

Le rayonnement infrarouge

Exploration au-delà de la lumière visible
Pistes pour applications dans le spectacle vivant

Dossier technique

Table des matières

Projet du présent dossier	page 3
1. Définition(s) du rayonnement infrarouge	
A) Généralités	page 4
B) Classement des rayonnements	page 5
C) Historique de la découverte	page 5
2. Champ d'application du rayonnement infrarouge de nos jours	
A) Obtenir des images	page 7
B) Analyse thermique	page 8
C) Spectrographie infrarouge	page 8
D) Chauffage	page 8
E) Transmission de données	page 9
3. L'utilisation d'une caméra infrarouge dans le spectacle vivant	
A) Principe	page 10
B) Choix d'une caméra infrarouge	page 11
C) Filtres infrarouges	page 12
D) Eclairage	
a) les projecteurs infrarouges	page 14
b) Fabriquer sa « lumière infrarouge »	page 15
c) Sources fréquentes d'éclairage qui ne produisent pas de rayonnement infrarouge proche	page 16
d) Supprimer le rayonnement infrarouge ?	page 17
E) Applications	
a) Filmer dans l'obscurité	page 18
b) Détection de mouvement (camera tracking)	page 19
c) Détection du mouvement d'un ou plusieurs points précis	page 21
d) Applications esthétiques	page 22
F) Note sur les costumes et décors	page 22
Pour conclure cette étude	page 23
Annexes	
Annexe 1 : Présentation d'une caméra infrarouge	page 24
Annexe 2 : Transmission des filtres infrarouges Kodak	page 25
Annexe 3 : Pistes pour la suppression du rayonnement infrarouge	page 27
Annexe 4 : Exemple de logiciels et applications permettant la détection de mouvement par vidéo (camera tracking)	page 28
Bibliographie thématique	page 29

Projet du présent dossier

Le spectacle vivant a toujours su profiter des avancées technologiques d'autres domaines, détourner pour son propre compte des innovations nées de découvertes scientifiques, fruit d'années de recherche laborieuse et onéreuse. Actuellement, les progrès effectués dans le domaine de la vidéosurveillance, de la détection de présence, allant de pair avec une démocratisation des coûts concernant le matériel, intéressent de plus en plus certains professionnels du spectacle, qu'ils soient metteurs en scène, vidéastes ou concepteurs sonores.

Pourtant, peu d'éclairagistes portent leur attention sur les possibilités offertes par le rayonnement infrarouge, alors qu'il s'agit après tout d'une forme d'éclairage. Certes, il peut sembler saugrenu de chercher à produire une « lumière » invisible à l'œil, que le spectateur ne verra pas, à moins d'être équipé de lunettes spécifiques encore très chères et sans grand intérêt.

Le présent dossier n'a pas la prétention de traiter du rayonnement infrarouge d'un point de vue scientifique, d'explorer des champs d'application ardu et très spécifiques à certaines professions, dont l'impact pour le spectacle serait moins évident que dans d'autres domaines (mais il n'est pas dit que cet impact n'existe pas !). Le but ici est d'entrebâiller une porte sur un nouveau champ des possibles. La portée de ce dossier se veut avant tout pratique. Les grands principes du rayonnement infrarouge sont expliqués, des exemples d'applications déjà mises en œuvre lors de spectacles sont présentés, au lecteur de se nourrir de ces informations, de poursuivre s'il le souhaite sa documentation, et de laisser libre cours à son imagination et à son ingéniosité pour découvrir d'autres manières d'exploiter ce rayonnement.

Nous ne sommes pas là dans une course à la technologie, dans un défi de technicité. Simplement, il y a des choses que l'on ne pourrait pas effectuer sans ces précieux rayons invisibles. Maîtriser certains outils, en développer de nouveaux, permet d'ouvrir de nouveaux potentiels artistiques et esthétiques, ne l'oublions pas.

1. Définition(s) du rayonnement infrarouge

A) Généralités

Spontanément, lorsque l'on entend le terme "infrarouge", nous pensons au rayonnement calorifique. Autant tuer tout de suite l'idée reçue, selon laquelle le rayonnement infrarouge est synonyme de chaleur, car cela est faux. Une led infrarouge (par exemple, celle de la télécommande du magnétoscope) émet un rayonnement, mais elle ne nous paraît pas chaude lorsque l'on passe le doigt dessus. En effet, la chaleur émise par une source d'éclairage dépend de sa technologie et de sa puissance. La led chauffe très peu car elle a une puissance de quelques milliwatts, mais cela ne l'empêche pas d'émettre un rayonnement infrarouge.

La matière émet et absorbe en permanence un rayonnement électromagnétique. Dans certaines conditions très précises, les longueurs d'onde émises sont comprises dans une portion à laquelle notre œil est sensible. C'est le spectre de la lumière visible, de 380 à 750 nm, qui se décompose elle-même en ce que notre œil est capable d'interpréter comme des couleurs. Comme le souligne Hans Dogigli, dans *La Magie des Rayons*, « nous ne nous rendons guère compte que nous vivons pratiquement au fond d'une mer incommensurable de rayons, une mer dont nos yeux ne perçoivent qu'une infime partie »¹. Le rayonnement infrarouge appartient à cette « mer ». Il est situé, en termes de longueurs d'onde, en deçà de la lumière rouge, d'où le terme d' « infrarouge », dont l'étymologie grecque signifie précisément cela. Les longueurs d'onde du rayonnement infrarouge vont de 750 à 1 000 000 nm. Après, un nouveau domaine émerge, celui des ondes terahertz.

L'infrarouge, ce n'est pas qu'une histoire de chaleur, mais cela entretient un rapport à la température. Qu'est-ce que la chaleur ? En soi, « une molécule n'est ni chaude, ni froide. Elle n'a pas de température. Ce que nous appelons chaleur n'est que le mouvement désordonné d'une multitude de molécules »². Lorsque les molécules sont en mouvement, cela modifie le rayonnement électromagnétique. Ainsi, selon Gilbert Gaussorgues, dans *La thermographie infrarouge*, « une élévation de la température accroît l'agitation moléculaire au sein de la matière et favorise l'accélération des particules porteuses de charges électriques, génératrice du rayonnement »³. Du point de vue du rayonnement infrarouge, plus la température s'élève, plus les longueurs d'onde émises diminuent⁴.

On pourrait donc croire que plus on s'approche du spectre de la lumière visible, plus la matière émettant ce rayonnement a une température élevée. Pourtant, lorsque je regarde la documentation technique, une led infrarouge émet une longueur d'onde de 850 nm, par exemple, tandis que les lampes infrarouges

¹ Hans Dogigli, *La Magie des rayons*, éditions Le Centurion, Paris, 1958, 215 pages. Chapitre 2, « Magie par l'infrarouge », page 50.

² *Op. cit.*, page 55.

³ Gilbert Gaussorgues, *La thermographie infrarouge*, Editions Tec et Doc, Paris, 1999, 4^{ème} édition revue et corrigée, 590 pages. Chapitre 2, « Les origines du rayonnement infrarouge », page 14.

