griffe de  $D=350$  à  $500$  mm
- Temps de découpe de la scie  $t_{coupe}=15$  à  $30$ s

Or le temps de passage de la palplanche est  $t_{pass}=L/v$ , donc  $t_{pass}=2$  à  $11$ s

L'éclairage qui a été choisi a pour avantage de pouvoir être utilisé en *overdrive*. (Document constructeur en annexe)

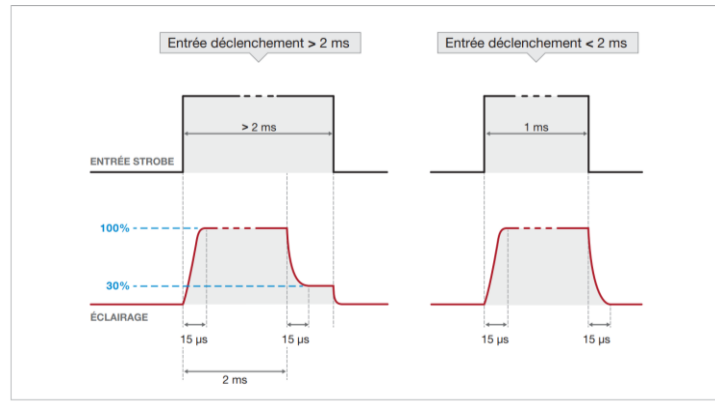


Figure 18: Schéma de positionnement du système

En allumant l'éclairage moins de 2ms, il est possible d'obtenir un éclairage trois fois plus puissant qu'en utilisation continue. Cela contraint cependant la caméra à n'être ouverte que lorsque l'éclairage est allumé. On a donc de plus  $t_{ouv} < 2ms$ .

La documentation technique indique aussi un temps d'allumage de l'éclairage de 15µs. A chaque allumage il y aura donc  $3 * 15 = 45µm$  de palplanche qui ne sera pas éclairé avant de sortir du champ de vision de la caméra, ce qui est acceptable par rapport à la longueur des fissures à détecter, de l'ordre de la dizaine de millimètres.

Note : Les calculs suivants utiliseront les valeurs de la caméra et de l'objectif qui ont été choisis à l'issue de l'étude, la Alvium 1800 U-508m/c avec un objectif de longueur focale 25mm. Une étude préliminaire ayant d'ores et déjà réduit le nombre de caméras et d'objectifs possibles à deux, les calculs pour les trois configurations non retenues sont en annexe (seules les valeurs utilisées changent, les calculs restent identiques)

La caméra choisie a une fréquence d'échantillonnage maximale  $f_{ech,max} = 65Hz$ , soit  $T_{ech,min} = 15.4ms$ . On obtient donc le chronogramme suivant :

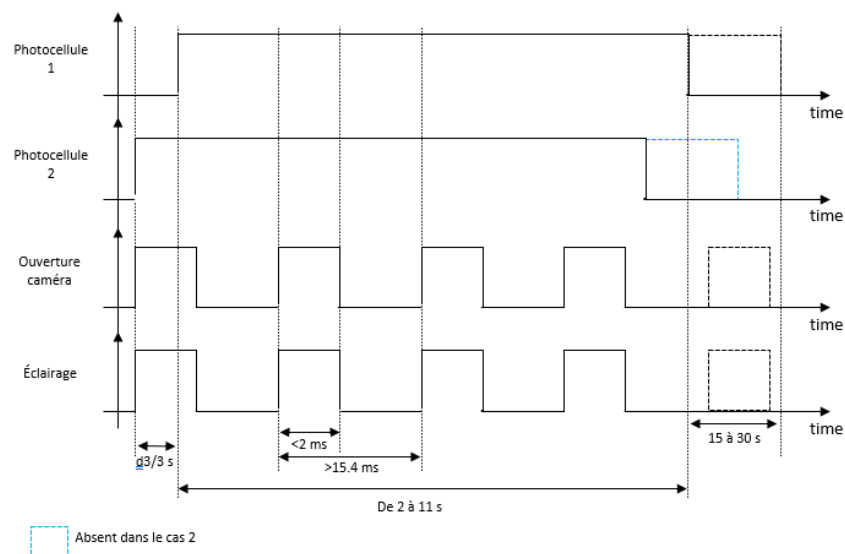


Figure 19: Chronogramme

L'étude préliminaire avait déterminé que la longueur focale serait de 25mm ou de 35mm. Afin de faire le choix, la table suivante donne la dimension du champ de vision en fonction de la distance et de la focale. On remarque que H et V sont assez proches d'être proportionnels à la distance caméra/objet et à la longueur focale pour pouvoir utiliser le modèle proportionnel afin d'estimer le champ de vision pour une distance caméra/objet de 350mm

Alvium 1800 U-507m/c, 1800 U-508m/c

Values apply to 1800 U-507m/c and 1800 U-508m/c cameras Type 2/3 (11.1 mm diagonal) sensors.

Focal length [mm]	Field of view (H x V in [mm])	
	Object distance = 500 mm	Object distance = 1000 mm
6	700 x 584	1408 x 1175
8	523 x 436	1054 x 880
12	346 x 288	700 x 584
16	257 x 215	523 x 436
25	162 x 135	332 x 277
35	113 x 94	234 x 196
50	77 x 64	162 x 135

Table 75: Focal length versus field of view for Alvium 1800 U-507m/c and 1800 U-508m/c

Figure 20: Champ de vision en fonction de la longueur focale

On placera la caméra de sorte que H soit dans le sens de la longueur de la palplanche.

On alors  $H_{\min}=3.5*162/5 = 113\text{mm}$  (lorsque la distance caméra/objet est de 350mm) et  $H_{\max}=162\text{mm}$  à 500mm.

#### 4.1.Fréquence d'échantillonnage

La période minimale d'échantillonnage à avoir afin de voir toute la palplanche sans recouvrement est donc  $T_{\text{ech},\min}=H_{\min}/v=113/3=37,7\text{s}$  et  $f_{\text{ech},\max}=1/T_{\text{ech},\min}=26.5\text{Hz}$  On a bien  $26,5 < 65$ , la caméra est donc capable d'assurer cette fréquence d'échantillonnage.

L'autre caméra possible, la Alvium 1800 U-1236m/c a pour fréquence max 22Hz et nécessite une fréquence d'échantillonnage de 22,7Hz pour une longueur focale de 35mm et 15,9Hz pour une longueur focale de 25mm. Afin de se garder la possibilité de choisir la focale et d'avoir une marge fréquentielle plus importante (pour effectuer de la prise d'image avec recouvrement par exemple), il a été choisi d'utiliser la Alvium 1800 U-508m/c.

#### 4.2.Largeur détectable

Le capteur de la caméra a pour dimension 8,5mm par 7,1mm et les pixels ont pour côté 3,45µm. On trouve donc que le capteur est composé de  $1000*8,5/3,45=2464$  par  $1000*7,1/3,45=2057$  pixels.

Un pixel correspond donc à un carré de côté  $0,113/2464=46\mu\text{m}$  ( $D=350\text{mm}$ ) ou  $0,162/2464=66\mu\text{m}$  ( $D=500\text{mm}$ ). La largeur minimale de fissure à détecter est de  $0.5\text{mm}$ , ce qui correspond donc à 11 pixels ( $D=350\text{mm}$ ) ou 7 pixels ( $D=500\text{mm}$ ). La fissure sera donc discernable par la caméra. Avec une longueur focale de  $35\text{mm}$ , les  $0.5\text{mm}$  de fissure à détecter correspondent à 15 pixels ( $D=350\text{mm}$ ) ou 11 pixels ( $D=500\text{mm}$ ), ce qui reste détectable.

### 4.3.Motion blur

Pour ces calculs on prendra une ouverture de  $100\mu\text{s}$ . La distance parcourue pendant ce temps est donc de  $d_{\text{mouv},100} = 3*0,0001 = \mathbf{0,0003\text{m}}$ . Le motion blur est directement proportionnel au temps d'ouverture. On considère un mouvement purement dans le sens de la longueur de la palplanche. Une image est acceptable en -dessous de 6 pixels de motion at sensor.

