



# OPTRONIQUE

COMPRENDRE L'ESSENTIEL





Part 1 : Vision, couleur et spectre électromagnétique

Part 2 : Formation, traitement et analyse d'une image digitale

Part 3 : Architectures

Part 4 : Votre projet

Vous êtes Directeur de l'innovation et vous devez apporter de l'innovation dans vos produits ?

Ce livre blanc a été conçu comme un guide pragmatique qui a pour objectif de vous inspirer mais surtout de vous permettre de comprendre les concepts de base des systèmes optroniques afin de vous aider à mieux appréhender les points clés si vous avez besoin de faire développer un système de vision.

Avec l'évolution de la technologie (puissance des processeurs, miniaturisation des composants, ...), il est aujourd'hui possible de réaliser des applications toujours plus poussées à partir de systèmes de vision : détection, tracking, reconnaissance, mesure de l'environnement, ...

Cela ouvre un champ des possibles inouï dans de nombreux domaines : aéronautique, spatial, défense & sécurité, industrie, transport (notamment avec les véhicules autonomes).

J'espère que ce livret sera une source d'inspiration et vous aidera dans votre activité à imaginer de nouvelles applications à partir de projets de vision.

Vincent CARRIER  
CEO NEXVISION

# Part 1 : Vision, couleur et spectre électromagnétique

## Pourquoi voit-on un objet ?

Vous le savez bien, l'être humain voit en couleur. Notamment le jour.

Si vous voyez un objet, c'est uniquement parce qu'il est éclairé par une source lumineuse et que sa couleur se détache de celle(s) du fond, de l'environnement dans lequel il se trouve. Les frontières des objets, ce sont simplement les différences de couleurs qui les créent et c'est ainsi que dans une scène, en fonction des contrastes, l'être humain est capable de distinguer plusieurs formes, de les analyser et d'interpréter ce qui s'y passe.

L'homme voit ce qui se réfléchit de la lumière, ainsi la couleur d'une surface dépend de la façon dont elle est éclairée et de notre position d'observateur.

Si vous regardez des objets ou des êtres humains dans une pièce éclairée normalement, vous voyez en fait le résultat de la réflexion de la lumière sur ces objets. Ce qu'il faut avoir en tête à ce stade, c'est que chaque matière de la planète (peau d'un être humain, feuilles, mer, métal, pierre...) va réagir différemment quand on va l'éclairer. La lumière peut se réfléchir complètement sur la matière, elle peut être absorbée, ou il peut y avoir une partie absorbée et une partie réfléchie, ce qui se traduit par différentes couleurs, mais nous verrons cela plus en détail un peu plus loin.

## D'où vient la couleur ?

La lumière blanche, naturelle, venant du soleil est en fait composée de différentes couleurs.

Vous vous rappelez peut-être de cette expérience où l'on fait passer un rayon lumineux à travers un prisme et où l'on voit apparaître les couleurs de l'arc en ciel en sortie.

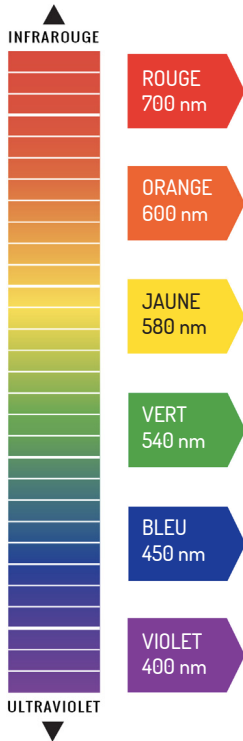
Cela montre simplement que la lumière "blanche" du soleil est en fait composée de plusieurs couleurs. Chaque couleur est une onde électromagnétique avec une longueur d'onde bien définie. Selon la taille de cette longueur d'onde, elle ne se propage pas à la même vitesse en traversant le prisme et comme en plus il a une forme spécifique, il dévie les ondes en sortie.

D'ailleurs, cette partie que l'être humain peut voir avec ses yeux que l'on appelle le "spectre du visible" n'est qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique complet, mais nous y reviendrons plus tard.

Nous pouvons voir ces couleurs parce que notre œil n'est sensible qu'aux rayonnements dont la longueur d'onde se situe grossièrement entre 0,38 et 0,75 millièmes de mètre, autrement dit entre 380nm (violet) et 750nm (rouge).

Entre ces 2 valeurs, nous retrouvons les différentes nuances des couleurs de l'arc en ciel.

Selon la valeur de cette longueur d'onde, nous percevons le rayonnement comme une lumière d'une certaine couleur. Ainsi, si nous regardons une lampe qui émet une lumière de longueur d'onde  $0,4 \mu\text{m}$  (400nm), nous la verrons violette. Si elle émet une longueur d'onde plus petite (dans l'ultra-violet), nous ne verrons rien, car on est en-dessous du seuil de sensibilité de notre oeil. Même chose pour une onde de longueur supérieure à 750nm.



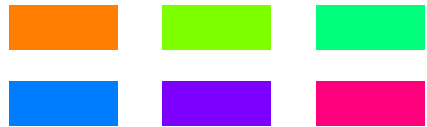
mélange du rouge et du vert, on obtiendra du jaune (c'est ce que l'on appelle la synthèse additive).

Couleurs secondaires : **cyan, magenta, jaune.**



Enfin les couleurs tertiaires peuvent être obtenues en mélangeant une couleur primaire et une couleur secondaire.

Couleurs tertiaires : **orange, vert citron, émeraude, bleu pervenche, violet, framboise.**



### Couleurs primaires, secondaires, tertiaires

Parmi ces couleurs, 3 d'entre elles sont les couleurs primaires : le **Rouge**, le **Vert** et le **Bleu**.

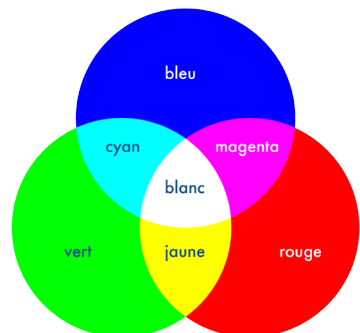


On les appelle les couleurs primaires car à partir de ces couleurs, il est possible de créer toutes les couleurs de l'arc en ciel. Il suffit de les mélanger pour obtenir des couleurs secondaires. Par exemple, si on

Nota bene :

Comme pour les couleurs de l'arc en ciel, si on additionne les couleurs primaires, soit le rouge, le vert et le bleu, ça nous donne du blanc.

Le noir quant à lui est une absence de couleur.



## Fonctionnement de l'oeil, mécanisme de la vision

A ce stade, il est important de comprendre le lien entre les couleurs qui composent la lumière blanche du soleil et l'oeil de l'être humain.

Nous avons vu précédemment que le spectre du visible s'étend grosso modo de 380 à 750nm, c'est à dire des longueurs d'onde très très petites.

Mais alors pourquoi l'oeil de l'être humain serait sensible uniquement dans cette bande de fréquences ?

En fait, à l'intérieur de l'oeil de l'être humain, il y a des cônes et des bâtonnets.

Les **bâtonnets sont des cellules sensibles à l'intensité lumineuse** : ils traduisent pour notre cerveau le degré de luminosité d'une lumière. Mais

ils ne différencient pas deux couleurs également lumineuses. Par ailleurs, les bâtonnets sont beaucoup plus sensibles que les cônes. De

fait, lorsque nous sommes dans un endroit faiblement éclairé, nous avons du mal à distinguer les couleurs et les objets paraissent grisâtres: dans une telle situation, la lumière est suffisante pour exciter les bâtonnets,

mais plus les cônes. De nuit, ce sont donc les bâtonnets qui nous permettent de voir.