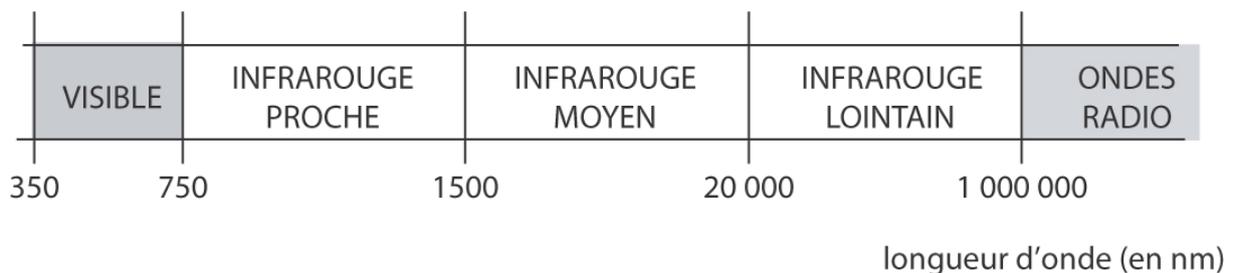
⁴ « La longueur d'onde du rayonnement émis croît en raison inverse de l'énergie mise en cause dans la transition. », *Op. cit.*, page 14.

destinées aux couveuses vendues par Osram, émettent un rayonnement compris entre 1000 et 1200 nm. La led me semble froide, la lampe me brûle la main, alors que le rayonnement infrarouge de la led est d'une longueur d'onde plus courte que celle de la lampe thermique. La différence de température s'explique ici par le fait que la puissance de la led est inférieure au watt, alors que la lampe couveuse a une puissance d'environ 100 watts. Quoi qu'il en soit, la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique ne dépend pas que de la température, mais elle est conditionnée par la structure moléculaire. A température égale, une barre de fer n'aura pas le même rayonnement infrarouge qu'un morceau de bois. De même, comme la led et la lampe infrarouge sont composées de matériaux différents, il n'est pas possible d'en déduire leur température l'une par rapport à l'autre, en ne tenant compte que de la longueur d'onde émise.

B) Classement des rayonnements

Il est assez difficile de produire un classement exact des différents types de rayonnement infrarouge, car il n'existe pas de norme partagée par toutes les technologies, chaque domaine d'activité classant les rayonnements à sa convenance, selon son champ d'exploitation et ses besoins. Afin de baliser le terrain, nous reportons ici, malgré son caractère grossier, la classification effectuée par Gilbert Gaussorgues.⁵

Les trois grandes régions du spectre infrarouge



Cette classification a été faite en fonction des détecteurs capables de les déceler. Selon la portion du spectre infrarouge exploitée, l'unité utilisée pour indiquer les longueurs d'onde n'est pas la même. Les physiciens s'intéressant à l'infrarouge lointain utilisent l'électron-volt, alors que ceux du spectre moyen utilisent plutôt le micromètre (μm), pour éviter de manipuler des valeurs trop grandes. Comme nous sommes habitués, pour la lumière visible, à employer le nanomètre, nous ferons la conversion aussi souvent que nécessaire (en multipliant par 1000 lorsqu'il s'agit de passer du micromètre au nanomètre).

C) Historique de la découverte

Newton avait mis en évidence la présence du spectre de la lumière solaire, en décomposant celle-ci au moyen d'un prisme qui dévie peu les rayons rouges et beaucoup les rayons violets.

⁵ *Op. cit.*, page 15.

En 1800, sir William Herschell découvre l'existence d'un rayonnement thermique en dehors du spectre de la lumière visible. L'astronome déplace un thermomètre à alcool sur le spectre solaire, du violet vers le rouge. Il constate que la température continue à augmenter bien au-delà du rouge et présente une mesure maximale en un endroit où l'œil ne perçoit pourtant aucun éclaircissement. Il comprend que la lumière solaire contient un rayonnement au-delà du spectre visible et que ce rayonnement apporte une plus grande quantité d'énergie que le spectre visible. Il en déduit qu'il en est de même pour le rayonnement thermique du feu : il y a les rayons que l'on voit, et les rayons qui chauffent mais que l'on ne voit pas. Ce fut la toute première mise en évidence des radiations qui ne sont pas visibles à l'œil⁶. Ces rayons furent baptisés « infrarouges », en deçà du rouge. Herschell prouva par la suite que ces rayons invisibles obéissaient aux mêmes lois que ceux de la lumière visible.

Vers 1830 sont développés les premiers détecteurs de ce type de rayonnement. Ce sont des thermocouples, appelées thermopiles, qui détectent l'infrarouge proche. Au cours du XIX^{ème} siècle, d'autres types de détecteurs, de plus en plus précis sont inventés. Cependant, ceux-ci concernent essentiellement l'infrarouge proche.

Il faut attendre les années 1930, jusqu'en 1944, pour voir apparaître, dans le domaine militaire, des détecteurs au sulfure de plomb, sensibles à la bande de 1500 à 3000 nm, soit l'infrarouge moyen.

Les détecteurs ne cessent d'évoluer. Dans les années 1960, de nouvelles technologies permettent l'extension des rayons détectés jusqu'à 14 000 nm. C'est à partir de ces technologies qu'apparaissent les premiers systèmes d'imagerie thermique, basés sur l'analyse des rayonnements entre 2000 et 15 000 nm.

Compte tenu de l'historique de la découverte, nous pouvons aisément comprendre pourquoi l'infrarouge proche est celui qui est le mieux connu, alors que l'infrarouge lointain, bien qu'exploité également, constitue toujours un champ d'investigation pour les chercheurs. Il s'agit également de souligner que le rayonnement infrarouge, quel qu'il soit, est toujours exploité par des technologies transdisciplinaires. Par exemple, actuellement, le procédé de thermographie infrarouge met en œuvre non seulement des problématiques d'optique, de sensibilité du capteur, mais aussi de transfert des données et d'analyse au moyen de logiciels informatiques. Comme pour bien d'autres technologies, les progrès rencontrés dans différents domaines influencent donc naturellement la manière d'exploiter le rayonnement infrarouge.

⁶ Armand Hadni, *L'infrarouge*, Presses Universitaires de France, collection « Que sais-je ? », Paris, 1975, 130 pages. Introduction, page 5.

2. Champ d'application du rayonnement infrarouge de nos jours

Il existe de très nombreux domaines où le rayonnement infrarouge est utilisé, de différentes manières. On peut lister les principaux usages.

A) Obtenir des images

Pour les physiciens, le rayonnement électromagnétique, vecteur de l'interaction entre certaines particules élémentaires, est la lumière. Cette définition ne signifie pas que ce rayonnement est nécessairement visible. Cependant, certains capteurs sont sensibles à des longueurs d'onde au-delà de la lumière visible à notre œil. Cela ne signifie pas qu'ils sont capables de rendre une image dans l'obscurité totale, ils ont besoin d'un apport en "lumière infrarouge", afin de pouvoir donner sur l'image l'impression qu'il y a une source de lumière qui n'est pas vue par l'œil, mais qui possède les mêmes propriétés que la lumière visible.

Ces capteurs sont sensibles aux rayonnements infrarouges proches, soit entre 750 et 1000 nm environ.