#### D=350mm

Distance parcourue par rapport au champ de vision :  $d_{\text{mouv},100}/H_{\text{min}} = 0,0003 / 0,113 = 0,00265$ .

Ramené au capteur, motion at sensor :  $m=0,00265*8,5= 0,0226\text{mm}$  soit 6,55 pixels

#### D=500mm

Distance parcourue par rapport au champ de vision :  $d_{\text{mouv},100}/H_{\text{max}} = 0,0003 / 0,162 = 0,00185$ .

Ramené au capteur, motion at sensor :  $m=0,00185*8,5= 0,0157\text{mm}$  soit 4,56 pixels

Pour  $250\mu\text{s}$  (limite d'échantillonnage des caméras), on trouve donc un **cercle de confusion entre  $4.56*2.5= 11,4$  pixels ( $D=500\text{mm}$ ) et  $6.55*2.5= 16,4$  pixels ( $D=350\text{mm}$ )**. L'image sera donc un peu floue mais la fissure reste détectable. Pour la focale de  $35\text{mm}$ , on trouve un cercle de confusion entre 16,4 pixels ( $D=500\text{mm}$ ) et 23,4 pixels ( $D=350\text{mm}$ ). Ces valeurs étant assez élevées, on diminuera au maximum l'effet de flou de mouvement en choisissant une longueur focale de  $25\text{mm}$ , quitte à rajouter du flou à l'image lors du traitement.

## 5. Traitement d'image

La caméra et l'objectif ayant été choisis, une prise d'image d'essai a pu être réalisée en laboratoire.

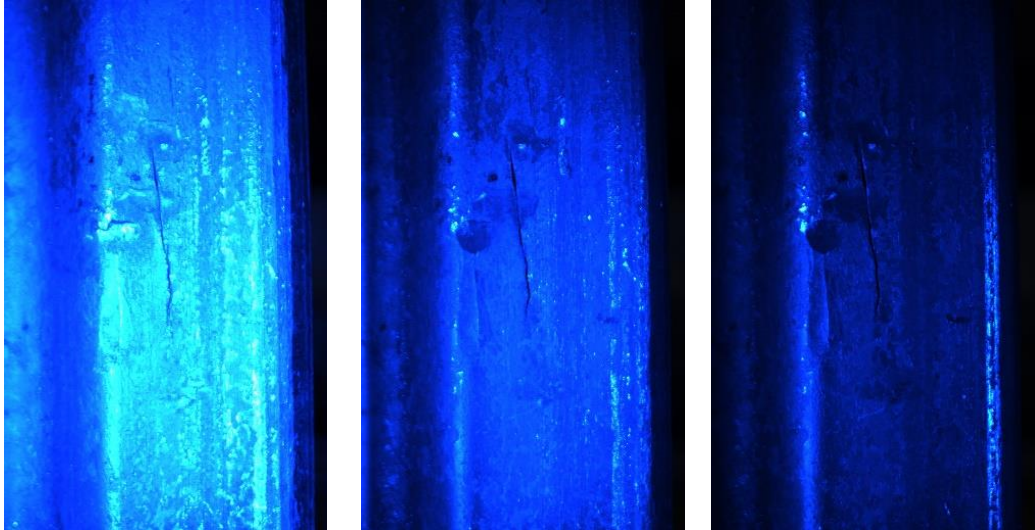


Figure 21: Images prises en laboratoire

Le choix a été fait d'éclairer en bleu afin de limiter l'impact des rayonnements infrarouges sur le traitement d'images. Les calculs précédents ayant permis de déterminer la valeur du flou de mouvement, celui-ci sera ajouté au début du traitement d'image afin de simuler le mouvement.

### 5.1.Niveau de gris

La première étape du traitement d'image est de passer l'image en couleur en niveau de gris. Pour se faire plusieurs solutions sont possibles. Deux ont été retenues : prélever une couleur et utiliser la méthode `COLOR_RGB2GRAY` de `cv2` (appelé « auto » dans la figure suivante).

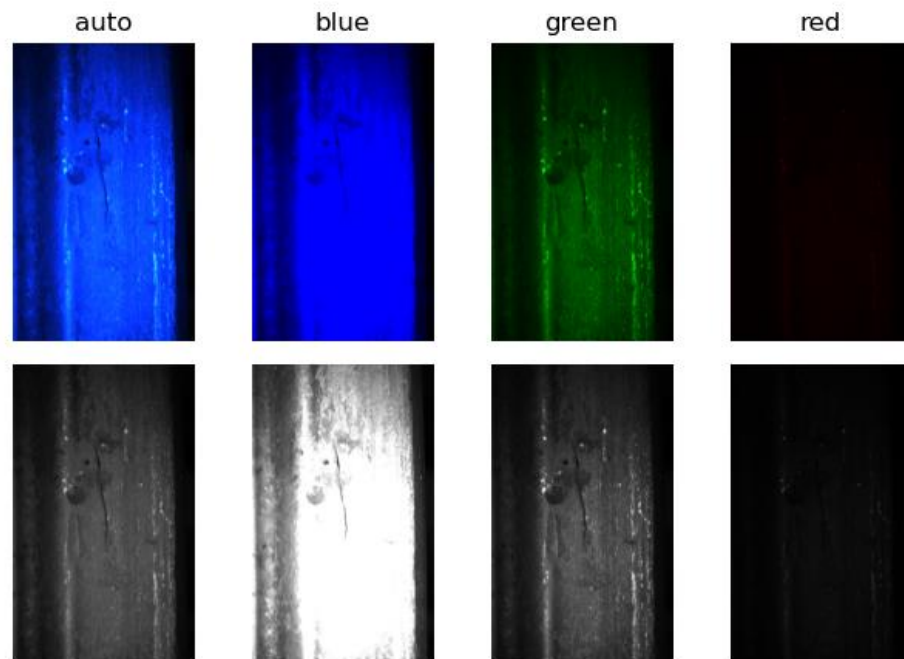


Figure 22: Passage de l'image en niveaux de gris

Si la méthode de cv2 et la sélection donnent un résultat similaire, la sélection du bleu offre le meilleur contraste entre la fissure et le reste de la palplanche. On choisit donc de prélever le bleu.

## 5.2. Binarisation

La binarisation se fera par seuillage. On peut alors effectuer le seuillage de manière automatique, avec la méthode d'OTSU par exemple, ou manuellement à l'aide d'une trackbar.

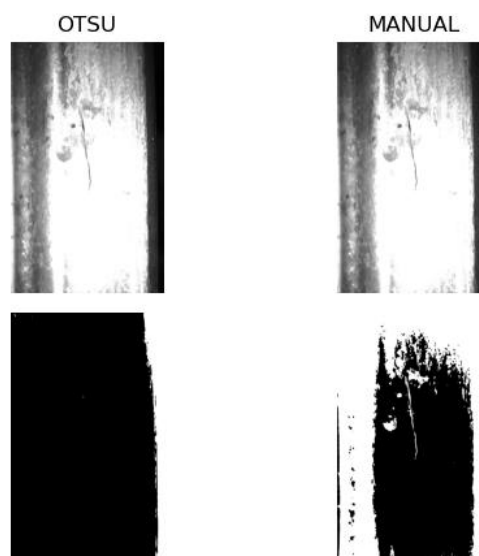


Figure 23: Passage de l'image en niveaux de gris en binaire

La palplanche n'occupant pas toute l'image, une zone sombre « fausse » la méthode d'OTSU. Il est cependant difficile de supprimer cette zone sombre car toutes les palplanches ne sont pas exactement au même endroit et cette zone peut changer de largeur. On seuillera donc l'image manuellement.

### 5.3.Détection de fissure

Afin de limiter les fausses détections de fissures dues à des points sombres, on applique une fermeture à l'image binarisée. La fissure étant majoritairement longitudinale, le choix d'un élément structurant plus long dans le sens de la longueur de la palplanche que dans celui de la largeur évitera de faire disparaître la fissure lors de la fermeture. Ce choix permettra aussi de relier les différentes parties d'une même fissure qui peuvent apparaître lors du seuillage.