Les **cônes quant à eux sont des cellules qui réagissent à la couleur**. Ils permettent de différencier deux teintes. Ils sont dix fois moins nombreux que les bâtonnets. Trois types ont été découverts, chacun sensible à une certaine plage de longueurs d'onde : les cônes «S» sont plutôt sensibles aux bleus, les «M» plutôt aux verts et les «L» plutôt aux rouges.

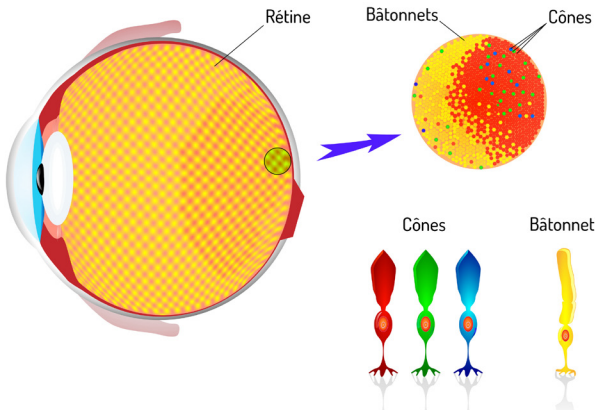
L'être humain est donc équipé de cellules sensibles aux trois couleurs primaires : rouge, vert et bleu. C'est d'ailleurs par rapport à notre référentiel, celui de l'être humain, que nous avons décrété que ces trois couleurs étaient des couleurs primaires.

Et quand nous parlons de spectre de lumière "visible", nous parlons d'un spectre visible par rapport aux capacités de l'être

humain. D'autres espèces vivantes peuvent avoir un spectre "visible" différent du nôtre, et avoir des cellules sensibles à d'autres longueurs d'onde.

En résumé, la lumière qui provient d'un objet qu'on observe (lumière

émise ou diffusée) va pénétrer notre œil par la pupille (chargée de réguler le flux lumineux entrant), traverser le cristallin (la lentille) puis le globe oculaire, et venir exciter les cellules nerveuses qui tapissent la



rétine, au fond de l'œil, les fameux cônes et bâtonnets. Chaque type de cône est plus ou moins excité suivant son type (S, M ou L) et la composition de la lumière reçue. C'est l'ensemble des signaux qui va être interprété par le cerveau pour y faire correspondre une couleur. Ainsi, une lumière jaune va exciter les cônes M et L (qui malgré leur pointe de sensibilité dans les rouges et verts, sont sensibles aux longueurs d'onde dans le jaune), mais pas S (sensibles aux bleus). L'information «vert» + «rouge» va être traduite par une information «jaune».

A savoir (1) :

Environ 80% des cônes tapissent la zone centrale de la rétine, appelée fovea. Cette zone correspond à l'endroit où se forme le centre de l'image. De nuit, sous le faible éclairage des étoiles et d'un quartier de lune, nous ne pouvons pas distinguer les objets qui sont droit devant nous. En effet, la fovea ne contient pas de bâtonnets (100% des bâtonnets sont disposés sur la rétine), et ne réagit donc pas à de faibles luminosités.

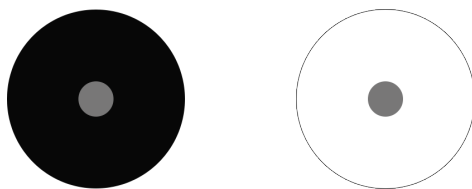
Pour que notre cerveau «comprenne» ce qu'il y a devant nous, il nous faut bouger les yeux, «balayer» la scène de façon à ce que les bâtonnets, présents autour de la fovea, «voient» ce qui nous intéresse. Une méthode bien connue des militaires.

A savoir (2) :

Nous avons indiqué précédemment que l'environnement a une forte influence sur notre perception des couleurs. Et pour vous le démontrer, voici juste un exemple de contraste de luminosité.

Notre œil s'adapte à l'intensité lumineuse moyenne d'une scène. Dans un environnement très lumineux, notre pupille se ferme pour «réguler» le flux de lumière reçue. Dans l'obscurité, la pupille s'ouvre plus. Conséquence immédiate: la même couleur sera perçue plus foncée sur un fond clair que sur un fond sombre.

Cf exemple ci-dessous : le point gris du centre paraît plus clair à gauche qu'à droite alors qu'il a exactement la même couleur. Il en est de même pour des contrastes de saturation ou de teinte.



**Mais au fait, pourquoi voyons-nous des objets en couleur ?**

Et bien pour cela, il faut d'abord comprendre certains concepts.

## **A. Comportement des matières face à un rayonnement**

Toutes les matières (matériaux, êtres vivants...) réagissent aux rayonnements. Par exemple, si on envoie un rayon de lumière sur un objet, il peut :

1) **Réfléchir** une partie de ces rayonnements

La lumière arrivant sur l'objet est renvoyée par sa surface vers notre œil. La plupart des

choses qui nous entourent se comportent ainsi : une table, un vêtement, un fruit, mais aussi la lune ou toute planète vue de la Terre.

Le rapport de l'énergie réfléchie sur l'énergie incidente est appelée la réflectance.

2) **Absorber** une partie de ces rayonnements

Le rapport de l'énergie absorbée sur l'énergie incidente est appelée l'absorbance.

3) **Transmettre** une partie de ces rayonnements.

Plus ou moins partiellement, plus ou moins fidèlement. La lumière reçue traverse la matière de l'objet, est filtrée, et continue sa route vers notre œil. Un filtre plastique coloré, une diapositive, les verres de lunettes (de vue, de soleil) en sont des exemples.

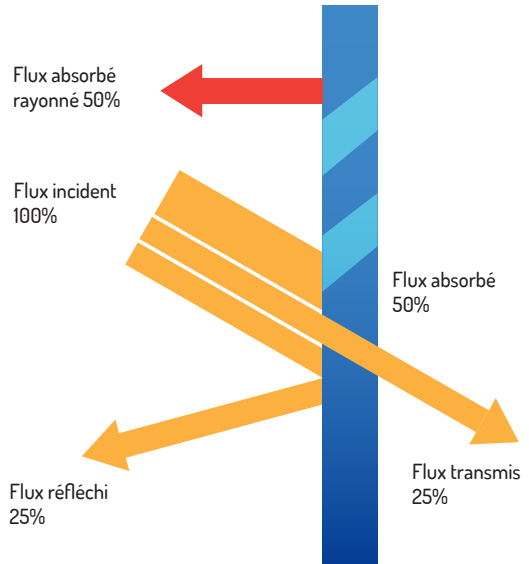
Le rapport de l'énergie transmise sur l'énergie incidente est appelée la transmittance.

4) **Réémettre** une partie du rayonnement absorbé sous forme de rayonnements infrarouges lointains.

Dans un système à l'équilibre (le rayonnement absorbé et la température du matériau sont constants), le rapport de l'énergie émise sur l'énergie absorbée est appelée le coefficient d'émissivité.

Et bien évidemment, certaines matières éclairées par certains rayons peuvent faire tout à la fois.

Chaque matière a ainsi ses propres propriétés et réagit donc différemment selon la longueur d'onde du rayon qu'elle reçoit.