Ce procédé est principalement utilisé en vidéosurveillance et en prise de vue (par exemple, pour filmer des animaux sauvages). C'est ce qu'on appelle communément la fonction "nightshot" (vision de nuit) sur une caméra.

Les pellicules photographiques sensibles aux infrarouges fonctionnent selon le même principe. Certaines sont en noir et blanc, d'autres sont traitées de manière à demeurer sensibles aux couleurs (rayonnement visible) tout en étant sensibles au rayonnement infrarouge. Il existe également des appareils photographiques numériques qui ont une fonction « prise de vue IR ». Des filtres sous Photoshop permettent de traiter une image pour donner l'idée qu'elle a été prise avec une pellicule sensible à l'infrarouge.

D'autres capteurs, beaucoup plus coûteux, sont capables d'analyser le rayonnement infrarouge émis par des corps, appelé alors "rayonnement thermique", car chaque corps émet différentes longueurs d'onde en fonction de sa température et de sa structure moléculaire. L'appareil analyse ces longueurs d'onde, et selon un étalonnage donné, rend une image en noir et blanc, ou en fausses couleurs, de la scène, sans avoir besoin de source d'éclairage, qu'elle soit visible ou infrarouge. C'est la chaleur des corps ou des objets qui imprime une image sur le capteur.

Ces capteurs sont sensibles, suivant leur plage de température et le type de matériaux analysés, aux rayonnements moyens et, dans certains cas, à l'infrarouge lointain.

On rencontre ce type de capteurs également en vidéosurveillance, mais surtout pour des applications de surveillance aérienne et militaire. On peut ainsi, sur le cliché noir et blanc d'une base aérienne, différencier les appareils au sol : ceux qui viennent de se poser (dont le moteur est chaud), ceux qui n'ont pas bougé depuis longtemps (moteur froid) et ceux qui sont en mouvement (ils laissent une traînée derrière eux).

Même si ces caméras n'ont pas pour but de permettre des mesures de température, c'est bien à une analyse calorifique qu'elles se livrent. Le terme de

"caméra infrarouge" désigne aussi bien le premier type de caméra que le second. Pour des raisons de clarté, nous prenons le parti de réserver l'expression "caméra infrarouge" pour le premier type de caméra (le moins cher et le plus fréquent) et de nommer le second "caméra thermique", qui nous semble de toute manière plus approprié.

B) Analyse thermique

On utilise le même type de capteur mentionné précédemment, mais on effectue un étalonnage très précis, en fonction de la température. Le rendu se fait généralement en fausses couleurs. Cette technique permet d'effectuer des mesures de température, à distance, de manière différentielle et visuelle. Les applications sont extrêmement nombreuses! Par exemple, en industrie, cela permet de cibler les zones de frottement (et donc d'usure) sur les chaînes de construction. En électricité, on peut déterminer quels sont les câbles qui conduisent de l'énergie à un moment précis, ou quels sont les points critiques, où les câbles et autres composants chauffent anormalement. Des agriculteurs emploient cette technologie pour détecter les animaux malades au sein du troupeau.

C) Spectrographie infrarouge

Il s'agit d'un procédé d'analyse moléculaire effectué en laboratoire. A l'aide de capteurs encore plus sensibles que ceux mentionnés précédemment, on enregistre le rayonnement émis par des produits, selon un protocole d'enregistrement défini très précisément. Le principe n'est pas d'obtenir des images mais des courbes de mesure. On possède des tableaux de comparaison qui permettent ensuite de reconnaître les molécules contenues dans les produits et de déterminer leur proportion. Cela est utilisé notamment en industrie agro-alimentaire, pour connaître les proportions de glucides, lipides et protéines (ainsi que les types de lipides, protéines, etc.) contenues dans les produits fabriqués, dont on trouve ensuite mention sur les emballages. Cette technologie exploite le rayonnement infrarouge moyen et proche, suivant le protocole de mesure adopté.

D) Chauffage

Puisque le rayonnement infrarouge peut être calorifique, il est donc logique de produire artificiellement une certaine plage de longueur d'onde afin de produire de la chaleur. On obtient une production de chaleur directionnelle qui se véhicule par l'air sans intermédiaire de fluide et qui pénètre assez profondément les tissus. Les applications sont à nouveau très nombreuses : on peut en équiper une couveuse pour maintenir les œufs et les poussins à une température bénéfique pour leur développement, l'industrie les utilise pour le séchage (peintures, tissus, etc.), des lampes infrarouges sont vendues aux particuliers pour soulager à domicile leurs douleurs musculaires (l'efficacité réelle étant toutefois contestée), au restaurant elles permettent de garder les plats chauds.

Il s'agit cependant de distinguer immédiatement ces « lampes infrarouges » de celles destinées à l'éclairage de scènes de nuit. En effet, le but de ces lampes est de

produire des rayons qui chauffent et non qui éclairent. Elles produisent un rayonnement situé entre 1000 et 2000 nm, suivant les modèles, alors que l'optique d'une caméra infrarouge sera surtout sensible aux longueurs d'onde proches de la lumière visible pour notre œil (750 nm) et perdra en sensibilité au fur et à mesure que l'on s'en éloignera.

E) Transmission de données

Ceci concerne tout ce qui utilise l'émission et la réception d'un rayonnement infrarouge, en vue de transmettre et d'obtenir des informations. D'un point de vue basique, il s'agit d'employer une led qui émet une seule longueur d'onde précise (souvent comprise entre 850 et 950 nm), de la moduler selon un signal produit par un circuit électronique, et de pointer ce signal vers un détecteur relié à un autre circuit électronique transformant à nouveau ce signal en informations utiles pour un appareil. L'exemple le plus courant est la télécommande d'un téléviseur ou le boîtier permettant d'ouvrir ou de verrouiller à distance les portières d'une voiture.

Le principe permet aussi d'autres applications. Il existe des cas où l'émetteur et le récepteur sont situés sur le même appareil. On peut ainsi connaître une distance, par exemple, en sachant le temps qu'il faut à un signal émis pour être réfléchi par un objet et revenir vers le récepteur. C'est ainsi que fonctionne la mise au point automatique, dite alors active, de certains appareils photo ou caméscopes. Si la technologie infrarouge permet de connaître une distance, on imagine alors le nombre d'applications possibles : détection du niveau de remplissage d'une cuve, détection de la position des aiguilles d'horloges radiocommandées, etc.