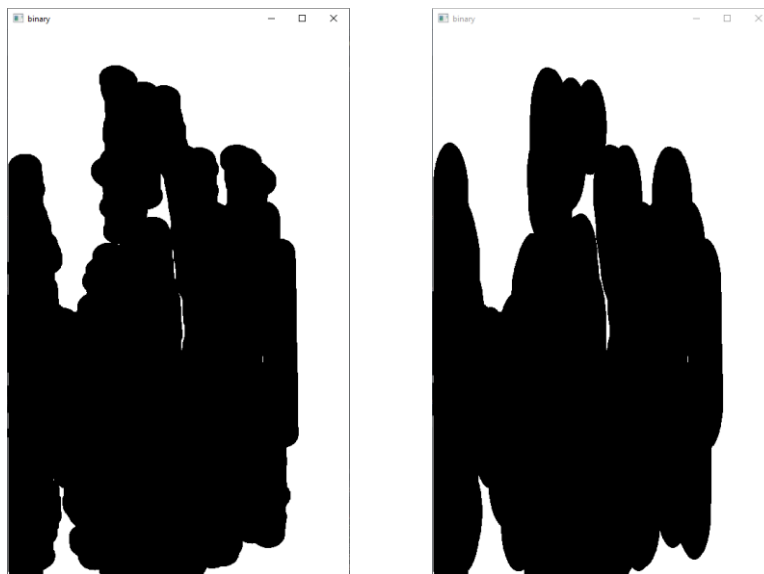


Figure 24: Fermeture pour différents éléments structurants

Une fois l'élément structurant correctement choisi, il est possible de détecter la fissure et d'obtenir sa dimension grâce à la méthode findContours de cv2.

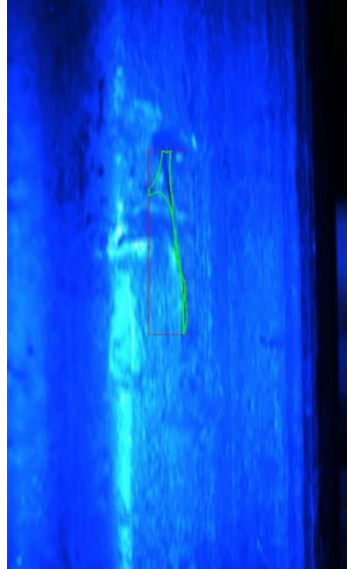


Figure 25: Fissure détectée

Il est ainsi possible de récupérer la dimension du rectangle rouge en pixels, 653 pixels dans notre exemple. Connaissant la distance  $D$  (caméra/griffe) et le nombre de pixels du capteur, on peut estimer la longueur de la fissure. Dans notre cas  $D=315\text{mm}$  donc  $H=102\text{mm}$ . Un produit en croix nous donne ici une fissure de  $27\text{mm}$ , contre  $25\text{mm}$  mesurés à la règle.

Cet écart peut s'expliquer par la présence du flou de mouvement. Ce flou étant majoritairement dans le sens de la longueur de la palplanche, il aide à la détection de fissure car il a tendance à rendre moins visible les points sombres et à rendre plus visible les fissures. Il fausse cependant la mesure car il rend la fissure plus longue qu'elle ne l'est. Dans notre exemple le flou était calculé sur 30 pixels pour faciliter la détection, c'est-à-dire 15 pixels de chaque côté. Ces 30 pixels correspondent à  $1,24\text{ mm}$  ce qui permet d'estimer que le traitement d'image mesure une fissure de  $25,8\text{mm}$  ce qui se rapproche assez de la réalité des  $25\text{mm}$  pour valider le traitement d'image sur cet échantillon.

## 6. La suite

### 6.1. Après la détection : la traçabilité

Si la détection des fissures permet de sortir les barres endommagées du flux avant envoi, elle ne permet pour le moment pas de régler le problème à la source. En effet la détection de fissure s'effectue à la fin du laminage alors que l'origine du problème se situe avant même la réception des demi-produits au Train 2. Il est donc nécessaire de pouvoir assurer un suivi depuis la coulée continue de Differdange jusqu'à la scie du Train 2.

Dans le fonctionnement actuel, les Beam Blanks du Train 2 sont identifiables par leur numéro de coulée (une coulée contenant environ 20 Beam Blanks) et par leur longueur. Ce dernier paramètre n'est toutefois pas



assez discriminant car plusieurs Beam Blanks d'une même coulée peuvent avoir la même longueur, ou des longueurs assez proches pour ne pas être distinguables depuis un pont. C'est pourquoi chaque demi-produit se voit attribué un numéro unique appelé IPS avant d'entrer dans le four à longerons et qui permet de le suivre jusqu'à la scie à chaud.

Si ce numéro est suffisant pour le Train 2, une information supplémentaire est nécessaire pour mettre en place la traçabilité depuis le site de Differdange. Dans le cadre de la détection de fissures, il pourrait en effet être intéressant d'avoir l'information du brin d'où proviennent les demi-produits défectueux. Une partie de ce projet a donc porté sur la mise en place de cet aspect de la traçabilité. À la suite d'une visite sur le parc à Beam Blanks du Train 2, il est apparu qu'un numéro appelé « BB ID » était marqué sur les demi-produits.

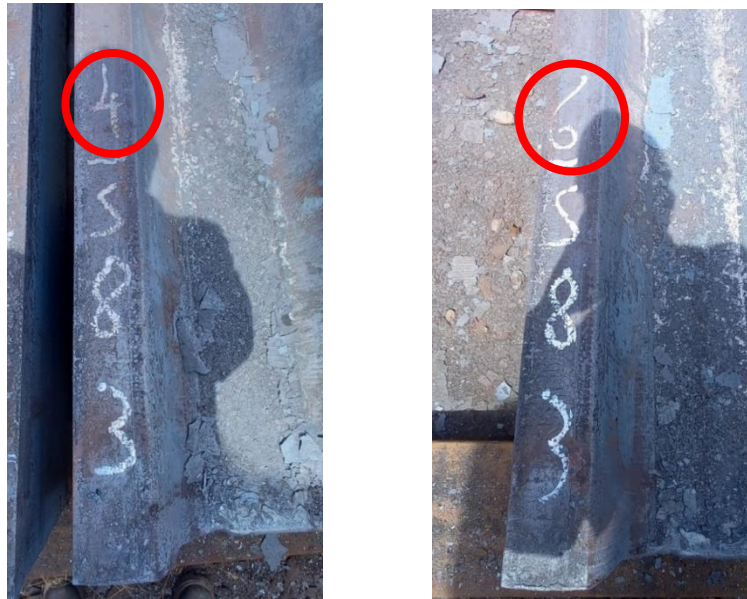


Figure 26: BB ID dans le parc

Ce numéro, présent sur le flanc des Beam Blanks l'identifie au sein de sa coulée. La combinaison de ce nombre et du numéro de coulée permet donc de distinguer tous les Beam Blanks. Cette combinaison étant déjà en place au laminoir du site de Differdange, un projet d'ajout de ce « BB ID » au Train 2 sur la base du système de Differdange est en cours. La saisie se ferait au moment du transport des demi-produits depuis le parc vers le handling du four à longerons, saisie effectuée par le pontier ou l'opérateur de la cabine du four en communication avec le pontier.

Il restera néanmoins à fiabiliser le marquage de ce numéro afin que le projet puisse être efficace. Si un robot de marquage capable de marquer tous les Beam Blanks est présent sur le site de Differdange, celui peut être en panne. Dans ce cas le marquage est manuel et environ la moitié des demi-produits ne sont pas numérotés.

## 6.2.Next steps

La réception du boîtier complet et son installation sur ligne sont prévues pour début octobre. Une campagne de prise d'image pourra donc être effectuée afin d'ajuster au mieux le traitement d'image.

Une évolution du système serait que l'automate sache quelle palplanche passe devant la caméra. Cela permettrait de donner des paramètres au traitement d'image en fonction du profil pour le rendre plus efficace. Dans un objectif de fiabilisation de la traçabilité, cela permettrait aussi de relever automatiquement les identifiants des barres défectueuses et de les inscrire comme telles dans les différentes bases de données.

