

ACHETER une caméra infrarouge

Isabelle RIBET^{1,2}

¹ONERA/DOTA, Laboratoire
détecteurs infrarouge

²Institut d'Optique Graduate School
isabelle.ribet@onera.fr

Les caméras infrarouge sont utilisées dans des domaines très variés : surveillance, contrôle des déperditions thermiques, vision industrielle, domotique, étude du climat, recherche fondamentale, ainsi que dans de nombreuses applications militaires.

Pour couvrir des besoins aussi variés, il existe sur le marché tout un éventail de produits commerciaux, allant du petit module de vision thermique pour smartphone (poids d'environ 100 g et prix de l'ordre de 250 €) à la caméra refroidie très haute performance (poids de plusieurs kilos, prix allant jusqu'à plus de 100 000 €).

L'infrarouge est un domaine spectral très large, couvrant les longueurs d'onde comprises entre 0,8 μm et 300 μm . Trois sous-bandes spectrales, correspondant aux fenêtres de transmission atmosphérique, s'avèrent particulièrement intéressantes pour les applications mentionnées ci-dessus : la bande SWIR (pour *short-wave infrared*, comprise entre 1 et 3 μm), la bande MWIR (pour *mid-wave infrared*, comprise entre 3 et 5 μm) et la bande LWIR (pour *long-wave infrared*, comprise entre 8 et 12 μm).

Anatomie d'une caméra infrarouge

On retrouve dans une caméra infrarouge les mêmes éléments que dans un caméscope numérique : un objectif, une matrice de détecteurs (appelée FPA pour *focal plane array*) et des cartes électroniques de pilotage et de remise en forme des signaux. Mais l'analogie s'arrête là. En effet, l'objectif est réalisé avec des matériaux spécifiques à l'infrarouge, tels que le germanium (Ge) ou le séléniure de zinc (ZnSe). La matrice de détecteurs, quant à elle, doit utiliser un matériau absorbant autre que le silicium, qui n'est plus sensible au-delà de 1,1 μm . Les semiconducteurs candidats ne manquent pas, d'où l'existence d'un nombre important de filières technologiques, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients.

Principales filières de détecteurs infrarouge

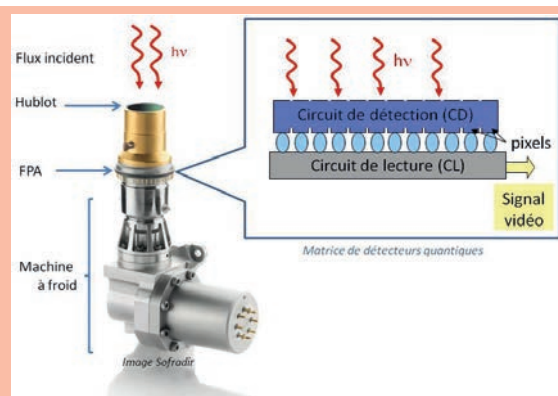
On distingue deux grandes familles de détecteurs infrarouge : les détecteurs quantiques (ou photoniques) et les détecteurs thermiques.

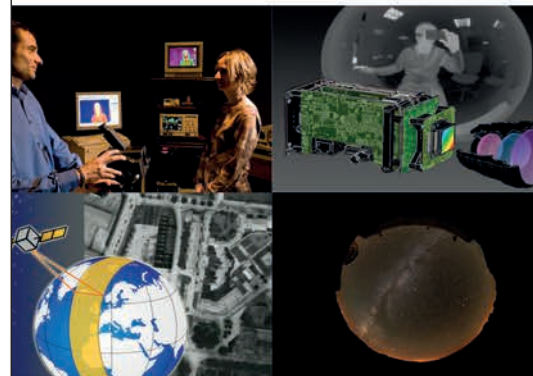
Dans les **détecteurs quantiques**, l'absorption d'un photon induit une transition électronique. Les alliages de semiconducteurs les plus utilisés sont : l'InGaAs (sensible entre 0,9 et 1,7 μm , bande SWIR), l'InSb (sensible entre 3 et 5 μm , bande MWIR), les multipuits quantiques GaAs/AlGaAs (sensibles autour de 9 μm , bande LWIR), ou encore l'HgCdTe (sensible, selon sa composition, en bande SWIR, MWIR et/ou LWIR). Pour obtenir l'ensemble des pixels qui constituent le circuit de détection (CD), ces matériaux peuvent être utilisés dans une structure de type photovoltaïque (photodiode) ou



△ Figure 1. Exemples de caméras infrarouge commerciales : (a) module pour smartphone ; (b) caméra thermique compacte portable ; (c) caméra thermique refroidie hautes performances.