A noter :

L'objet lui-même peut-être émetteur de lumière : c'est le cas d'une ampoule, de la flamme d'une bougie, du soleil, d'une led...

## B. Application au cas de la lumière

Nous avons vu que la lumière blanche du soleil était en fait composée de longueurs d'onde différentes correspondant à des couleurs différentes.

Ce qu'il faut comprendre est assez simple... Quand on éclaire un objet avec une lumière blanche, l'objet va interagir avec cette lumière, qui rappelons le, est composée de plusieurs longueurs d'onde.

Comme vu au paragraphe précédent, certaines longueurs d'onde peuvent être absorbées, d'autres réfléchies, transmises ou réémises, selon les propriétés de la matière.

Prenons le cas par





exemple d'une tomate. Si on l'éclaire avec une lumière blanche, les propriétés de la tomate font qu'elle absorbe les rayons bleu et vert (en fait la partie du spectre du violet à l'orange), et elle réfléchit les rayons rouge qui arrivent jusqu'à notre oeil. Voilà pourquoi l'être humain voit une tomate rouge de jour.



Si on place notre tomate dans le noir et qu'on l'éclaire avec un spot jaune ou magenta, le fruit nous semble toujours aussi rouge. En effet, la lumière jaune est formée de rouge et de vert, la lumière magenta de rouge et de bleu. La tomate absorbe tout sauf le rouge, donc notre oeil reçoit l'onde rouge par réflexion : pour un être humain, son apparence n'a donc pas changé.

Si par contre, on éclaire maintenant avec une lumière verte ou bleu (qui ne

contiennent pas de composante rouge), la tomate nous paraîtra noire car elle aura absorbée tous les rayons et rien ne se sera réfléchi vers notre oeil.

Nous avons donné un exemple avec un rayon de lumière, mais le fonctionnement est exactement identique avec tout type de rayon du spectre global. Les objets peuvent aussi émettre ou réfléchir des ondes qui nous sont invisibles. C'est juste une question d'interaction entre la matière et la longueur d'onde du rayon incident.

Et nous verrons plus tard que pour certaines applications, il est utile d'"éclairer" dans l'infrarouge, c'est à dire qu'on utilise un émetteur infrarouge qui va éclairer une scène (à l'oeil nu, on ne verra rien) et on va utiliser un récepteur sensible dans l'infrarouge, qui va récupérer les rayons réfléchis, exactement sur le même fonctionnement que l'oeil humain qui récupère les rayons de lumière réfléchis par l'objet qu'il regarde.

A savoir :  
 Pour la réflectance d'une surface, on utilise également le terme d'**Albedo** qui indique le pouvoir réfléchissant d'une surface (son coefficient de réflexion). Il s'agit d'une grandeur sans dimension comprise entre 0 (aucune réflexion, absorbe tout) et 1 (réflexion totale).

## Et le reste du spectre électromagnétique alors ?

La partie visible (par l'être humain) du spectre électromagnétique que nous avons vu plus tôt n'est en fait qu'une partie infime du spectre global.

De part et d'autres du visible se trouvent différentes bandes de fréquence avec des propriétés différentes et des usages adaptés. On ne voit pas ces ondes mais on peut en ressentir certaines :

En allant vers des fréquences plus élevées (donc des longueurs d'onde plus courtes), on va trouver d'abord les Ultra-violet (UV-a et UV-b produites par le soleil, on ne les voit pas mais elles nous font bronzer et peuvent être très dangereuses pour la peau et les yeux !). Ensuite, on trouve les rayons X qui servent notamment dans le médical et enfin les rayons Gamma.

En allant vers des fréquences plus basses, nous trouvons d'abord les Infra-rouge, que l'on peut sous-diviser en bandes VNIR / SWIR pour le proche infra rouge et bandes MWIR / LWIR qui correspondent au thermique. Nous pouvons ressentir les radiations sous forme de chaleur. Ensuite, nous trouvons la bande TeraHertz qui fait le lien entre le domaine de la photonique et le domaine de la radio. Le THz sert par exemple pour les portiques d'aéroport (pour détecter des armes). Ensuite, il y a les micro-ondes qui ont de nombreuses applications, notamment radar. Ensuite, les ondes radio & TV, utilisées par exemple pour la téléphonie mobile, la radio ou la télé.

Toutes ces ondes ne sont pas visibles par

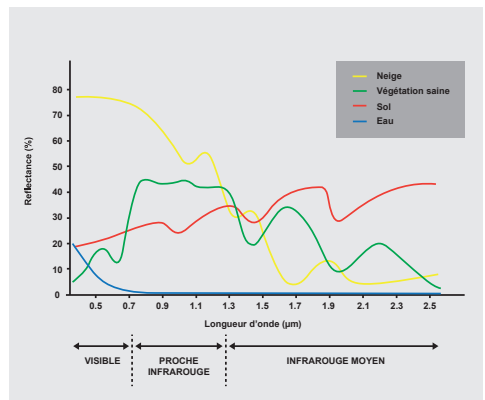
l'être humain, par contre elles sont "visibles" par des récepteurs, des capteurs.

Par exemple, il existe des capteurs d'image pour le visible (les capteurs qui servent à fabriquer des caméras), mais il existe aussi des capteurs d'image dans l'UV, dans l'infra-rouge, dans le Thz, etc...et qui servent aussi à fabriquer des caméras mais dont le résultat doit être adapté pour que l'humain puisse visualiser et interpréter.

## Signature spectrale des matières

Selon la problématique que l'on a à résoudre avec un système de vision, il s'agira de commencer par étudier la signature spectrale de la matière pour trouver une bande de fréquence dans laquelle elle réagit et de construire ensuite le système complet permettant de "voir" et détecter l'item dans la bande de fréquence souhaitée.

Par exemple, voici un graphe illustrant les **signatures spectrales des principales surfaces naturelles** :



Ce que ce graphique nous apprend :

- que la neige a une forte réflectance dans le visible mais très faible dans l'infrarouge moyen;
- que la végétation réfléchit le vert (longueur d'onde 530nm environ) mais a également une forte réflectance dans l'infrarouge proche; ainsi si on éclaire une feuille dans l'infrarouge proche, celle-ci apparaîtra blanche sur un écran;
- que l'eau réfléchit une partie de la lumière visible mais absorbe complètement les infra rouge; ainsi si on éclaire une scène avec une source infra rouge, l'eau apparaîtra noire sur un écran.

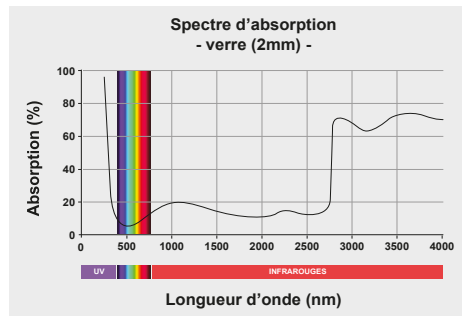
A noter : chaque type de plantes ou d'arbres possède une signature spectrale unique qui dépend de sa croissance, mais aussi des conditions et contraintes environnementales (humidité, température, etc.)

Cas du verre :

Le verre a la caractéristique d'avoir une transmittance élevée pour les rayonne-

ments solaires (lumière visible et infrarouges proches) mais une transmittance faible pour les rayonnements infrarouges lointains; en d'autres termes, le verre bloque les rayons infrarouges lointains, il les absorbe. Ainsi, si on visualise une personne avec des lunettes dans l'infrarouge lointain (thermique), on verra des dégradés de couleurs au niveau des zones de son corps qui dégagent de la chaleur et les verres des lunettes seront noirs.