## Conclusion

Mon stage au sein du train 2 d'ArcelorMittal Belval a permis de valider le choix des composants nécessaires à la détection de fissure, enjeu important pour permettre à l'entreprise de proposer les meilleurs produits possibles. Un travail a aussi été effectué sur la gestion qualité du site afin d'assurer un meilleur suivi des produits.

L'implantation du système reste à effectuer afin d'effectuer les premières mesures sur site. Un modèle définitif pourra si besoin ensuite être développé pour être diffusé à plus grande échelle à travers le groupe.

## Références Bibliographiques

### Table des figures

Figure 1: Historique des fusions / acquisitions d'ArcelorMittal.....	7
Figure 2: Organigramme du groupe ArcelorMittal .....	8
Figure 3: Le site d'Esch-Belval.....	8
Figure 4: Layout du site d'Esch-Belval.....	9
Figure 5: Layout du Train 2 .....	9
Figure 6: Processus de transformation du train 2 .....	10
Figure 7: Profils des palplanches fabriquées au Train 2 .....	10
Figure 8: Layout du site de Differdange.....	11
Figure 9: Défectologie au Train 2.....	12
Figure 10: Fissures sous griffe courbe.....	12
Figure 11: Défectologie de l'AL50 et de l'AZ18 en 2019 et 2020 (en tonnes) .....	13
Figure 12: Coulée continue de Differdange .....	13
Figure 13: Schéma de passe des profils AL/AZ/AM .....	14
Figure 14: Position de la solution.....	15
Figure 15: Modèle 3D de la solution.....	15
Figure 16: Table mobile .....	16
Figure 17: Schéma de positionnement du système.....	17
Figure 18: Schéma de positionnement du système.....	18

Figure 19: Chronogramme .....	18
Figure 20: Champ de vision en fonction de la longueur focale .....	19
Figure 21: Images prises en laboratoire.....	21
Figure 22: Passage de l'image en niveaux de gris.....	22
Figure 23: Passage de l'image en niveaux de gris en binaire.....	22
Figure 24: Fermeture pour différents éléments structurants .....	23
Figure 25: Fissure détectée.....	24
Figure 26: BB ID dans le parc .....	25

## Annexes

## Annexe 1 : Rapport d'évaluation



### RAPPORT D'EVALUATION ASSESSMENT REPORT

Merci de retourner ce rapport par courrier ou par voie électronique en fin du stage à :  
At the end of the internship, please return this report via mail or email to:

ENSTA Bretagne - Bureau des stages - 2 rue François Verny - 29806 BREST cedex 9 - FRANCE  
■ 00.33 (0) 2.98.34.87.70 / [stages@ensta-bretagne.fr](mailto:stages@ensta-bretagne.fr)

#### I - ORGANISME / HOST ORGANISATION

NOM / Name Arcelec Mittal Salva

Adresse / Address Arcelec Mittal, site d'Esch Salva  
L-4008 Esch-sur-Alzette

Tél / Phone (including country and area code) 00352 661 073 098

Nom du superviseur / Name of internship supervisor  
DEHAN Gilbert

Fonction / Function Ingénieur Production

Adresse e-mail / E-mail address gilbert.dehan@arcelormittal.com

Nom du stagiaire accueilli / Name of intern  
**GODARG THAEL**

#### II - EVALUATION / ASSESSMENT

Veuillez attribuer une note, en encadrant la lettre appropriée, pour chacune des caractéristiques suivantes. Cette note devra se situer entre A (très bien) et F (très faible)  
Please attribute a mark from A (excellent) to F (very weak).

##### MISSION / TASK

❖ La mission de départ a-t-elle été remplie ? (A)BCDEF  
Was the initial contract carried out to your satisfaction?

❖ Manquait-il au stagiaire des connaissances ? ~~ABCDEF~~ X non/no  
Was the intern lacking skills?

Si oui, lesquelles ? / If so, which skills? \_\_\_\_\_

##### ESPRIT D'EQUIPE / TEAM SPIRIT

❖ Le stagiaire s'est-il bien intégré dans l'organisme d'accueil (disponible, sérieux, s'est adapté au travail en groupe) / Did the intern easily integrate the host organisation? (flexible, conscientious, adapted to team work) (A)BCDEF

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here Volontaire et engagé dans le cadre  
de ces activités.

**COMPORTEMENT AU TRAVAIL / BEHAVIOUR TOWARDS WORK**

Le comportement du stagiaire était-il conforme à vos attentes (Ponctuel, ordonné, respectueux, soucieux de participer et d'acquérir de nouvelles connaissances) ?

Did the intern live up to expectations? (Punctual, methodical, responsive to management instructions, attentive to quality, concerned with acquiring new skills)?

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here Très curieux et attaché à aller au bout des sujets qui lui sont confiés.

**INITIATIVE – AUTONOMIE / INITIATIVE – AUTONOMY**

Le stagiaire s'est-il rapidement adapté à de nouvelles situations ?

(Proposition de solutions aux problèmes rencontrés, autonomie dans le travail, etc.)

A B C D E F

Did the intern adapt well to new situations?

(eg. suggested solutions to problems encountered, demonstrated autonomy in his/her job, etc.)

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here Capacité à identifier le travail à réaliser, va au devant des demandes pour assurer la réussite.

**CULTUREL – COMMUNICATION / CULTURAL – COMMUNICATION**

Le stagiaire était-il ouvert, d'une manière générale, à la communication ?

Was the intern open to listening and expressing himself / herself?

A B C D E F

Souhaitez-vous nous faire part d'observations ou suggestions ? / If you wish to comment or make a suggestion, please do so here Très bon niveau de maîtrise pour continuer à progresser dans les futures missions. Bon communicant en français comme en anglais.

**OPINION GLOBALE / OVERALL ASSESSMENT**

La valeur technique du stagiaire était :

Please evaluate the technical skills of the intern: Très bon stage dans sa globalité

A B C D E F

**III - PARTENARIAT FUTUR / FUTURE PARTNERSHIP**

Etes-vous prêt à accueillir un autre stagiaire l'an prochain ?

Would you be willing to host another intern next year?  oui/yes  non/no

Fait à Esch sur Albion, le 26/08/2022  
In \_\_\_\_\_, on \_\_\_\_\_

Signature Entreprise  
Company stamp

Delga Gilbert  
[Signature]

Signature stagiaire  
Intern's signature

GODARD Maël  
[Signature]

Merci pour votre coopération  
We thank you very much for your cooperation

## Annexe 2 : Fiche technique Alvium 1800 U-508 m/c



### Alvium 1800 U-508m/c

Feature	Specification	
	1800 U-508m (monochrome)	1800 U-508c (color)
Sensor model	Sony IMX250LLR	Sony IMX250LQR
Resolution	2464 (H) x 2056 (V); 5.1 MP	
Sensor type	CMOS	
Shutter type	Global shutter (GS)	
Sensor size	Type 2/3; 8.5 mm x 7.1 mm; 11.1 mm diagonal	
Pixel size	3.45 μm x 3.45 μm	
CRA	0 deg	
ADC	12-bit	
Monochrome pixel formats	Mono8 (default), Mono10, Mono10p, Mono12, Mono12p	Mono8, Mono10, Mono10p, Mono12, Mono12p
YUV color pixel formats	Not applicable	YCbCr411_8_CbYYCrYY, YCbCr422_8_CbYCrY, YCbCr8_CbYCr
RGB color pixel formats	Not applicable	BayerRG8, BayerRG10, BayerRG10p, BayerRG12, BayerRG12p, BGR8, RGB8 (default)
Maximum image bit depth	12-bit	
Maximum frame rate	65 fps (at ≥375 MBps)	
Exposure time	176 μs to 10 s (at 450/375 MBps), 175 μs to 10 s (at 200 MBps)	
Image buffer (RAM)	256 KB	
Non-volatile memory (Flash)	1024 KB	
Gain	0 dB to 24 dB; 0.1 dB increments	
Binning	Horizontal: 1 to 8 columns; Vertical: 1 to 8 rows	
GPIOs	4 programmable GPIOs As direct inputs (push-pull): 0 to 5.5 VDC As direct outputs (push-pull): 0 to 3.3 VDC at 12 mA	
ExposureModes	Timed, TriggerControlled, TriggerWidth	
Power requirements	Power over USB; External power	
Power consumption (typical, at 5 VDC)	USB power: 2.9 W External power: 3.1 W	