▷ Figure 2. Exemple de bloc détecteur refroidi (Scorpio MWIR de Sofradir), avec en insert l'architecture d'un FPA quantique.



5 stages de formation continue en
 infrarouge et systèmes optroniques

Infrarouge thermique : principes (EF4)

Choisir et utiliser des équipements pour l'infrarouge thermique

Systèmes optroniques (SC12)

Comprendre et dimensionner un système optronique, (applications liées à la défense, etc.)

Anatomie d'une caméra infrarouge (SC11)

Spécifier, concevoir et évaluer une caméra infrarouge (refroidie ou non refroidie) en applications militaires ou civiles

Vision bas niveau de lumière et imagerie à comptage de photons (SC13)

Spécifier, concevoir et faire évoluer des systèmes bas niveau de lumière

Systèmes de vidéosurveillance et traitements d'images (SC16)

Spécifier, concevoir et évaluer des systèmes de vidéosurveillance

- Formateurs-experts reconnus
- Large couverture des applications défense
- Nombreux intervenants industriels
- Mise en pratique immédiate dans les laboratoires de l'Institut d'Optique
- Cohérence pédagogique

Contact

emilie.ericher@institutoptique.fr



Figure 3. Une caméra infrarouge embarquée sur un drone permet de réaliser le diagnostic des déperditions thermiques d'habitations (image en bande LWIR, source : TechniVue).

photoconductrice. Une fois le signal électrique généré, il doit être lu et remis en forme: c'est le rôle du circuit de lecture (CL), réalisé en silicium et en technologie CMOS (c'est-à-dire que la conversion charge/tension s'effectue sous chaque pixel, et que l'adressage des pixels est direct). La connexion mécanique et électrique entre le CD et le CL, constitués de semi-conducteurs différents, constitue une étape technologique complexe appelée hybridation. Elle peut par exemple être réalisée par l'intermédiaire de microbilles d'indium (voir figure 2). Une des particularités des détecteurs quantiques est que la plupart d'entre eux nécessitent d'être refroidis pour s'affranchir du courant d'obscurité (courant prenant naissance en l'absence d'éclairement incident et limitant la dynamique et le rapport signal à bruit). La température de fonctionnement requise dépend de la bande spectrale considérée: de la température ambiante à 200 K en bande SWIR, de 150 K à 80 K en bande MWIR, et de 80 K à 50 K en bande LWIR. Ce refroidissement est généralement obtenu grâce à une machine à froid (voire avec un simple élément Peltier pour les températures de fonctionnement les plus élevées). Cela complexifie la mise en œuvre de ces détecteurs, mais permet en retour d'accéder à de hautes performances.

Les **détecteurs thermiques** constituent la deuxième grande famille de détecteurs infrarouge. Leur principe de fonctionnement est différent, puisque c'est l'échauffement induit par le flux de photons incidents sur une fine

membrane qui fait varier un paramètre physique du matériau la constituant (par exemple, la résistance électrique dans le cas des microbolomètres). Contrairement à leurs concurrents quantiques, ils ne nécessitent pas de refroidissement à très basse température (certains sont stabilisés en température par un élément Peltier, ou TEC pour *thermoelectric cooler*). Même si leurs performances sont en constante évolution, elles restent un peu en retrait face aux détecteurs quantiques. En revanche, les détecteurs thermiques sont plus petits, plus légers, et donc plus faciles à intégrer dans une caméra.

Critères de choix d'une caméra infrarouge

Le premier critère à prendre en compte est le format du FPA, qui peut aller de 80×60 pixels (modules de première génération pour smartphones) à plus de 1000×1000 pixels (caméras hautes performances). Ces formats restent bien inférieurs à ce qui se fait dans le domaine du visible. Cela est directement lié aux difficultés de réalisation technologique des détecteurs infrarouges. Le nombre de pixels requis dépend de l'application: par exemple, si on veut faire l'image d'une zone de 0,5×0,5 m avec une résolution millimétrique, il faudra un format supérieur à 500×500 pixels. Notons que pour une caméra donnée il est généralement possible de choisir entre plusieurs objectifs, de longueurs focales différentes. Une fois la matrice de détecteurs fixée, c'est en effet la longueur focale qui détermine le champ total vu par la caméra (souvent appelé FOV pour *field of view*, et exprimé en degrés).