Le verre est donc idéal pour créer un effet de serre : il laisse passer les rayons du soleil et emprisonne les rayons infrarouges réémis par d'autres matériaux. Sur ce schéma, nous voyons que le verre absorbe une partie des UV et les infrarouge lointains et qu'il laisse passer les ondes visibles et dans l'infrarouge proche.



Dans le domaine militaire, les systèmes optroniques dans différentes bandes de fréquence trouvent de nombreuses applications en fonction des conditions d'opération, notamment dans la détection, la reconnaissance et l'identification. D'un autre côté, les techniques de camouflage dont l'objectif est de retarder au maximum le moment de détection, bénéficient d'énormes progrès technologiques, que ce soit dans la dissimulation du combattant individuel, celle des véhicules ou la réduction de la signature électromagnétique des forces (ex : signature infrarouge).

On assiste ainsi à une intense compétition avec des moyens de détection de plus en plus nombreux et performants (radar, infrarouge, thermique) et des technologies qui permettent de réduire les signatures électromagnétiques des hommes et équipements. L'éternel duel de l'épée et du bouclier...

# VISIBLE

Extreme limit of visible

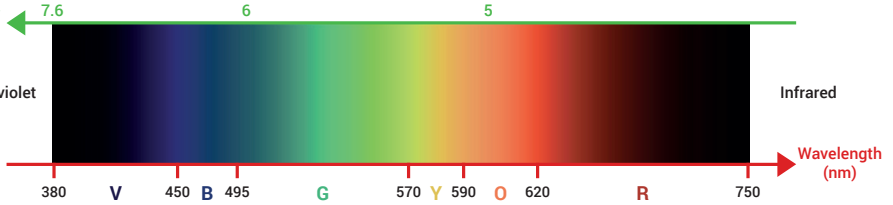
Visible light

Extreme limit of visible

Frequency  
( $10^{16}$  Hz)

Ultra-violet

Infrared



GAMMA RAYS

X RAYS

ULTRAVIOLET (UV)

VISIBLE

INFRARED (IR)

UV-X

UV-V

UV-C

UV-B

UV-A

UV-A II

UV-A I

IR-A

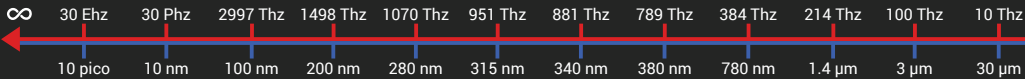
IR-B

IR-C

Solar blind

OPTICS 

FREQUENCY  $\nu$  / WAVELENGTH  $\lambda$



RELATION OF BODY TEMPERATURE TO PEAK EMISSION WAVELENGTH (Wien's law)



← HIGH

ENE →

WAVELENGTH EQUIVALENT SIZE



Atomic nuclei



Atoms



Molecules



Bacteria

SOURCES



Radioactive sources



Medical X-Rays



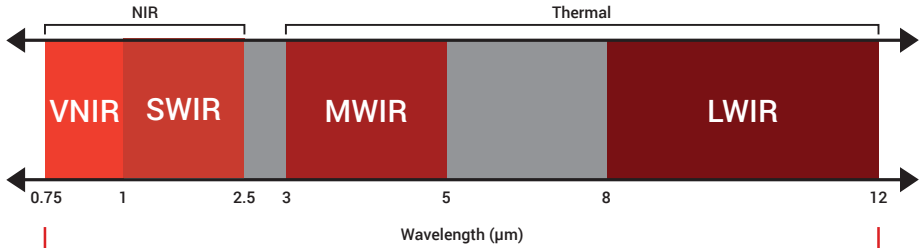
Sunlight

NEXV

# INFRARED

Highest energy

Lowest energy



Hz	RADIO WAVES											
	MICROWAVES		RADIO & TV WAVES									
	EHF	SHF	UHF	THF	HF	MF	BF	TBF	UBF	SBF	EBF	TLF

$$\frac{V}{75} = \frac{40}{75}$$

$$\frac{X}{12} = \frac{8}{24}$$

ELECTRONICS ⚡



RGY ← LOW →

A grid of icons representing various concepts:

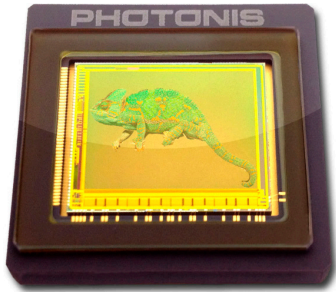
- Pinpoint
- Honey Bee
- Humans
- Football Pitch
- Mountains
- Microwave & Satellite
- Cell & PCS
- Mobile AM / FM
- TV
- CRT monitors
- AC power
- Earth & Subway

## Part 2 : Formation, traitement et analyse d'une image digitale

### Capteur d'image

**C'est quoi un capteur d'images ? A quoi ça sert ?**

Le capteur d'image est un composant électronique qui a pour objectif de **capturer & numériser** des images.



### Comment ça fonctionne ?

Pour comprendre comment fonctionne un capteur d'image, il faut d'abord appréhender 2 choses :

1. La lumière est composée de photons, c'est à dire de petites particules d'énergie créées par une source lumineuse (ex : soleil, ampoule).
2. Il est possible de « convertir » des photons en électrons, c'est ce que l'on appelle l'effet photoélectrique. En physique, l'effet photoélectrique (EPE) désigne l'émission d'électrons par un matériau, généralement métallique lorsque celui-ci est exposé à la

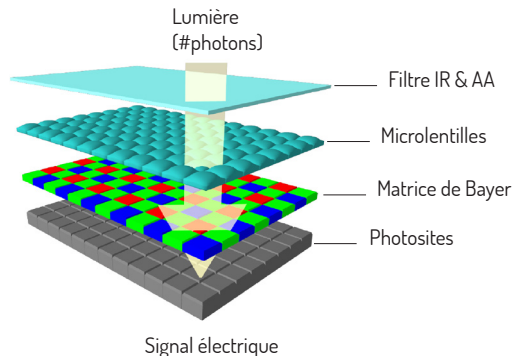
lumière ou un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisamment élevée, qui dépend du matériau.

Concrètement, un capteur d'image transforme une énergie lumineuse en énergie électrique. Il est composé de cellules photosensibles, appelées photodiodes.

Si un photon contenant assez d'énergie « tape » sur la photocathode, il va libérer un électron qui va ainsi générer un signal électrique analogique. Ensuite un convertisseur analogique/numérique permet de numériser cette information.

Ces photocathodes sont disposées sur la surface du capteur de telle manière qu'elles forment une matrice de pixels. Cette matrice nous donne la définition du capteur (par exemple un capteur HD comprend 1920 pixels de large x 1080 pixels de hauteur).

En complément, le capteur est équipé d'un filtre (souvent Infrarouge), de microlentilles (qui permettent de canaliser la lumière vers les photosites) et une matrice de Bayer (qui permet de récupérer la couleur au niveau des pixels).