Table 36: Alvium 1800 U-508m/c specifications (sheet 1 of 2)

Feature	Specification			
	1800 U-508m/c			
	Hardware option	Housing	Cooling areas <sup>1</sup>	Mainboard <sup>2</sup>
Operating temperature	Bare board <sup>3</sup>	Not applicable	+5 °C to +85 °C	+5 °C to +85 °C
	Open housing <sup>4</sup>	+5 °C to +65 °C		
	Closed housing	+5 °C to +65 °C	Not applicable	
Relative humidity	0% to 80% (non-condensing)			
Digital interface	Micro-B USB 3.1 Gen 1 interface			
Camera controls	GenICam V2.0 (GenICam Access)			
<sup>1</sup> See <a href="#">Mounting the heat sink</a> on page 168. <sup>2</sup> Output by <code>DeviceTemperature</code> <sup>3</sup> Ensure that the sensor is operated in the temperature range specified by the manufacturer. For any questions, please visit <a href="http://www.alliedvision.com/en/support">www.alliedvision.com/en/support</a> . <sup>4</sup> Temperature values must be observed for the housing <b>and</b> for the cooling areas.				

Table 36: Alvium 1800 U-508m/c specifications (sheet 2 of 2)

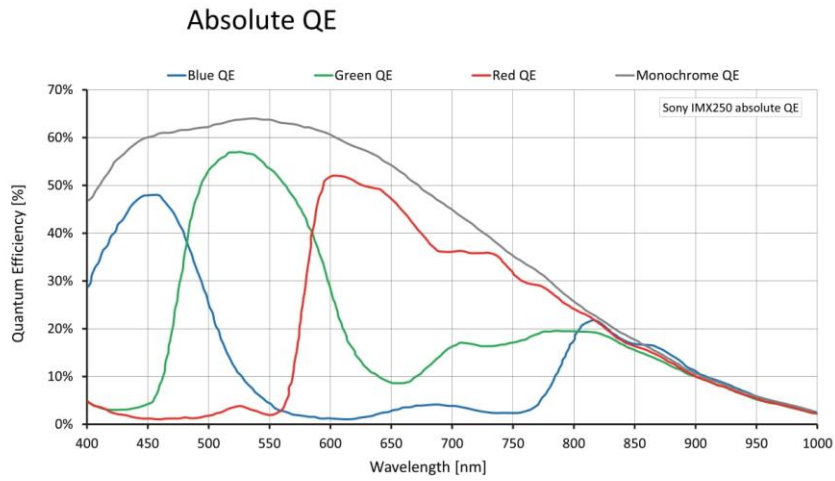


Figure 22: Alvium 1800 U-508m/c (Sony IMX250) absolute QE

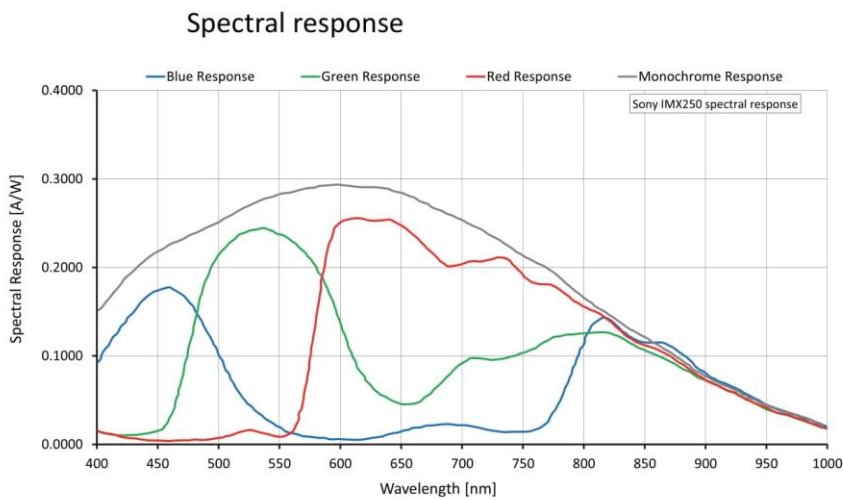


Figure 23: Alvium 1800 U-508m/c (Sony IMX250) spectral response



### ROI frame rates

Values were measured for **typical operation**, using the test setup defined in Exposure time and frame rate on page 51.

To reach the maximum frame rate available for typical operation, the bandwidth for image traffic is 375 MBps. Increasing the DeviceLinkThroughputLimit value does not increase frame rates.

Image format	Width [pixels]	Height [pixels]	ROI area [pixels]	Frame rate [fps]		
				450 MBps	375 MBps	200 MBps
Full resolution	2,464	2,056	5,065,984	65		37
QXGA	2,048	1,536	3,145,728	86		60
Full HD	1,920	1,080	2,073,600	120		89
UXGA	1,600	1,200	1,920,000	109		96
WXGA+	1,440	900	1,296,000	143		138
SXGA	1,280	1,024	1,310,720		127	
HD 720	1,280	720	921,600		175	
XGA	1,024	768	786,432		166	
SVGA	800	600	480,000		208	
VGA	640	480	307,200		254	
QVGA	320	240	76,800		451	
QQVGA	160	120	19,200		733	
Maximum × half	2,464	1,028	2,532,992	124		72
Maximum × minimum	2,464	8	19,712	1,185		888
Minimum × maximum	8	2,056	16,448		66	
Minimum × minimum	8	8	64		1,734	

Table 37: Alvium 1800 U-508m/c ROI frame rates

## Annexe 3 : Fiche technique Alvium 1800 U-1236 m/c

## Alvium 1800 U-1236m/c

Feature	Specification	
	1800 U-1236m (monochrome)	1800 U-1236c (color)
Sensor model	Sony IMX304	
Resolution	4112 (H) × 3008 (V); 12.4 MP	
Sensor type	CMOS	
Shutter type	Global shutter (GS)	
Sensor size	Type 1.1; 14.2 mm × 10.4 mm; 17.6 mm diagonal	
Pixel size	3.45 μm × 3.45 μm	
CRA	0 deg	
ADC	12-bit	
Monochrome pixel formats	Mono8 (default), Mono10, Mono10p, Mono12, Mono12p	Mono8, Mono10, Mono10p, Mono12, Mono12p
YUV color pixel formats	Not applicable	YCbCr411_8_CbYYCrYY, YCbCr422_8_CbYCrY, YCbCr8_CbYCr
RGB color pixel formats	Not applicable	BayerRG8, BayerRG10, BayerRG10p, BayerRG12, BayerRG12p, BGR8, RGB8 (default)
Maximum image bit depth	12-bit	
Maximum frame rate	22 fps (at ≥300 MBps)	
Exposure time	169 μs to 10 s (at 450/300 MBps), 180 μs to 10 s (at 200 MBps)	
Image buffer (RAM)	256 KB	
Non-volatile memory (Flash)	1024 KB	
Gain	0 dB to 24 dB; 0.1 dB increments	
Binning <sup>1</sup>	Horizontal: 1 to 8 columns; Vertical: 1 to 8 rows	
GPIOs	4 programmable GPIOs As direct inputs (push-pull): 0 to 5.5 VDC As direct outputs (push-pull): 0 to 3.3 VDC at 12 mA	
ExposureModes	Timed, TriggerControlled, TriggerWidth	
Power requirements	Power over USB; External power	
Power consumption (typical, at 5 VDC)	USB power: 2.9 W External power: 3.1 W	

<sup>1</sup>If vertical binning is set >1×, horizontal binning must be set to >1× as well.