Se pose ensuite la question de la bande spectrale: SWIR, MWIR ou LWIR? Il est important de comprendre que l'origine du rayonnement n'est pas la même dans ces trois bandes: en SWIR, le signal infrarouge vient majoritairement de la réflexion de l'éclairage ambiant, comme dans le visible. Le contraste observé dans une image SWIR provient donc des différences de facteur de réflexion, et les images

sont assez similaires aux images noir et blanc données par un appareil photo numérique, à part quelques inversions de contraste parfois spectaculaires (les cheveux et la végétation apparaissent blancs). La bande SWIR peut également être intéressante pour sa robustesse en conditions de visibilité dégradées (applications marines par exemple). Dans les bandes MWIR et LWIR (infrarouge dit « thermique »), le signal infrarouge vient majoritairement de l'émission propre des objets. Il est donc directement lié à leur température, ce qui permet de faire de la thermographie infrarouge. La loi du corps noir prédit que les objets à température ambiante émettent un maximum de rayonnement dans la bande LWIR, alors que la bande MWIR est, en principe, mieux adaptée à des scènes contenant des points chauds (feux de forêt, par exemple). Attention tout de même à la transmission atmosphérique en bande LWIR, qui sera vite

dégradée en présence de vapeur d'eau. Mais surtout, ne pas oublier que le choix de la bande spectrale impactera aussi les conditions de mise en œuvre (besoin en cryogénie) ... et le prix !

Les performances d'une caméra infrarouge sont directement liées à sa sensibilité. En bande MWIR et LWIR, on utilise la notion de NETD (pour *noise equivalent temperature difference* ou différence de température équivalente au bruit), qui est la plus petite différence de température qu'il est possible de distinguer. Les caméras thermiques (donc non refroidies) permettent d'atteindre des NETD de 30-50 mK, contre 15-20 mK pour les caméras quantiques (refroidies), d'où la notion de « hautes performances » pour ces dernières.

Pour les applications mettant en jeu des phénomènes rapides, la cadence image est également un paramètre de première importance. Les cadences typiques des caméras thermiques (non refroidies) vont de 30 à 60 Hz, contre

30 à quelques centaines de Hz pour les modèles quantiques (refroidis). Ces derniers bénéficient souvent d'un mode fenêtrage, qui permet d'augmenter la cadence d'acquisition jusqu'au kHz (mais en perdant en résolution).

Selon les applications, d'autres critères peuvent entrer en ligne de compte, notamment la taille, le poids et la puissance électrique consommée (SWaP en anglais, pour *size, weight and power*). À ce niveau, l'avantage est clairement aux filières thermiques (non refroidies), qui proposent les caméras portables les plus compactes. Si la caméra doit être intégrée dans un environnement sévère (essais en vol, par exemple), il faudra également porter attention à l'indice de protection (IP). Enfin, bien évidemment, reste le critère du prix : comptez de quelques centaines d'euros à 30 000 € pour une caméra thermique (non refroidie), et de 20 000 € à plus de 100 000 € pour une caméra quantique (refroidie).

MARQUE	PRODUITS	INFOS	DISTRIBUTEURS EN FRANCE
Flir	Toutes caméras du SWIR au LWIR (thermiques ou quantiques)	flir@flir.com	Equipements Scientifiques : Pierre-Yves Malras, +33 1 47 95 99 47 France Infra Rouge : Rémi Pirodon, +33 6 23 20 68 33 Thermoconcept : Richard Huillery, +33 5 47 74 62 12
Infratec	Toutes caméras du MWIR au LWIR (thermiques ou quantiques)	web@InfraTec.de	DB Vib Technologies : Sébastien Meunier, +33 4 74 16 18 80
Xenics	Toutes caméras du SWIR au LWIR (thermiques ou quantiques)	sales@xenics.com	Elvitec : Amélie Roy, +33 4 90 09 24 36 Laser 2000 : Sébastien Poujol, +33 5 57 10 92 87 Stemmer Imaging : Alexandre Kairo, +33 1 45 06 95 60
Telops	Caméras quantiques hautes performances MWIR et LWIR	www.telops.com	Telops France : Eric Guyot, +33 1 70 27 71 34
Raptor	Caméras SWIR	sales@raptorphotonics.com	LFE SAS : M. Peralta, +33 1 39 23 83 06, OptoPrim France : Arnaud Langlois, +33 1 41 90 33 74
Photonic Science	Caméras SWIR	info@photonic-science.co.uk	Photonic Science Sales / Marketing - France : Daniel Brau, +33 4 76 93 57 20
Jenoptik	Caméras LWIR thermiques	sensor.sales@jenoptik.com	Jenoptik Industrial Metrology France : Jérôme Chabenat, +33 6 88 20 81 29
Fluke	Caméras LWIR thermiques portables	roc.france@fluke.nl	Fluke France : +33 1 70 80 00 03
Optris	Bolomètre	hubert.viarouge@optris.com	Optris : Hubert Viarouge, +49 30 50 01 9749