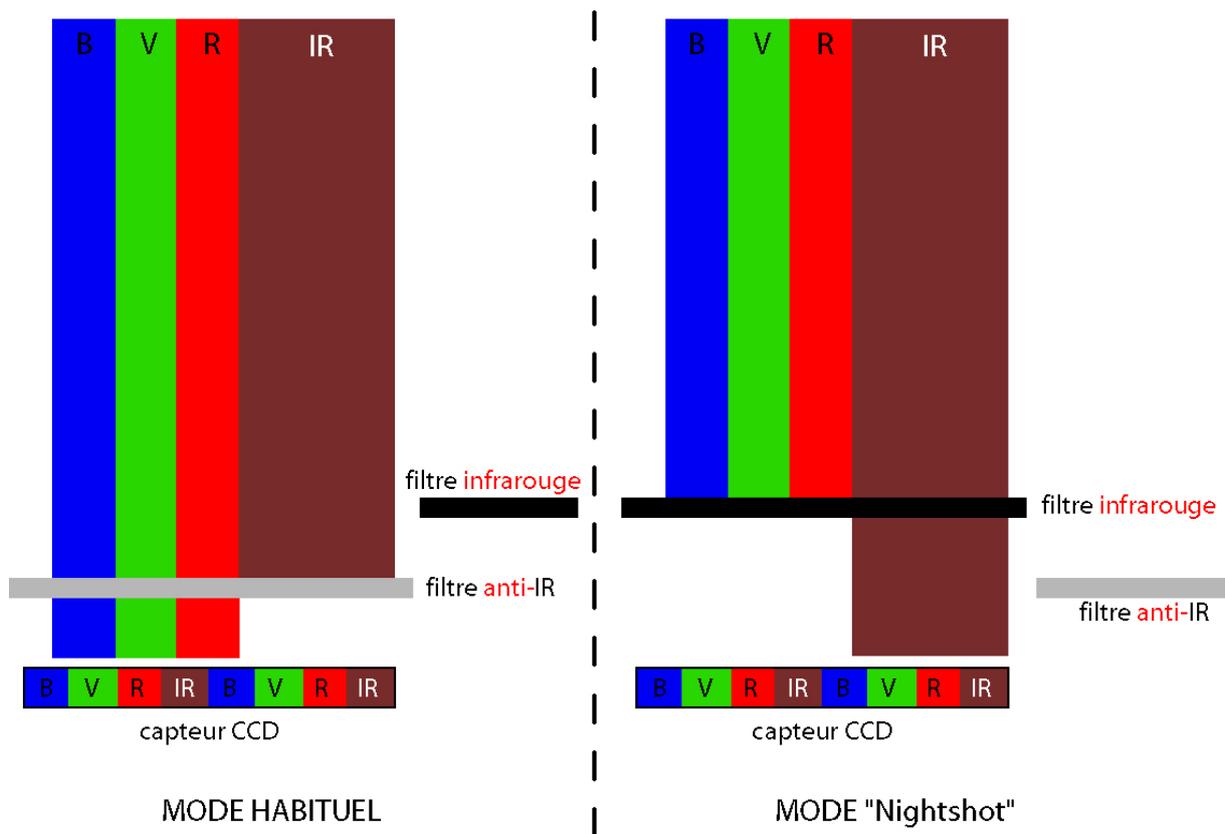
Nous pouvons aussi mentionner le cas où un signal est émis en continu vers un récepteur. Lorsque le signal est interrompu, par exemple par le passage d'un animal ou d'une personne, cela déclenche quelque chose (un signal d'alarme dans le cas d'un détecteur d'intrusion, un appareil photo dans le cas d'un "piège" pour obtenir le cliché d'un animal sauvage).

Nous venons sans doute d'énumérer une portion infime des applications actuelles exploitant le rayonnement infrarouge. Il est bien évident qu'il ne sera pas possible de toutes les détailler. Nous espérons que les restrictions auxquelles nous procéderons seront judicieuses, et que le présent dossier saura satisfaire la curiosité du lecteur et que cela l'inspirera pour exploiter lui aussi le rayonnement infrarouge, de quelque manière que ce soit, dans le cadre de sa pratique artistique. La bibliographie présente en fin de dossier lui permettra sans doute d'orienter ses recherches et de trouver si besoin un complément d'information, ainsi que des pistes pour se procurer du matériel.

3. L'utilisation d'une caméra infrarouge dans le spectacle vivant

A) Principe

Ce que l'on appelle communément « caméra infrarouge » n'est en général pas dédiée au seul spectre infrarouge. Il s'agit d'une caméra sensible à la lumière visible et dont la sensibilité a été étendue à l'infrarouge proche. Celle-ci reste meilleure pour la lumière visible, elle décroît rapidement dès lors que l'on s'en éloigne. Selon le type de caméra, certaines ont deux modes, celui normal et celui appelé « nightshot » ou « night sight », NightShot étant une technologie brevetée par la marque Sony.



Pour comprendre le fonctionnement, il est intéressant de savoir ce qui se passe lorsque la caméra passe en mode « vision de nuit ». Tous les capteurs CCD et tri-CCD ont une couche photosensible au rayonnement infrarouge. Pour éviter des soucis de mise au point, de moirage et de couleurs non respectées, toutes les caméras professionnelles et grand public possèdent un filtre qui coupe l'infrarouge et restreint donc l'impact des rayonnements sur le capteur à la seule lumière visible. La grande innovation de Sony est d'avoir rendu ce filtre amovible, qui est alors remplacé par un autre filtre, qui lui, inversement, supprime en majeure partie la lumière visible arrivant au capteur. De plus, l'optique est prévue pour réagir à ce nouveau type d'éclairage, l'iris s'ouvre largement et les lentilles ont une mobilité plus grande pour permettre une mise au point relativement correcte dans ces conditions particulières. D'autres fonctions, telles que le gain et le shutter (nombre d'images par seconde) peuvent aider à augmenter la luminosité de l'image, au détriment de sa qualité (bruit, flés sur les mouvements). L'image obtenue en mode « nightshot » avec une caméra couleur est verdâtre, c'est une des aberrations de couleurs que supprime, en mode

normal, la présence du filtre qui coupe le rayonnement infrarouge. Il est souvent judicieux d'exploiter le mode « nightshot » en passant l'image en niveaux de gris, soit directement sur la caméra ou en traitement externe (post-production ou temps réel, suivant l'exploitation).

Si le filtre coupant l'infrarouge n'était pas présent sur le capteur en mode normal, cela entraînerait non seulement des problèmes de rendu des couleurs, mais aussi de mise au point, car celle-ci ne se fait pas au même endroit, lorsque l'on est en lumière visible et lorsque l'on filme avec un rayonnement infrarouge. Il y aurait donc deux points nets possibles sur la même image et l'un serait forcément net alors que l'autre serait flou. Cela signifie aussi qu'il n'est pas possible de faire le point en lumière normale, puis de passer en mode « nightshot » en espérant conserver la même netteté.

B) Choix d'une caméra infrarouge

Il s'agit ici d'attirer l'attention sur quelques critères de sélection. Cependant, le choix d'une caméra dépend nécessairement de l'utilisation qui en sera faite, de la qualité d'image attendue et du budget dont on dispose. Nous ne pouvons donc pas prétendre aiguiller le lecteur vers la caméra qui répondra à coup sûr à ses besoins.

Avant tout, il est impossible de faire l'impasse sur les critères de choix courants pour l'acquisition d'une caméra, qu'elle soit infrarouge ou non :

- résolution de l'image (hauteur et largeur en pixels)
- système de balayage (nombre de lignes)
- nombre d'images par seconde
- signal vidéo de sortie (encodage)
- connectiques de sortie (S-Vidéo, FireWire, BNC, etc.)
- réglages disponibles en mode manuel (mise au point, iris, etc.)