Table 42: Alvium 1800 U-1236m/c specifications (sheet 1 of 2)

Feature	Specification			
	<b>1800 U-1236m/c</b>			
	Hardware option	Housing	Cooling areas <sup>1</sup>	Mainboard <sup>2</sup>
<b>Operating temperature</b>	Bare board <sup>3</sup>	Not applicable	+5 °C to +85 °C	+5 °C to +88 °C
	Open housing <sup>4</sup>	+5 °C to +65 °C		
	Closed housing	+5 °C to +65 °C	Not applicable	
Relative humidity	0% to 80% (non-condensing)			
Digital interface	Micro-B USB 3.1 Gen 1 interface			
Camera controls	GenICam V2.0 (GenICam Access)			
<sup>1</sup> See <a href="#">Mounting the heat sink</a> on page 168. <sup>2</sup> Output by <code>DeviceTemperature</code> <sup>3</sup> Ensure that the sensor is operated in the temperature range specified by the manufacturer. For any questions, please visit <a href="http://www.alliedvision.com/en/support">www.alliedvision.com/en/support</a> . <sup>4</sup> Temperature values must be observed for the housing <b>and</b> for the cooling areas.				

Table 42: Alvium 1800 U-1236m/c specifications (sheet 2 of 2)

Absolute QE

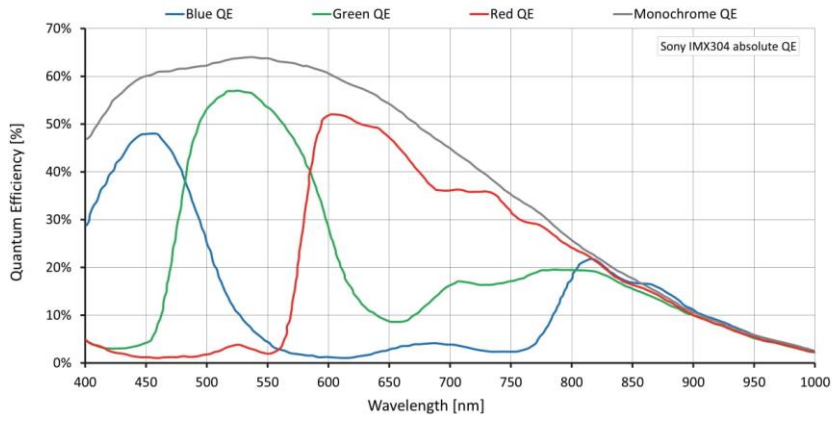


Figure 28: Alvium 1800 U-1236m/c (Sony IMX304) absolute QE

Spectral response

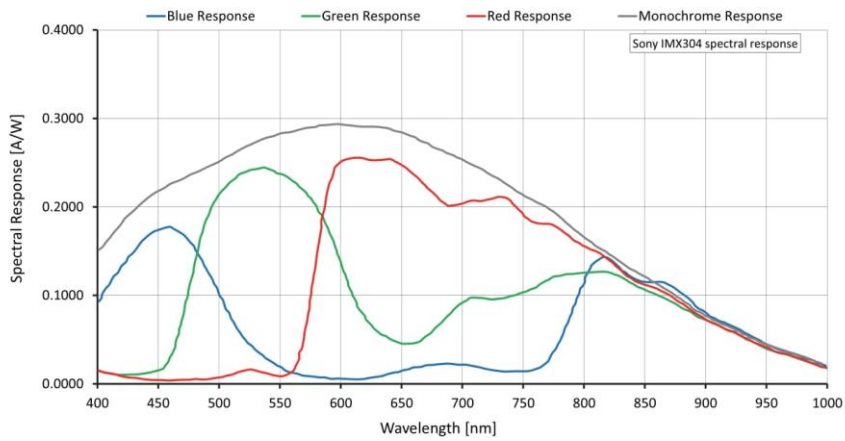


Figure 29: Alvium 1800 U-1236m/c (Sony IMX304) spectral response

### ROI frame rates

Values were measured for **typical operation**, using the test setup defined in Exposure time and frame rate on page 51.

To reach the maximum frame rate available for typical operation, the bandwidth for image traffic is 300 MBps. Increasing the DeviceLinkThroughputLimit value does not increase frame rates.

Image format	Width [pixels]	Height [pixels]	ROI area [pixels]	Frame rate [fps]		
				450 MBps	375 MBps	200 MBps
Full resolution	4,112	3,008	12,368,896	22		15
UHD 4K	3,840	2,160	8,294,400	31		23
QSXGA	2,560	2,048	5,242,880		33	
WQHD	2,560	1,440	3,686,400		46	
QXGA	2,048	1,536	3,145,728		44	
Full HD	1,920	1,080	2,073,600		61	
UXGA	1,600	1,200	1,920,000		55	
WXGA+	1,440	900	1,296,000		73	
SXGA	1,280	1,024	1,310,720		65	
HD 720	1,280	720	921,600		90	
XGA	1,024	768	786,432		85	
SVGA	800	600	480,000		106	
VGA	640	480	307,200		130	
QVGA	320	240	76,800		235	
QQVGA	160	120	19,200		392	
Maximum × half	4,112	1,504	6,184,448	44		30
Maximum × minimum	4,112	8	32,896	690		551
Minimum × maximum	8	3,008	24,064		23	
Minimum × minimum	8	8	64		1,030	

Table 43: Alvium 1800 U-1236m/c ROI frame rates

## Annexe 4 : Fiche technique éclairage Overdrive



## PRÉAMBULE

Cette notice comporte tous les conseils et précautions permettant l'installation et l'utilisation en toute sécurité du produit. TPL Vision se dégage de toutes responsabilités et annule l'effet de la garantie si l'un des points décrits dans cette notice n'était pas respecté.



## ■ DÉBALLAGE

Le produit est conditionné dans notre usine en utilisant les matériaux appropriés permettant un transport sans endommagement en France et à l'étranger par des moyens de transport habituels. Toutefois, l'endommagement du colis doit être signalé au transporteur à la réception du colis et stipulé par écrit à la réception de ce colis (sous forme de «réserve»). De plus, merci de le signaler par écrit à la société TPL VISION dans les plus brefs délais (24h à réception du colis). Tout colis endommagé lors du transport ne sera ni repris ni échangé si cela n'a pas été signalé sur le bon de transport et à la société TPL VISION dans les délais. Lors de l'ouverture du sachet contenant le produit, toute lame coupante est à proscrire afin de ne pas endommager le produit. L'ensemble des accessoires livrés avec le colis doit être utilisé si nécessaire (ne pas utiliser d'autres produits ou équivalents pour remplacer les accessoires fournis).

## ■ CLASSES DE RISQUE

La norme EN-62471 concernant le rayonnement des sources de lumière permet de répartir les éclairages à leds en 4 groupes distincts, selon leur degré de dangerosité. Vous trouverez ci-dessous un tableau à titre indicatif, détaillant les classes de risques pour nos produits standards.

Couleur	Classe	Risque
Blanc WHI, Vert 525 nm, Rouge 630 nm	0	aucun
UV 405 nm, Bleu 470 nm, IR 850 nm	1	faible
UV 365 nm	2	modéré
UV 385 nm	3	élevé

Dans tous les cas, TPL Vision préconise l'utilisation **des lunettes de protection** qui figurent à son catalogue.

Pour plus d'infos sur les risques photobiologiques, n'hésitez pas à nous contacter.

TPL Vision peut fournir des notes de calculs sur la **distance nominale des risques oculaires** (distance de sécurité).



**Attention à l'infrarouge**, invisible à l'oeil nu.

Pour savoir si l'éclairage est allumé : se référer aux leds de fonctionnement.



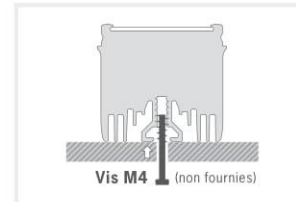
## ENCOMBREMENT

	Longueur*	Hauteur	Largeur
	(mm)	(mm)	(mm)
	A	B	C
EBAR+ 125	158	45	47,6
EBAR+ 250	283	45	47,6
EBAR+ 375	408	45	47,6
EBAR+ 500	533	45	47,6
EBAR+ 625	658	45	47,6
EBAR+ 750	783	45	47,6
EBAR+ 875	909	45	47,6
EBAR+ 1000	1034	45	47,6
EBAR+ 1125	1160	45	47,6
EBAR+ 1250	1285	45	47,6



\* Longueur hors tout, sans le connecteur.