## Quelles sont les caractéristiques d'un capteur d'image ?

- > Bande de fréquence : UV / Visible / Nuit / SWIR / THERMIQUE / THz
- > Technologie de fabrication : CCD / CMOS / EBCMOS
- > Dimensions physiques : longueur x largeur
- > Résolution : taille d'une image en pixels (largeur x hauteur) et largeur d'un pixel
- > Sensibilité : capacité à capturer une image de qualité selon la luminosité
- > fps\* : frames/second = le nombre d'images par seconde que le capteur est capable de capturer
- > Type : Rolling Shutter / Global shutter, c'est à dire la manière d'exposer les cellules photosensibles [ rolling shutter : on expose les lignes 1 par une > décalage entre les lignes / économie de transistor et capa pour chaque pixel, donc moins cher (plus facile à fabriquer) / global shutter : on expose tout au même moment puis on lit ]

### \*fps (frames / second) : kézako ?

Une vidéo est une succession d'images fixes. En les mettant bout à bout, c'est ainsi que l'on voit une scène bouger.

**Pour que l'être humain voit une vidéo de manière assez fluide, il faut environ 25 images par seconde.** En dessous ça saccade. Aller au delà de 25 images /s peut être très utile par exemple si l'on souhaite faire du slow motion. Vous vous rappelez de ces publicités où l'on voit une goutte tomber très doucement et s'éclater ensuite en une multitude de mini gouttes. Et bien cela est possible grâce au fait de capturer beaucoup d'images dans un temps très court.

Dit autrement, si vous avez besoin de capturer une scène dans laquelle des objets se déplacent très vite (ex : formule 1) et que vous souhaitez par exemple voir précisément laquelle de 2 voitures passe la ligne d'arrivée en premier (dans le cas où elles passent la ligne en même temps), vous aurez besoin d'utiliser un capteur d'images capable de capturer un très grand nombre d'images par seconde (par exemple, de 60 à 100 images par seconde) pour pouvoir faire défiler image par image avec précision.

Une fois que la lumière est transformée en énergie électrique, il faut arriver à :

- Reconstruire les images (pré-traitement & traitement d'image)

Pour pouvoir ensuite :

- Soit les stocker (enregistrer la vidéo)
- Soit les analyser (extraire des informations des images, donc de la scène observée)
- Soit les transmettre (par exemple à un centre de commandement)
- Soit les afficher (par exemple sur un afficheur [écran microoled, écran d'ordinateur...])
- Soit tout en même temps !

### En quoi consiste le traitement d'image?

**A reconstituer les images le plus fidèlement possible (quelles que soient les conditions de l'environnement).**

Dans les cases en bleu du tableau ci-contre, vous trouverez toute une panoplie d'algorithmes qui permettent de recréer les images à partir des données capturées par le capteur d'image.

Pour cela, des opérations très complexes doivent être réalisées en temps réel, que ce soit pour traiter :

- Les informations brutes du capteur
- Des corrections et des améliorations à apporter par rapport aux performances de l'optique et du système (aberrations, distorsion, stabilisation...)
- Des corrections de pré-traitement (auto-exposition, correction de pixel mort...)
- Des améliorations telles que le HDR, l'amélioration des contrastes, les corrections de vibration...

### En quoi consiste l'analyse d'image?

**A extraire des informations de la scène observée pour décider et lancer des actions.**

Dans la partie jaune du tableau ci-contre, vous allez retrouver différents algorithmes qui permettent d'analyser les pixels des images pour en extraire des informations.

Il peut s'agir d'algorithmes :

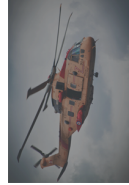
- De détection
- De reconnaissance (lettre, forme, motif...)
- De tracking
- De mesure de l'environnement
- De reconstruction de scène 3D...

Comme vous pouvez le comprendre maintenant, un système de vision n'est pas seulement un simple caméscope qui sert juste à filmer ses vacances mais bien un système puissant composé à la fois d'un système de capture d'image dans différentes bandes de fréquence mais aussi d'une intelligence (analyse) dont les applications sont très vastes et applicables dans de nombreux domaines. Il sert aussi à augmenter les capacités de l'être humain en ayant la capacité de voir ce que l'être humain ne peut pas voir et traiter à très haute fréquence ce que l'être humain ne saurait pas faire.



# TRAITEMENT & ANALYSE D'IMAGE

Fonctions et algorithmes pour reconstituer, traiter et analyser les images issues de capteurs



- ANALYSIS RESULTS**
- ⊖ Type : Helicopter
  - ⊖ Color : Yellow
  - ⊖ Speed : x pixels/s
  - ⊖ ...

## IMAGE CAPTURE

### MULTISPECTRAL IMAGE SENSORS

- > UV
- > Visible
- > Night vision
- > SWIR
- > LWIR / Thermal
- > Terahertz

## OPTICAL

### OPTICAL ENHANCEMENT & CORRECTIONS

- > Super resolution
- > Aberration corrections
- > Chromatic aberrations
- > Relative illumination
- > Distorsion correction
- > Fisheye correction

### DECONVOLUTION

- > Image reconstitution
- > Recursive algorithms
- > Denoising
- > Myopic deconvolution
- > Lens defocused
- > Multi channels deconvolution

### STABILIZATION

- > Close control loop
- > Piezo actuator
- > Motion compensation
- > Viewer pointed

## PRE PROCESSING

### IMAGE SENSOR PRE PROCESSING

- > CFA Bayer to RGB
- > Auto exposure
- > Multi resolution
- > Color matrix correction
- > Auto white balance
- > Gamma & YUV/HSI color conversion
- > Dead pixel correction
- > Non uniformity correction (FPN)
- > DSNV & PRNU
- > Anti flickering
- > Lab color space conversion
- > 2D Image scaling
- > 3D lookup table color correction
- > ACES color space management

## ENHANCEMENT

### DYNAMIC RANGE : HDR & NOISE FILTERING

- > High Dynamic Range
- > Dynamic local tone mapping
- > 3D noise filter
- > Contrasts & edges enhancement
- > Spatial filters

### VIBRATION CORRECTION

## ANALYSIS

### DETECTION / RECOGNITION

#### Methods

- > Feature extraction
- > Pattern matching
- > Texture recognition
- > Optical Character Recognition
- > Smart line detection (rail, lane, path, horizon)
- > Multispectral band object recognition

#### Content based image retrieval

- > Applications

- > Suspicious stationary object detection
- > Motion detection
- > Number plate recognition
- > Traffic accident detection
- > Streetcar line detection
- > Fire detection
- > Pedestrian counting
- > Human body detection
- > Gesture recognition

### TRACKING

- > Online tracking
- > Specialized trackers
- > Autonomous tracking initialization

### MACHINE LEARNING

- > Shallow learning
- > Deep learning
- > Neural networks

### ENVIRONMENT MEASUREMENT

- > Augmented reality
- > SLAM
- > 3D scene reconstruction
- > Localisation / positioning
- > Advanced Driver Assistance System
- > Ground speed estimate
- > Unified scene alignment
- > Depth map
- > Sensors fusion
- > Barcode / QR Code reading
- > 1D, 2D, 3D measurement

## Part 3 : Architectures

### Puissance de calcul & interopérabilité

Maintenant que vous maîtrisez les concepts principaux, vous comprendrez aisément que pour mettre en oeuvre un système de vision performant, notamment s'il doit être embarqué, il est nécessaire d'utiliser les dernières technologies pour bénéficier de puissances de calcul adaptées et de systèmes évolutifs.

Par exemple, si le capteur d'image est un capteur 2Mpixels fonctionnant à 25 images / seconde, il va falloir traiter 2 millions de pixels x 25, soit 50 millions de pixels / seconde (c'est très approximatif mais c'est juste pour vous donner un ordre d'idée et que vous preniez conscience de la capacité de traitement informatique nécessaire).