Ensuite, il convient, selon l'usage qu'il sera fait en spectacle, de s'interroger sur la nécessité d'avoir un système d'enregistrement intégré, c'est-à-dire de choisir de posséder un caméscope ou une caméra (sans système d'enregistrement : elle ne fait que capturer des images et il faut donc la relier à un système d'enregistrement ou de lecture directe externe). L'intérêt d'opter pour une caméra est que l'on peut alors prospecter sur le marché extrêmement vaste des caméras dédiées à la vidéosurveillance. De plus, le prix est alors diminué par rapport à un caméscope, puisque l'on n'achète que le capteur et l'optique. Il est ainsi possible de s'offrir, à budget égal, une caméra professionnelle, alors que seul un caméscope grand public aurait été accessible.

On peut également s'interroger sur le besoin de pouvoir piloter à distance certaines fonctions de la caméra, comme le zoom, l'iris, le mode « nightshot », etc. Cela augmente en général considérablement la facture.

Enfin, il faut connaître quel sera le besoin en ouverture de la caméra, afin de choisir une optique appropriée. Dans le domaine de la vidéosurveillance professionnelle, bon nombre de caméras sont vendues sans optique ou possèdent des optiques interchangeables.

Lorsque ces critères ont été déterminés, reste à s'interroger sur la question de l'infrarouge en soi. Il existe très peu de caméras dédiées uniquement à la vision nocturne, reste à savoir si la bascule entre vision de jour et vision de nuit s'effectue automatiquement ou manuellement. Il est bien entendu plus commode pour l'usage en spectacle de pouvoir contrôler manuellement le changement de mode. De plus, cela signifie que la caméra pourra également servir pour des prises de vue en lumière visible. Si l'on peut se passer de couleur, les caméras Noir&Blanc ont généralement une meilleure sensibilité que les caméras couleur. Il est impératif de consulter la documentation du produit, afin de savoir quel est l'éclairement minimal qu'elle tolère. Si un produit est donné pour fonctionner avec un éclairement minimal de 0 lux, sachez que c'est un argument commercial qui ne veut strictement rien dire, puisqu'une caméra infrarouge a besoin d'un éclairement minimal, même s'il est en deçà de l'éclairement minimal requis par l'œil humain. Idéalement, il est intéressant de consulter la courbe de sensibilité du capteur en fonction des longueurs d'onde, mais celle-ci est souvent difficile à obtenir⁷.

C) Filtres infrarouges

Lorsque l'on bascule une caméra en mode « vision de nuit », un filtre qui coupe la lumière visible remplace celui qui coupait le rayonnement infrarouge. Cependant, ce filtre intégré est souvent trop faible, il laisse passer certains rayons visibles, ce qui peut poser problème dans certains cas. Il convient d'ajouter un filtre infrarouge ou, si possible, d'ouvrir la caméra et de remplacer par le filtre de son choix celui présent à l'intérieur. Ceci dit, l'ajout d'un filtre supplémentaire n'affecte guère la qualité de l'image, il n'est donc pas nécessaire d'ouvrir à tout prix la caméra si l'on n'est pas sûr de soi. L'intérêt de mettre son propre filtre infrarouge est que l'on connaît alors précisément quelles sont les longueurs d'onde passantes tolérées et quelles sont celles qui sont arrêtées.

Si l'on est réellement à court de moyens, il est possible de fabriquer un filtre infrarouge assez efficace en superposant deux morceaux de pellicule photo exposées et développées « noir » (à demander à un photographe) ou d'utiliser la bande d'amorce d'une bobine de film, là aussi en la doublant. Cela reste cependant un bricolage de fortune, puisque l'on ne peut pas précisément connaître la tolérance du filtre.

Les filtres infrarouges sont fabriqués pour la photographie et maintenant, la vidéo. Lorsque l'on cherche un « filtre infrarouge », il convient de veiller à choisir un filtre qui coupe la lumière visible, et non l'inverse ! Les dénominations ne sont parfois pas très claires. Il existe plusieurs fabricants de filtres infrarouges. Certains sont vendus en feuille, comme chez Kodak, d'autres sont déjà montés sur bague. Si l'on choisit d'acheter un filtre monté sur bague, il faut bien entendu vérifier non seulement le diamètre, mais aussi si l'optique de la caméra permet d'y visser un filtre. On peut également trouver des filtres dichroïques rigides.

⁷ Consulter l'Annexe 1 : présentation d'un modèle de caméra haute sensibilité, avec courbe en fonction des longueurs d'onde.

Quant au choix de la densité du filtre, tout est question de dosage entre la sensibilité de la caméra (d'où l'importance de posséder sa courbe de sensibilité en fonction des longueurs d'onde) et le niveau d'éclairement lors de la prise de vue.

Parmi les filtres infrarouges disponibles sur le marché, ceux de la marque Kodak sont tout à fait efficaces. Ils sont certes assez chers (compter environ 85 Euros TTC pour une petite feuille de gélatine de 10 cm²) mais si l'on en prend soin, il n'y a pas de raison qu'ils s'altèrent⁸. A titre indicatif, le filtre Kodak 87C offre souvent un bon compromis : il est assez sombre pour éliminer totalement la lumière visible, mais il laisse passer suffisamment de rayonnement infrarouge pour conserver une assez bonne luminosité.

⁸ Consulter l'Annexe 2 : un tableau donne les valeurs de transmission des filtres infrarouges Kodak. Deux adresses de magasins sont aussi mentionnées.

D) Eclairage

Une caméra infrarouge réclame un éclairage spécifique, qui fournit un rayonnement infrarouge compris dans le spectre auquel est sensible celle-ci. De manière générale, plus ce rayonnement sera proche de la lumière visible, meilleure sera la sensibilité de la caméra à ce rayonnement. Il faut cependant tenir compte de la transmission du filtre infrarouge choisi : il ne sert à rien d'éclairer une scène avec un rayonnement de 850 nm, si le filtre choisi est un Kodak 87A, qui ne laisse passer le rayonnement infrarouge qu'à partir de 900 nm.

a) les projecteurs infrarouges

Par « projecteur infrarouge », nous désignons les systèmes produisant un rayonnement infrarouge dans le but d'éclairer une scène de nuit, tout en conservant une impression d'obscurité pour l'œil humain. Si nous devons mentionner les lampes destinées au chauffage, nous utiliserions le terme « lampe infrarouge ». Nous avons déjà attiré l'attention sur le fait qu'il ne fallait pas confondre l'un et l'autre, les longueurs d'onde produites par la lampe infrarouge sont destinées au chauffage, elles n'ont pas d'intérêt pour l'éclairage.

Le rayonnement infrarouge obéit aux mêmes lois physiques que la lumière visible. Il ne faut pas se laisser déstabiliser par l'idée que ce projecteur va dispenser un rayonnement invisible à l'œil nu, il suffit de raisonner en terme de « lumière infrarouge » : c'est une source d'éclairage que je ne verrai pas sans l'intermédiaire de la caméra, mais cela reste de la lumière.