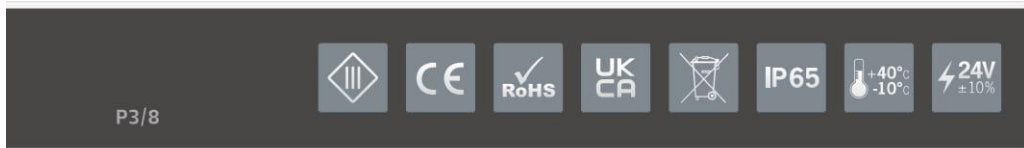
## FIXATION



Vous pouvez également utiliser des vis M4 (non fournies) fixées directement dans le profil en aluminium avec un couple de serrage compris entre 0,5 et 1,5 nm. Nous recommandons d'utiliser un frein filet (non fourni) pour éviter tout risque de desserrement.

## LEDS DE SIGNALISATION



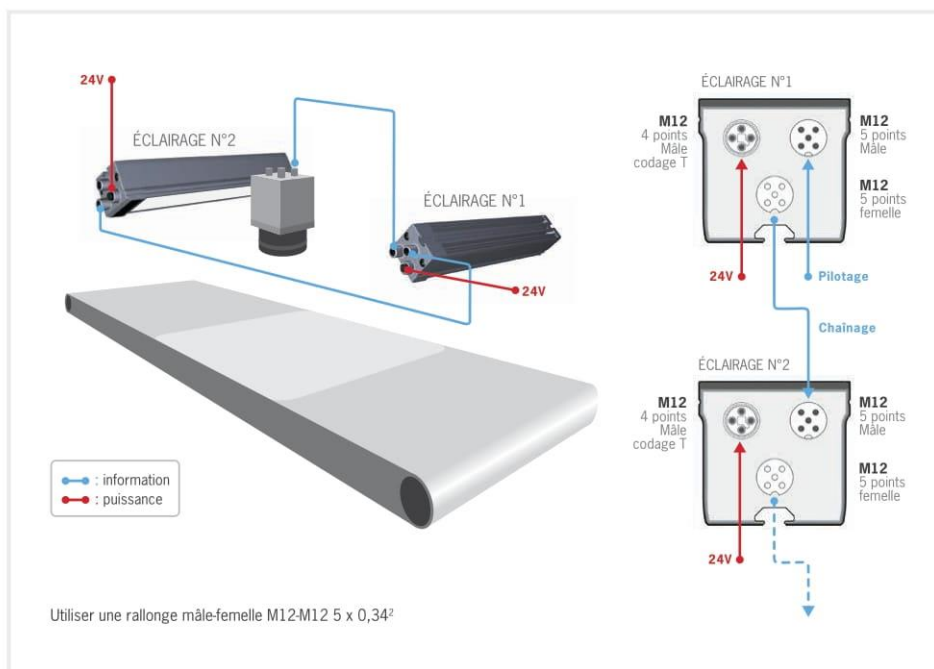


## CONNECTIQUE



Si l'un des connecteurs n'est pas utilisé, veuillez conserver le capuchon pour maintenir la protection IP.

## CHAÎNAGE (DAISY CHAIN)

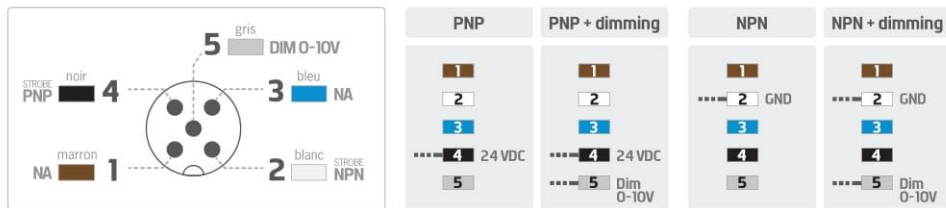






## BRANCHEMENT

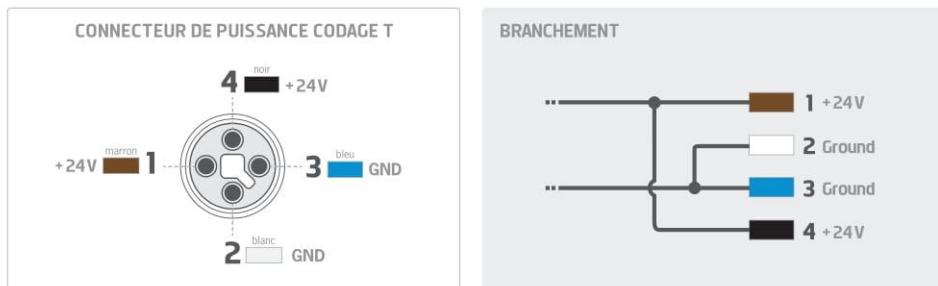
### Connecteur M12 5 points mâle - PILOTAGE



L'éclairage fonctionnera en mode continu en laissant le signal sur l'entrée strobe actif.

Le connecteur M12 5 points mâle est **COMPATIBLE** avec les connecteurs femelles 4 pôles. Dans ce cas, la fonction Dimming n'est cependant pas disponible.

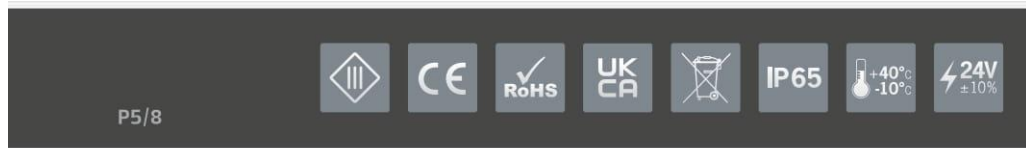
### Connecteur M12 4 points mâle - ALIMENTATION



### CHUTE DE TENSION

Dimensions	125	250	375	500	625	750	875	1000	1125	1250
Chute de tension max dans la barre (V)	0,01	0,03	0,06	0,12	0,18	0,26	0,35	0,46	0,58	0,72
Câble alimentation : Lg max 4x1,5 <sup>2</sup> pour chute de tension acceptable (m)*	>150	>150	>150	>150	138	112	94	80	68	59
Câble chaînage : Lg max 5x0,34 <sup>2</sup> pour chute de tension acceptable (m)	Pas de limitation si chaque barrette dispose de son propre câble d'alimentation Nous consulter pour tout autre configuration souhaitée									

\* Pour des longueurs plus importantes du câble d'alimentation, augmenter la section du fil de cuivre.



## ■ FONCTIONNEMENT

Le produit est optimisé pour une durée de vie >50kh sous 40°C ambiant. En fonctionnement strobe, la durée du strobe est directement égale à la durée pendant laquelle l'entrée strobe est activée.

**STROBE PNP & NPN**

**PNP** : de 5 à 24V pour 100% ON. De 0 à 1V pour 100% OFF.

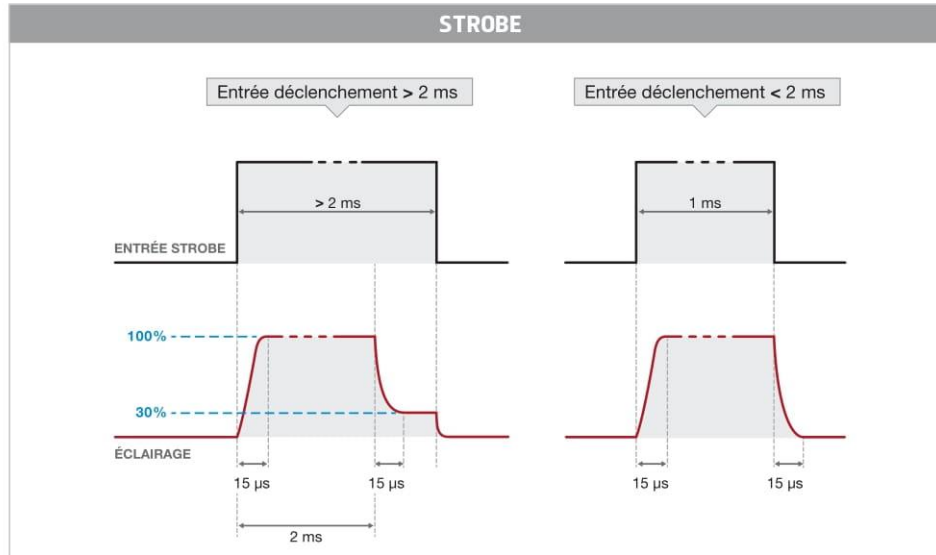
**NPN** : moins de 1V pour 100% ON. Au delà de 2V pour 100% OFF. Max 20V.