L'objectif est donc d'arriver à faire fonctionner ce système en temps réel et le faire interagir avec son environnement.

Chez Nexvision, nous n'hésitons pas à mettre en oeuvre les dernières technologies tout droit sorties des laboratoires, que ce soit au niveau des capteurs d'image, des processeurs graphiques ou tout autre type de composant.

Par exemple, nous sommes une des rares entreprises en Europe à être early adopter des GPU Nvidia, et nous collaborons également très étroitement avec Photonis pour le développement de leurs capteurs EBC-MOS destinés à la vision de nuit.

Nous développons des systèmes complets, en partant du capteur d'image et en développant sur mesure tout le système qui va autour, à la fois sur la partie hardware mais aussi software, incluant les algorithmes de traitement et/ou d'analyse d'images.

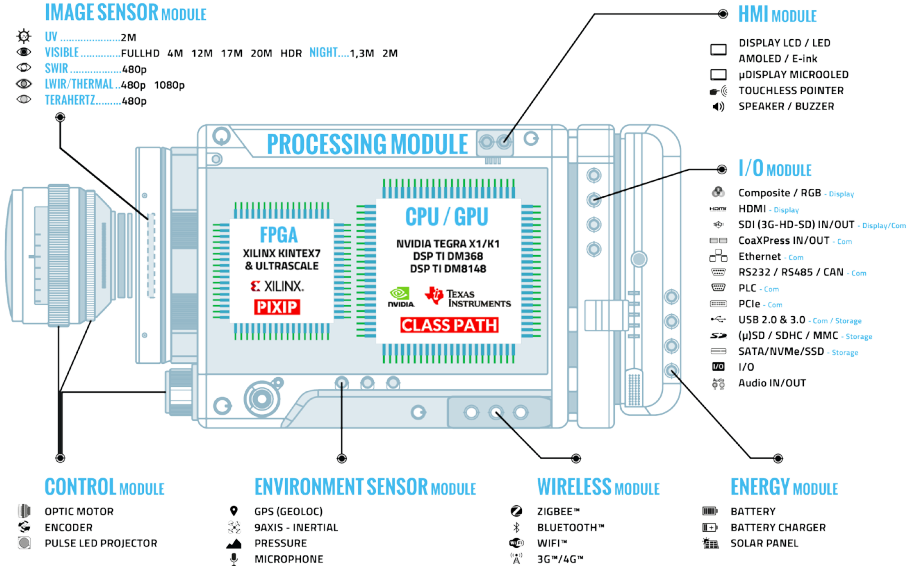
Dans la plupart des cas, nous réalisons des architectures électroniques embarquées où CPU, GPU et FPGA constituent le coeur du système et la puissance de calcul.

#### A noter :

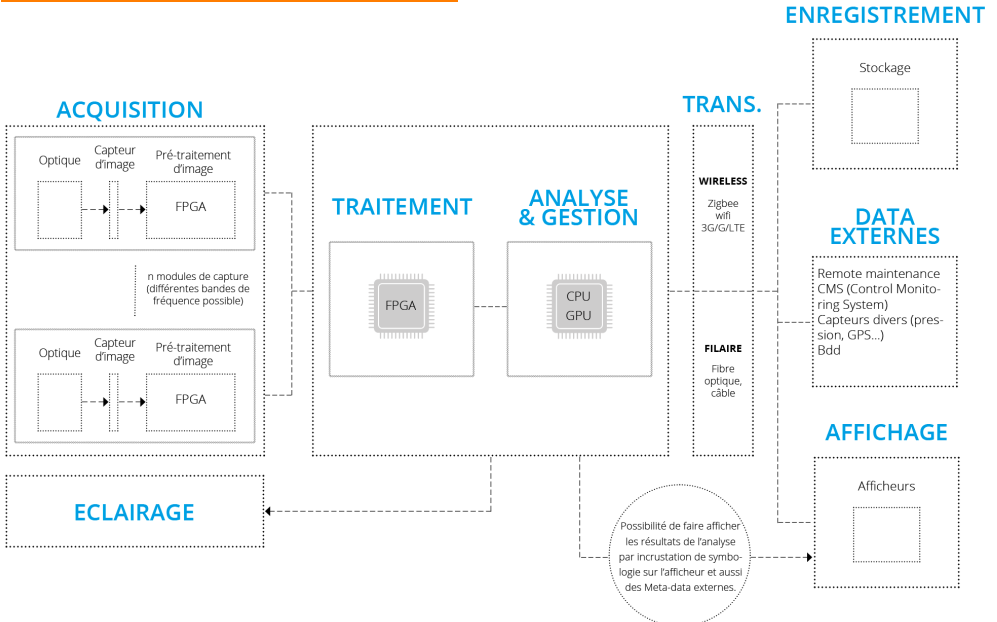
Selon les architectures, il peut y avoir :

- Plusieurs capteurs d'images en parallèle (de même bande de fréquences ou différentes pour capturer des spectres différents)
- Des têtes déportées avec des systèmes de pré-traitement d'image embarqués
- D'autres types de capteurs (ex : radar, lidar) qui peuvent venir en complément dans le système et s'interfacer pour réaliser de la fusion de capteurs, ce qui permet de rendre encore plus précis le système global.

## ex : Architecture à 1 caméra



## ex : Architecture à n caméras



## CPU - Central Processing Unit

### Le chef d'orchestre !

Il fait tourner le système d'exploitation (OS) et réalise des traitements algorithmiques de haut niveau. Il prend des décisions, gère l'interface homme-machine, l'applicatif par rapport à un métier donné.

## GPU - Graphical Processing Unit

### L'analyste !

Il fait certains traitements d'image et surtout l'analyse d'images (ex : peut traiter des nuages de points => le GPU prend ces points caractéristiques et fait une analyse d'image pour en extraire des infos pertinentes.

Pour les techniques, il fait des calculs en flottant.

## FPGA - Field-Programmable Gate Array

### Le FPGA, c'est de la puissance de calcul brute !

Il prend les images brutes et réalise le pré-traitement en améliorant et en extrayant des points caractéristiques. C'est un exécutant qui fait du calcul « simple » mais en masse.

Pour les techniques, il fait des calculs en entier.

C'est du HardWare : séquenceur logique en HW : traitement fortement parallélisé dont les accès mémoire dans l'image à traiter sont définis (non aléatoires) => implémentation d'algorithmes sous forme de séquenceur HW : ce n'est pas du logiciel.