Les critères de choix d'un projecteur infrarouge, hormis la question de la longueur d'onde, restent strictement les mêmes que pour un projecteur « normal »

- puissance
- ouverture
- encombrement (si à vue du public)
- accroche

Concernant la puissance du projecteur, on ne peut pas faire de stricte conversion entre un projecteur de lumière visible et le projecteur infrarouge. Tout dépend de la longueur d'onde filtrée, de la technologie utilisée, de la sensibilité de la caméra, etc. Comme les applications sont essentiellement destinées à la vidéosurveillance, les vendeurs font souvent le choix d'indiquer, non pas la puissance du projecteur, mais sa distance maximale pour éclairer correctement un objet. Cela est assez pratique.

Il existe des projecteurs infrarouges équipés d'un transformateur non graduable, qu'il faut alors brancher sur un relais statique. Il convient donc de choisir avec un certain soin la puissance du projecteur, pour ne pas risquer d'avoir une image complètement surexposée. C'est pour cette raison-là que, lorsque les projecteurs infrarouges ne sont pas à vue du public, il est souvent plus commode d'utiliser un projecteur normal équipé d'une combinaison de filtres pour stopper le rayonnement visible.

Il existe deux grandes familles de projecteurs infrarouges : les projecteurs utilisant une lampe tungstène, et les projecteurs à leds.

La lampe tungstène halogène présente dans les projecteurs infrarouges est différente de celle que l'on rencontre dans les projecteurs classiques, mais elle émet aussi des rayons visibles et dont ceux-ci sont supprimés par un filtre dichroïque. Lorsque l'on regarde certains de ces projecteurs (ceux donnés pour fournir un rayonnement de 730 nm), quand ils fonctionnent, on distingue une lueur rougeâtre. Ceci est bon à savoir pour un usage à vue du public et dans l'obscurité complète.

L'apparition sur le marché des projecteurs infrarouges à leds est assez récente. Cela reste encore un produit cher. En principe, ils n'émettent aucune lumière visible, puisqu'il s'agit d'une génération de lumière monochromatique. Les arguments de vente, destinés à la vidéosurveillance, sont la faible consommation électrique et la très longue durée de vie des leds. Ils ont aussi l'avantage de générer très peu de chaleur, ce qui peut par exemple permettre de les camoufler dans un élément de décor. Suivant la puissance souhaitée, ces projecteurs sont constitués d'une série de leds, cela pouvant aller de quelques unes à plusieurs centaines. Bien entendu, ces leds sont différentes de celles utilisées pour le transport des données, mais pas tant que ça. Elles sont seulement un peu plus puissantes et ne répondent pas à des besoins d'oscillation en fonction d'un signal.

b) Fabriquer sa « lumière infrarouge »

Un projecteur couramment utilisé dans le spectacle (PC, découpe, etc.) est équipé d'une lampe tungstène halogène qui génère nettement plus de rayonnements infrarouges que de lumière visible⁹. Ceux-ci se situent dans l'infrarouge proche. Ils conviennent donc pour éclairer une scène destinée filmée avec une caméra infrarouge. Puisque l'intérêt reste tout de même de conserver l'impression d'obscurité à l'œil nu, il suffit de couper au moyen de filtres la majorité du spectre visible.

Exemples de combinaisons de gélamines (il en existe d'autres) :

→ Lee 106 + Lee 120

→ Lee 026 + Lee 119

Ces références sont celles d'un des plus gros fournisseurs de filtres en Europe, Lee Filters. Cela s'achète sous forme de grandes feuilles souples, appelées gélamines, qui servent habituellement à colorer la lumière des projecteurs, et qui coûtent environ 10 Euros pièce. La majorité des salles de spectacle ou des fournisseurs de matériel pour le spectacle possèdent ces références dans leur stock.

Quoiqu'il en soit, il ne faut absolument pas utiliser un filtre infrarouge, fabriqué pour équiper un appareil photo ou une caméra. Présenté devant un projecteur, le filtre ne résisterait guère longtemps à la chaleur.

⁹ Par exemple, une petite lampe à incandescence de 100 Watts produit environ 5% de lumière visible, 12% de chaleur et 83% de rayonnement infrarouge proche. C'est pour cela que ces lampes accusent un mauvais rendement lumineux.

Inconvénients de ce choix

→ Lorsque le projecteur est allumé, on voit briller la lampe à travers les gélâtines, et si celui-ci est à vue, cela gâche un peu la magie du procédé.

→ Le filtrage des rayons visibles n'est pas parfait. Il subsiste notamment une petite portion de rouge que l'on peut déceler si le projecteur fonctionne au-delà d'une certaine puissance. Cependant, si les réglages de la caméra infrarouge sont correctement faits et que les conditions de prise de vue ne sont pas extrêmes, il n'y a pas de raison de graduer le projecteur au-delà de 50 % (pour une lampe de 1000W) et aucun rayonnement n'est alors décelable à l'œil nu.

→ Les gélâtines se détériorent sous l'effet de la chaleur. Il convient de surveiller leur vieillissement, et si l'on constate qu'elles laissent passer trop de rayonnement visible, elles doivent être changées. Cependant, dans le cas de certaines utilisations des prises de vue, notamment pour le tracking (détection de mouvement au moyen d'une caméra), les réglages sont très précis, et si l'on remplace des gélâtines usagées par des neuves, il faut alors procéder à un nouveau réglage des intensités lumineuses.

Avantages

→ Les sources d'éclairage utilisées possèdent des caractéristiques optiques dont nous sommes familiers. On peut notamment utiliser une découpe, afin de n'« éclairer » qu'une zone précise, ce qui permet de travailler l'image obtenue, pour des raisons esthétiques ou techniques.

→ Ce sont des sources parfaitement graduables. Cela permet d'adapter l'intensité à la scène filmée.

→ On peut régler précisément le projecteur, et placer les gélâtines ensuite.

→ Le coût est moindre, puisque le matériel est facile à se procurer dans le cadre d'un spectacle.

c) Sources fréquentes d'éclairage qui ne produisent pas de rayonnement infrarouge proche

Il est important de les connaître, car il peut être intéressant de pouvoir dissocier l'éclairage visible du public de l'« éclairage » mis en place pour une caméra infrarouge. Cela permet aussi d'éviter certaines angoisses, lorsque l'on cherche à comprendre pourquoi l'image est complètement noire, alors que tout semble fonctionner normalement...

Les tubes fluorescents et néons sont la source d'éclairage la plus commune qui ne produit aucun rayonnement infrarouge proche. Ceux-ci servant souvent d'éclairage de service dans les salles de spectacle, il ne faut donc pas s'inquiéter lorsqu'une caméra infrarouge ne donne qu'un écran noir, alors qu'il semble y avoir toute la lumière nécessaire au plateau.

Les leds fabriquées pour produire une lumière visible, colorée ou blanche, n'émettent pas de rayonnement infrarouge proche.

Les vidéoprojecteurs sont équipés d'une lampe qui, en elle-même, produit un rayonnement infrarouge, mais pour différentes raisons, ce rayonnement est éliminé par un filtre dichroïque. Une image vidéoprojetée n'est absolument pas détectée par

une caméra équipée d'un filtre infrarouge. Et cela reste vrai même si le vidéoprojecteur est très puissant et très proche de la zone de projection.

d) Supprimer le rayonnement infrarouge ?