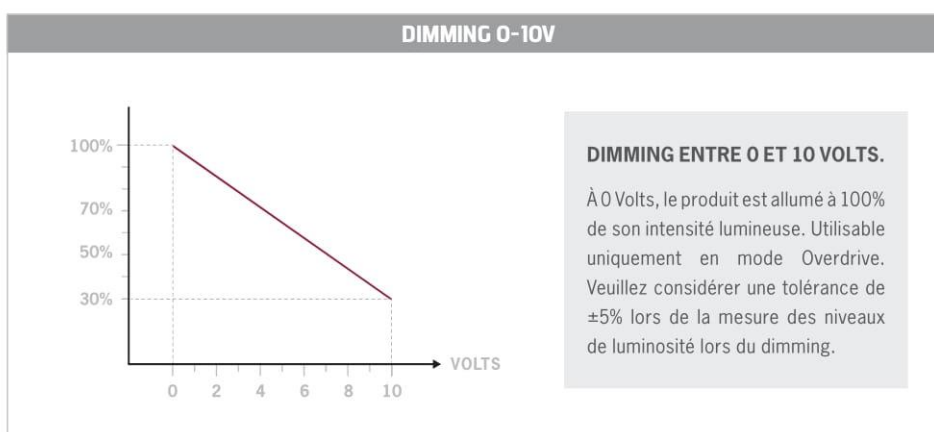
**Mode Strobe** : les leds sont alimentées en Overdrive.

**Mode Continu** : après 2ms en Overdrive, les leds sont alimentées à un niveau de sécurité pour un fonctionnement en mode continu.

	D max (%)	t max	f max
<b>CW</b>	100%	CW	N/A
<b>Strobe</b>	5%	2 ms	750 Hz

D : rapport cyclique  
t : durée du strobe  
f : fréquence





## ■ ALIMENTATION

	125	250	375	500	625	750	875	1000	1125	1250
Puissance requise en mode Strobe (W)	48	96	144	192	240	288	336	384	432	480
Puissance requise en mode continu (W)	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	66.6	77.7	88.8	99.9	111
Tension min. de fonctionnement	20V à l'entrée du produit									
Tension normale de fonctionnement	24V à l'entrée du produit ( $\pm 10\%$ )									
Tension max. de fonctionnement	30V à l'entrée du produit									

## ■ CONDITIONS D'UTILISATION

-10° à +40°C / 80% d'humidité sans condensation.

Pas de choc thermique (variation de température max de 10°C en 24h).

Non adapté à une utilisation en extérieur.

Si l'un des connecteurs n'est pas utilisé, veuillez conserver le capuchon pour maintenir la protection IP.

## ■ ENTRETIEN DE L'ÉQUIPEMENT

### NETTOYAGE (PRODUIT HORS TENSION)

Utiliser un chiffon doux et sec.

Ne pas utiliser de matériau abrasif.

Ne pas utiliser de solvant ou de produit chimique agressif.

TPL Vision préconise l'utilisation d'alcool isopropylique.



## ■ SÉCURITÉ DE L'UTILISATEUR

**Respecter les tensions d'alimentation et les bornes de branchement.**

**Ne pas modifier ou démonter tout ou une partie du produit.**

**Ne pas connecter ou nettoyer sous tension.**

**Ne pas regarder la source lumineuse directement et suivre les préconisations suivantes :**



- Interposer, dans la mesure où le poste de travail le permet, un filtre permettant de bloquer les rayonnements émis par l'éclairage sous cadre fixe ou réglable entre la source et l'opérateur.
- Lorsque la mise en oeuvre des dispositions précédentes n'est pas possible, fournir aux opérateurs des lunettes de catégorie 4 (disponibles à la vente par TPL Vision) ou un masque de protection adéquat permettant de bloquer les rayonnements émis par l'éclairage.
- Interdire ou limiter tant que possible l'accès direct à la source (exposition dans l'axe du rayonnement).
- Établir un périmètre de sécurité afin d'éviter aux opérateurs de s'approcher de la source au-delà des distances nominales de risque oculaire préconisées par le constructeur
- Dans tous les cas, faire en sorte que les moyens utilisés atténuent convenablement les grandeurs d'exposition (caractéristiques des écrans ou lunettes à choisir en fonction des longueurs d'ondes auxquelles les opérateurs sont exposés).

## Annexe 5 : Champ de vision de l'Alvium 1800 U-1236m/c en fonction de la longueur focale et de la distance caméra/objet

### Alvium 1800 U-1236m/c

Values apply to 1800 U-1236m/c cameras with Type 1.1 (17.6 mm diagonal) sensors.

Focal length [mm]	Field of view (H x V in [mm])	
	Object distance = 500 mm	Object distance = 1000 mm
8	872 x 638	1759 x 1287
12	577 x 422	1168 x 854
16	429 x 314	872 x 638
25	270 x 197	553 x 405
35	188 x 138	391 x 286
50	128 x 93	270 x 197
75	80 x 59	175 x 128

Table 78: Focal length versus field of view for Alvium 1800 U-1236m/c

## Annexe 6 : Calculs de fréquence d'échantillonnage Alvium 1800 U-1236m/c

### Longueur focale 25mm :

$$H_{\min}=270*3.5/5.0 = 189\text{mm} \quad T_{\text{ech},\min}=H_{\min}/3= 63\text{ms} \quad f_{\text{ech},\max}= 15,9\text{Hz}$$

$$H_{\max}=270\text{mm} \quad T_{\text{ech},\max}=H_{\max}/3= 90\text{ms} \quad f_{\text{ech},\min}= 11,1\text{Hz}$$

### Longueur focale 35mm :

$$H_{\min}=188*3.5/5.0 = 131.6\text{mm} \quad T_{\text{ech},\min}=H_{\min}/3= 44\text{ms} \quad f_{\text{ech},\max}= 22,7\text{Hz}$$

$$H_{\max}=188\text{mm} \quad T_{\text{ech},\max}=H_{\max}/3= 63\text{ms} \quad f_{\text{ech},\min}= 15,9\text{Hz}$$

## Annexe 7 : Calculs de largeur détectable et motion blur pour une longueur focale de 35 mm

$$H_{\min}=113*3,5/5=79,1\text{mm} (D=350\text{mm})$$

$$H_{\max}=113\text{mm} (D=500\text{mm})$$

$$D=350\text{mm}$$

Un pixel correspond à  $0.079/2464=32\mu\text{m}$  donc les 0,5mm de fissures font  $0,5/0.032=16$  pixels

Pour 100 $\mu\text{s}$  :

$$\text{Distance parcourue par rapport au champ de vision : } d_{\text{mouv},100}/H_{\min} = 0,0003 / 0,079 = 0,00380.$$

$$\text{Ramené au capteur, motion at sensor : } m=0,00380*8,5= 0,0322\text{mm soit } 9.36 \text{ pixels}$$

$$\text{Pour } 250 \mu\text{s, CoC de } 9.36*2.5=23.4 \text{ pixels}$$

## D=500mm

Un pixel correspond à  $0.113/2464=46\mu\text{m}$  donc les 0,5mm de fissures font  $0,5/0.046=11$  pixels

Pour 100  $\mu\text{s}$  :

Distance parcourue par rapport au champ de vision :  $d_{\text{mouv},100}/H_{\text{max}} = 0,0003 / 0,113 = 0,00265$ .

Ramené au capteur, motion at sensor :  $m=0,00265*8,5= 0,0226\text{mm}$  soit 6.54 pixels

Pour 250  $\mu\text{s}$ , CoC de  $6.54*2.5=16.4$  pixels