		Latence
CPU / GPU	Calcul parallèle avec intelligence	Latence FPGA < Latence CPU
FPGA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calcul parallèle massif sans prise de décision</li><li>- Pas d'accès aléatoire à la mémoire</li><li>- Pas de branchement (If - Then - Else)</li><li>- Algorithmes simples de pré-traitement (pas de liste à choix (ex : si ça alors ça)</li></ul>	

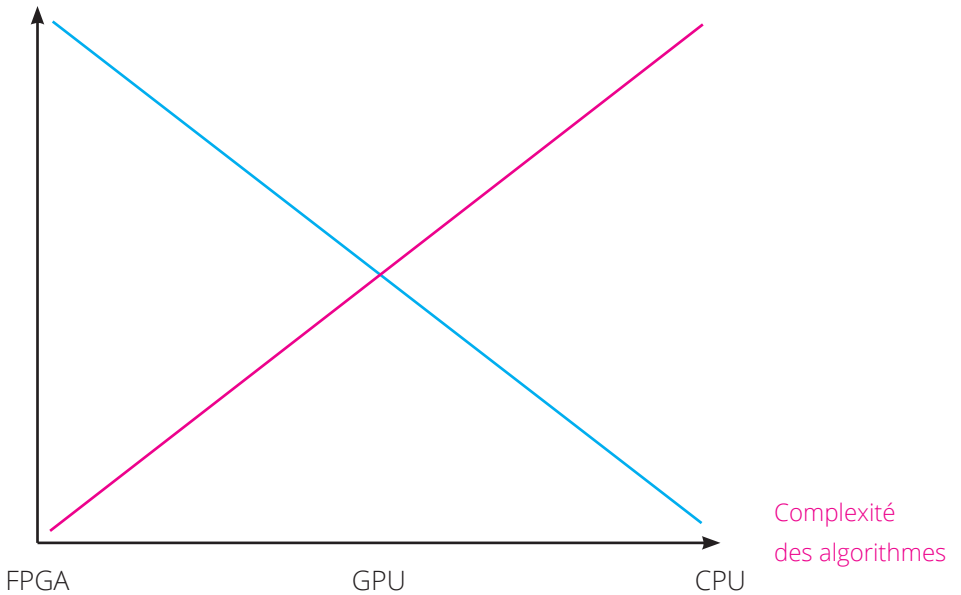
## A savoir

Coder un algorithme sur FPGA prend en moyenne 20 fois plus de temps que pour un CPU/GPU (donc 20 fois plus dur, donc plus cher).

Dans le choix des architectures, on commence d'abord avec un CPU/GPU et si pas assez de puissance de calcul, on ajoute un ou plusieurs FPGA.

Quantité de données

Images à traiter



## Part 4 : Votre projet

### Vous avez un projet de vision ?

#### Les questions à se poser :

Pour chaque projet de vision et en fonction de la problématique à résoudre, il s'agira de prendre en compte :

- Ce que l'on cherche à voir, détecter, reconnaître, identifier
- Comment le système sera-t-il utilisé ? (Fixe, portable [à la main, sur la tête...])
- Dans quel environnement, le milieu dans lequel se passe la scène : eau, air, air perturbé (brouillard, neige, vent de sable, fumée...), jour/nuit...
- Les propriétés des matières de la cible (signature électromagnétique)
- Y-a-t'il des conditions spécifiques : perturbations électromagnétiques, température (min/max, variations...), éclairage ambiant (variation, luminosité, fréquence des éclairages...), vibrations...
- Distance entre l'objectif et l'objet/média à scruter
- Normes à respecter

Et ainsi de choisir :

- La bande de fréquence
- Le capteur adaptée à cette bande [incluant ses caractéristiques propres : définition (nb pixels hauteur x largeur), nb images/s qu'il est capable de délivrer...]
- La technologie (imagerie passive/active)
- L'optique (qui sert à concentrer les rayons, mais attention au matériau de l'optique selon la bande de fréquence dans laquelle on se trouve => ex du verre qui bloque l'infrarouge lointain)
- L'éclairage (notamment pour l'imagerie active)
- L'architecture technique nécessaire pour traiter les images (reconstruire les images issues du capteur, les améliorer...) et éventuellement les analyser (extraire des informations des images) :
  - > Puissance de calcul
  - > PC ou Embarqué
  - > I/O (y'a-t'il des I/O spécifiques [ex : aviation, militaire...])
  - > Débit nécessaire, interfaçage avec d'autres systèmes
- A-t-on besoin d'utiliser différents capteurs dans différentes bandes de fréquences ?
- A-t-on besoin de fusionner les images des différentes bandes ?
- Est-ce qu'on présente l'image ? L'information après analyse ? Ou les 2 ?
- A qui présente-t-on le résultat ? Homme ? Algorithme ? Les 2 ?

## COTS VS CUSTOM

Pour des projets exigeants, dans des domaines où l'erreur peut être fatale (aéronautique, militaire, spatial...), les produits COTS (Commercial Off-The-Shelf => produit sur étagère) peuvent difficilement avoir leur place dans un système global qui a besoin d'être optimisé et réalisé sur mesure.

Ci-dessous quelques exemples tirés de notre expérience personnelle et des différents projets développés dans l'aéronautique, le militaire ou le spatial :

### **Pré-traitement d'image :**

Les caméras dites «industrielles» sur étagère n'ont globalement pas de pré-traitement d'image complexe à bord (par exemple FPN correction, HDR, stabilisation). Et dans des systèmes complexes avec un très gros volume de données à traiter, il est important de le faire au plus près de la tête de caméra. On peut alors utiliser un FPGA qui joue le rôle de «Data Cruncher».

### **Puissance de calcul et capacité mémoire :**

Quand on a besoin de développer une application innovante (par ex. un système de guidage pour véhicule autonome), on a besoin d'utiliser des capteurs professionnels aux performances très élevées. Qui dit performances élevées, dit très gros volume de données capturé en temps réel et donc, nécessité d'une forte puissance de calcul pour traiter ces données et les analyser. Il peut s'agir de faire tourner des algorithmes de traitement d'image (par exemple correction de déformation optique, auto exposition) ou des algorithmes d'analyse d'image (détection, reconnaissance, identification, tracking...). Par exemple, un PC pourra traiter 1 caméra de 12Mpx, mais si le système est constitué de 6 caméras de 12Mpx, 1 PC seul (même très puissant) ne sera pas capable de traiter les flux de données générés. Il faudra en utiliser plusieurs en parallèles, ce qui sera loin d'être optimal et efficace avec des goulots d'étranglement tantôt côté puissance de calcul, tantôt au niveau des flux de données.

### **Form factor :**

Une caméra COTS est déjà dans un format imposé (à la fois concernant le boîtier mécanique mais évidemment aussi concernant les cartes électroniques qui la composent). Pour certains projets, le format mécanique des cartes électronique des têtes de caméra doit être spécifique pour répondre aux exigences de taille et de forme du caisson. Par exemple, dans un projet où il est nécessaire d'avoir plusieurs têtes de caméra (ex : besoin de capturer dans différentes bandes de fréquences ou vision panoramique) il est possible de faire rentrer plusieurs têtes dans le même caisson et de mutualiser les pré-traitements si besoin. Idem concernant le refroidissement et la gestion des optiques (monture, motorisation, autofocus...) qui peuvent être pensés et optimisés de manière globale.

### **Interfaces : compatibilité, robustesse et goulots d'étranglement :**

Il y aura toujours des problèmes de compatibilité entre les sous éléments COTS d'un système global optronique. Ces interfaces entre éléments, véritables «boîtes noires», coûtent toujours plus cher au final que de faire une conception sur mesure. Très souvent des protocoles propriétaires seront imposés constituant un réel frein dans un système de vision global. De la même manière, certaines contraintes liées à l'environnement de travail de la caméra (ex : vibration à l'intérieur d'un hélicoptère), peuvent conduire à créer des protocoles de transmission sur mesure pour des câbles haut débit. Enfin, certaines interfaces propriétaires peuvent constituer de réels goulots d'étranglement alors que dans un système pensé de manière globale, tout est plus fluide et optimisé. Sans parler de la latence dans la transmission entre la prise de vue et son traitement, qui peut être rédhibitoire dans certains cas (assistance au pilotage, par exemple).

### **Consommation électrique et refroidissement :**

La consommation électrique d'une optronique basée sur des caméras COTS sera supérieure à une architecture sur mesure, alors même que les pré-traitements d'image ne sont pas fait à bord des caméras COTS. Dans un système sur mesure, le besoin en composants électroniques est optimisé au strict nécessaire, diminuant ainsi de fait la consommation et le dégagement de chaleur.