S'il est assez simple de supprimer le rayonnement visible d'une source d'éclairage halogène pour ne conserver que le rayonnement infrarouge, il est plus difficile et coûteux de faire l'inverse. Spontanément, l'idée vient d'utiliser du Heat Shield, gélatine commercialisée par Lee Filters, vendue pour être placée entre la source d'éclairage et la gélatine colorante, de manière à préserver celle-ci de la chaleur. Les résultats du Heat Shield sont très discutables en matière de préservation des gélatines contre la chaleur, et c'est complètement inefficace pour essayer de stopper le rayonnement infrarouge sur les longueurs d'onde qui nous intéressent (dans l'infrarouge proche, entre 750 et 1000 nm).

De même, un autre fabricant de filtres, Rosco, propose en catalogue un produit, le Thermashield, qui est plus sophistiqué mais le problème risque d'être le même et le prix n'encourage pas à la consommation (compter 70 Euros pour une feuille de 30 cm²), et à supposer que le rayonnement infrarouge soit en partie stoppé, la question se pose ensuite de savoir combien de temps cela résisterait à la chaleur avant de se dégrader.

Bien évidemment, on évitera aussi d'acheter fort cher le filtre 301 A Kodak pour le placer sur un projecteur : ce filtre coupe effectivement le rayonnement infrarouge (et ultraviolet) pour ne conserver que la lumière visible, mais il ne résiste absolument pas à la chaleur, il a été conçu pour équiper des télescopes, lunettes astronomiques et autres systèmes optiques d'observation céleste.

La seule solution envisagée actuellement est d'utiliser un filtre dichroïque, fabriqué pour cet usage. Il s'agit d'un filtre rigide en verre qui réfléchit les rayons que l'on ne souhaite pas conserver, au lieu de les absorber, comme le fait une gélatine, les réfléchit. Il faut donc le faire fabriquer sur mesure, pour qu'il soit coupé à la dimension exacte du porte-filtre pour le projecteur. Inutile de préciser que cela coûte cher, surtout si l'on souhaite équiper plusieurs sources, mais en principe, la dégradation du filtre à cause de la chaleur est très lente et si on le manipule avec précaution, il ne sera pas nécessaire de le changer avant d'avoir terminé la création d'un spectacle.

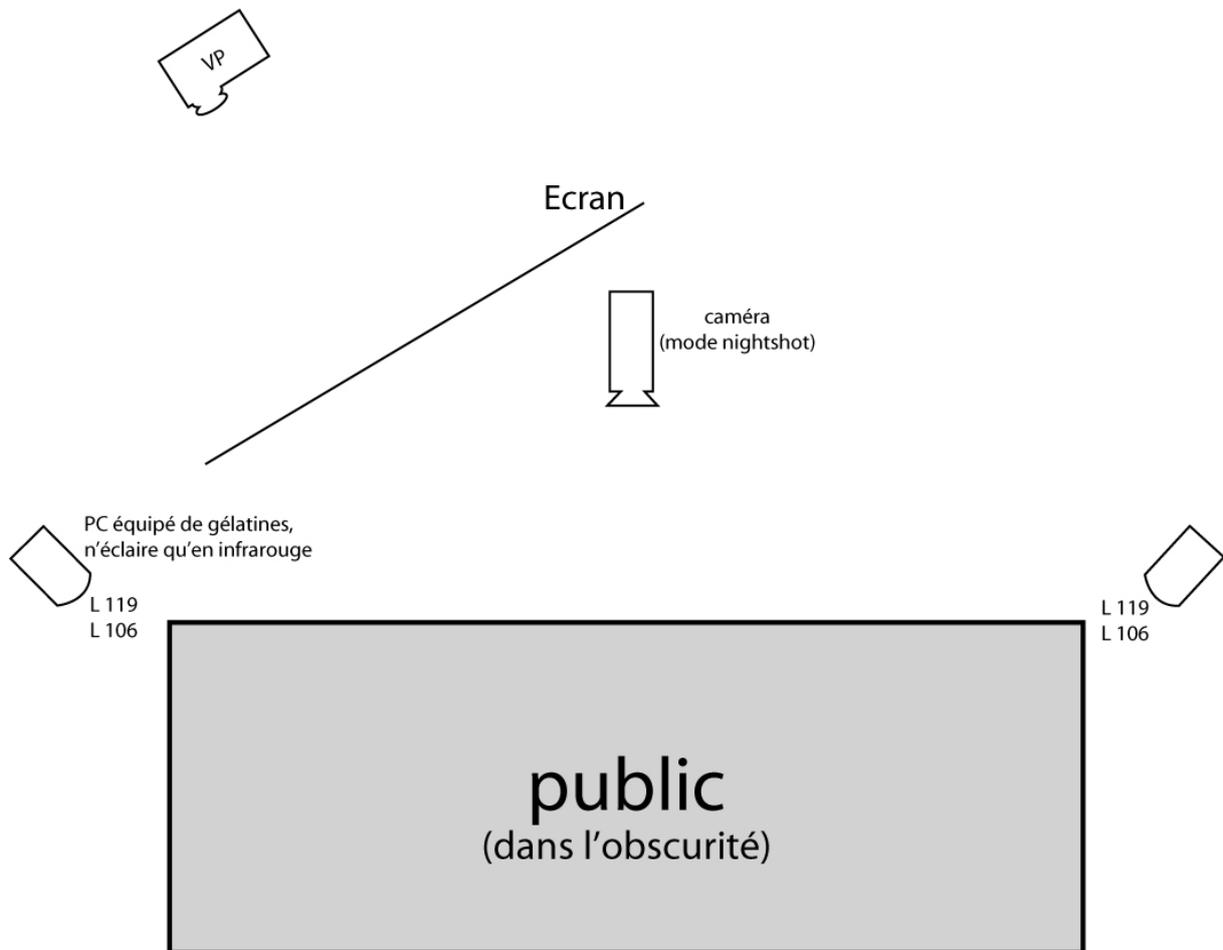
Il est sans doute également possible de faire fabriquer spécialement pour cela une lentille traitée pour réfléchir le rayonnement infrarouge, qui remplacera la lentille du projecteur¹⁰.

¹⁰ Se référer à l'Annexe 3 : quelques adresses d'entreprises sont mentionnées, peut-être que certaines pourraient offrir des solutions.

E) Applications

a) Filmer dans l'obscurité

C'est la manière la plus évidente d'utiliser une caméra infrarouge. L'exemple fréquent consiste à filmer (ou photographier) le public, alors que celui-ci a l'impression de se trouver dans l'obscurité, et de projeter son image sur écran, soit en direct ou en différé.



Exemple d'utilisation de la lumière infrarouge pour la prise de vue: la caméra filme le public éclairé en infrarouge (il est "dans le noir") et l'image filmée est retransmise sur scène par un vidéoprojecteur...

L'image obtenue avec une caméra couleur est verdâtre, à utiliser donc de préférence en noir et blanc. Il faut jouer avec les réglages normaux de la caméra (iris, shutter, etc.) pour trouver le meilleur compromis entre luminosité, contraste, bruit, etc. Ce n'est pas nécessairement avec le maximum de lumière infrarouge que l'image sera la plus intéressante. Penser qu'il est également possible de traiter informatiquement l'image reçue en ajoutant du gain, du contraste, etc. Suivant la sensibilité de la caméra et les conditions de prise de vue, on peut obtenir des images de qualité surprenante.