### **Pannes, maintenance et responsabilités :**

En pensant la conception d'un projet de manière globale, on supprime des cartes inutiles qui viennent interfacer les différents écosystèmes, et donc des problèmes de panne potentiels, des problèmes de recherche de responsabilité et de maintenance du système global. In fine, on augmente sa fiabilité.

# A propos de Nexvision

Une expertise bout en bout des systèmes de vision ainsi qu'une intégration des dernières technologies tout droit sorties des laboratoires !

Nexvision est un bureau d'études optroniques spécialisé dans la conception et la fabrication de systèmes de vision complexes.

Notre équipe d'ingénieurs conçoit des systèmes de vision embarqués complets, du hardware au software, incluant des algorithmes de pointe de traitement et d'analyse d'images.

Nous sommes passionnés et exigeants. C'est pourquoi nous n'avons pas peur d'explorer des nouvelles technologies tout droit sorties des laboratoires pour les intégrer dans nos systèmes. Tel est notre ADN.



DEFENSE  
& SECURITE



INSPECTION  
INDUSTRIELLE



AERONAUTIQUE



MEDICAL

## CHIFFRES CLES

- Une équipe de **30** ingénieurs
- **16** ans d'existence et de projets passionnants
- **6** pôles d'expertise : optique, électronique, conception logique FPGA, logiciel embarqué, analyse d'image, mécanique
- **25** expertises techniques
- Une présence sur **4** continents (Europe, Amérique du nord, Afrique, Asie)
- Siège : basé à Marseille, sud de la France

## PARTENAIRES



PHOTONIS

SONY

XILINX

microoLed



TEXAS  
INSTRUMENTS

SAMSUNG



## Notre bureau d'études : votre meilleur partenaire pour dérisquer vos projets et développer des systèmes de vision au delà de l'état de l'art

Depuis plus de 16 ans, nous concevons des systèmes de vision innovants pour la plupart des grands acteurs de l'industrie aéronautique et défense en leur proposant des systèmes au delà de l'état de l'art qui leur permettent de garder une longueur d'avance à moindre risque. Nous sommes un bureau de R&D externalisé pour grands groupes en recherche d'innovation.

« Intégrer dans nos systèmes une technologie non mature mais très prometteuse est toujours un risque compliqué à prendre pour un grand groupe. Avec son tempérament d'explorateur, NEXVISION teste en continue de nouvelles options, ce qui nous permet d'être sûr que les solutions qu'ils proposent au delà de l'état de l'art sont fonctionnelles et dérisquées. Cela fait vraiment la différence. »

### CLIENTS



## Nos produits : une gamme spécifique pour le « situational awareness »

Nexvision développe également sa propre gamme de produits centrée autour du situational awareness. Destinés principalement aux applications défense et sécurité, ces produits embarquent le meilleur de notre savoir-faire et les dernières technologies sorties tout droit des laboratoires.

**Mots clés :** vision de nuit, vision panoramique, réalité augmentée, boule gyrostabilisée multispectrale, projecteur laser, fusion de capteurs.



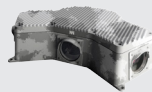
EXTREM OWL



GSG-9/11



DIGITOWL



PANOMIX



PANOSPOT



SLBS

# TABLEAU DES INTERFACES

Nom	Type	Applications / usages			Mode	Max definition Frame rate	Possibilité de passer sur fibre optique	Longueur max	Commentaire	Avantages	Inconvénients
		Capture	Display	Communi- cation							
Analog (PAL, NTSC, RGB)	analog	x	x		Unidirection- nel	720p30		interface historique encore utilisée pour certains modules caméras et afficheurs	simplicité	faible définition, basse qualité	
HDMI (1.3 - 1.4)	digital	x	x		Unidirection- nel	10 Gbits/s (8Kp30)	5m max	interface vidéo écran grand public	popularité	qualité grand public (pas terrible pour du professionnel)	
HDMI (2.0 - 2.1)	digital	x	x	x	Unidirection- nel	18 Gbits/s (8Kp60)	3m max	interface vidéo écran grand public	popularité	qualité grand public (pas terrible pour du professionnel)	
MHL 1.1	digital	x	x		Unidirection- nel	2,25 Gbits/s		interface vidéo écran grand public	HDMI simplifiés sur connectique micro usb3	peu répandu, débit limité	
SDI (12G-6G-3C-4K-SD) IN/OUT	digital	x	x		Unidirection- nel	12/6/3/1.5/0.27 Gbits/s	oui	interface vidéo profes- sionnelle (caméras & écrans)	simplicité, faible latence	interface vidéo uni- directionnel	
CoaxPress IN/OUT	digital	x	x	x	Full-duplex	6 Gbits/s - 21 Mbits/s		interface caméra indus- trielle	interface complète sur 1 seul coaxial (vidéo + données bi-direction- nelles + alimentation)	coût, complexité	
Ethernet 100Mbits/s	digital			x	Full-duplex	100 Mbits/s	oui	100m			
Ethernet 1Gbits/s	digital	x	x	x	Half-duplex	1 Gbits/s	oui	100m	popularité	débit limité, latence limitée à des com- mandes à très bas débit	
RS232 / RS485 / CAN / ARINC 429	digital			x					popularité		
PCIe (Gen 3.0) x1/x2/x4/x8/x16	digital			x	Full-duplex	80 Gbits/s (5 Gbits/s per lane)	oui	local PCB, quelques cm, 100m en FO	très haut débit	coût, complexité	
USB 2.0	digital			x	Half-duplex	480 Mbits/s		5 m	interfaçage externe		
USB 3.0	digital	x	x	x	Full-duplex	5 Gbits/s		5 m	interfaçage externe	latence	
(u)SD / SDHC / eMMC	digital			x		100 Mbits/s		local PCB, quelques cm	popularité		
SATA III	digital			x		6 Gbits/s		1 m	popularité	débit d'écriture limité	
NVMe	digital			x		24 Gbits/s en écriture		local PCB, quelques cm	popularité	nouveau standard (coût encore peu répandu)	
MIPI CSI	digital	x			Unidirection- nel			local PCB, quelques cm	interface caméra smart phone/tablette	interface miniatur	
MIPI DSI	digital		x		Unidirection- nel			local PCB, quelques cm	interface écran smart phone/tablette	interface miniatur	



## DAYLIGHT

*Dark limit of civil twilight under a clear sky*  
**More than 1 Lux**



## LEVEL 1

*Full moon on a clear night*  
**40 mLux to 1 Lux**



## LEVEL 2

*Full moon on a cloudy sky*  
**10 mLux to 40 mLux**



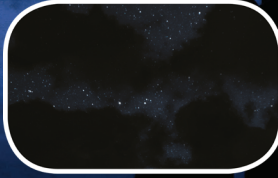
## LEVEL 3

*Quarter moon*  
**2 mLux to 10 mLux**



## LEVEL 4

*Dark, moonless, night sky (starlight)*  
**0.7 mLux to 2 mLux**



## LEVEL 5

*Very dark, moonless, overcast night sky (starlight) «can't see your hand in front of your face»*  
**100  $\mu$ Lux to 700  $\mu$ Lux**



## LEVEL 6

*Deep dark*  
**< 100  $\mu$ Lux**



Want more ?  
[www.nexvision.fr](http://www.nexvision.fr)