Une caméra infrarouge peut aussi rendre service lorsque l'on a besoin, depuis la régie, de connaître l'emplacement des interprètes au plateau, alors que celui-ci est plongé dans l'obscurité. Cela permet par exemple de s'assurer que les comédiens sont correctement placés sur scène avant de monter la lumière, lorsqu'ils ont un placement à faire pendant un noir. La caméra peut alors être placée assez haut, en douche au-dessus du plateau, entourée d'un ou deux projecteurs équipés d'une combinaison de filtres.

b) Détection de mouvement (camera tracking)

Actuellement, il existe plusieurs logiciels¹¹ qui permettent, en comparant deux images vidéo successives et en identifiant les pixels modifiés de l'une à l'autre, de procéder à une détection de mouvement. Celle-ci peut par exemple se formuler sous forme de coordonnées x et y d'un objet qui se déplace, ou sous forme de quantité de mouvement, ou encore en délimitant des zones de déclenchement qui s'activent lorsque du mouvement est détecté dans une de ces zones.

De manière générale, le logiciel ne procède que par différence de pixels. Sauf en cas de tracking sur une couleur précise, il ne lui est pas possible de faire la différence entre un interprète et un changement d'état lumineux ou une vidéo : les trois produiront une modification de l'image qui sera interprétée comme mouvement.

L'utilisation d'une caméra infrarouge pour procéder à du camera tracking permet de diminuer les risques de parasitage de la détection.

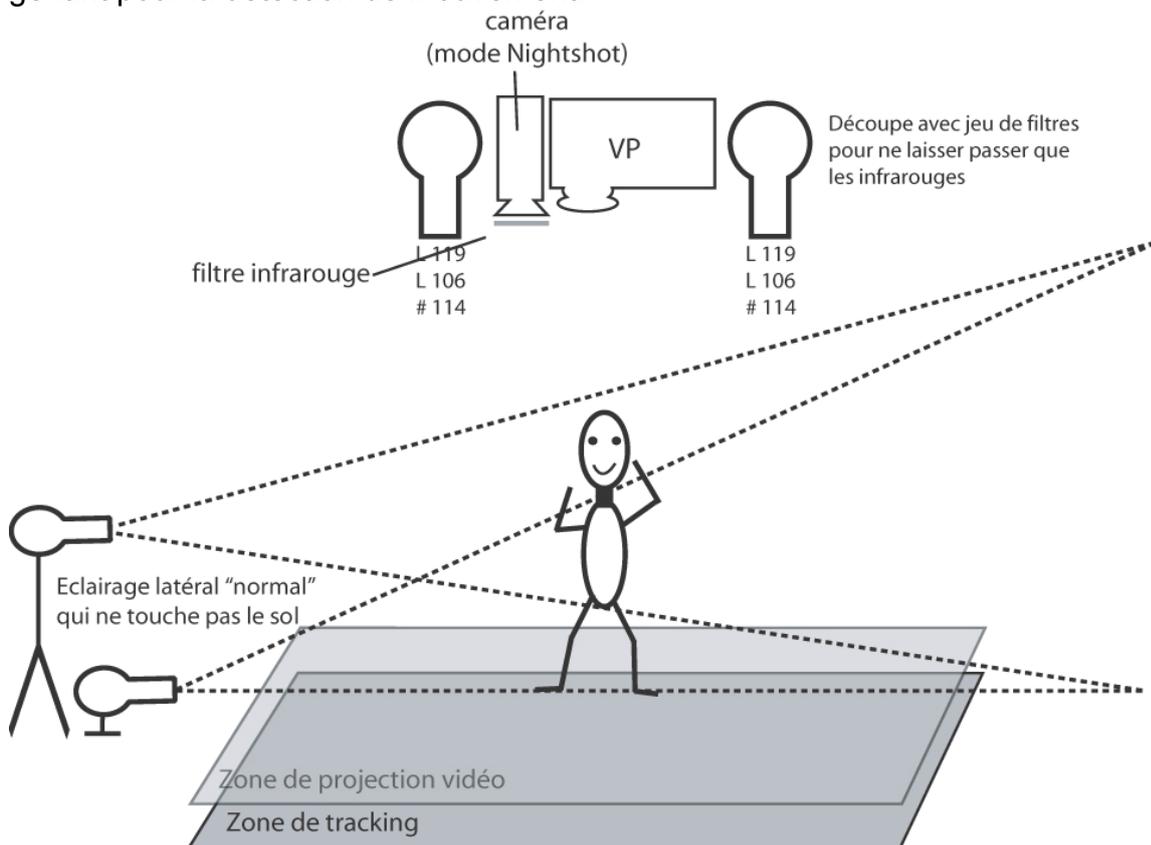
Tout d'abord, si la zone de tracking correspond à la zone de projection vidéo, sachant que l'image vidéoprojetée ne contient aucun rayonnement infrarouge, on peut donc éliminer celle-ci du champ de vision de la caméra en utilisant un filtre infrarouge supprimant tout rayonnement en dessous de 750 nm. Cela peut donc également permettre d'utiliser les informations obtenues par le tracking pour déplacer une image vidéo, sans risquer un effet de « larsen ». L'intérêt, non négligeable, est que l'on produit alors un « éclairage » strictement réservé à la prise de vue, indépendante des contraintes d'éclairage liées à la présence d'une projection vidéo au plateau : la caméra voit un type de lumière qui ne gêne pas la vision de la vidéo par le public.

Cependant, même si l'image filmée est strictement réservée au tracking et qu'elle n'est pas diffusée pour les spectateurs, il convient de soigner l'éclairage de la scène, notamment de ne pas multiplier les sources infrarouges afin d'éviter les ombres portées parasitant la détection de mouvement. Il faut aussi veiller à ne pas avoir un chevauchement trop important des sources, la caméra infrarouge étant, comme toute caméra, très sensible aux contrastes de lumière et révélant les surintensités là où la nappe de lumière semble homogène à l'œil nu. L'emploi de découpes pour ce type d'éclairage à l'infrarouge facilite beaucoup le réglage, car on peut délimiter plus précisément les zones d'impact des projecteurs. Afin d'éviter d'avoir un point chaud trop visible, l'ajout d'un diffuseur (par exemple Rosco 114 ou 119) s'avère souvent utile.

¹¹ Consulter l'Annexe 4 : quelques exemples de logiciels y sont présentés.

Le rayonnement infrarouge

Si l'on utilise parallèlement des sources de lumière visible, destinées à permettre aux spectateurs de voir ce qui se passe au plateau, il convient alors de choisir judicieusement ses directions et de doser communément sources infrarouges et sources visibles, de manière à ne pas avoir une trop grosse surintensité aux endroits où il y a un double impact de rayonnements visibles par la caméra, ceux produits par les sources infrarouges, et ceux produits par les sources halogènes en plus de la lumière visible. Ainsi, sur l'exemple donné ci-dessous, le sujet est surexposé à l'endroit où tapent les sources latérales, mais cela n'est pas forcément gênant pour la détection de mouvement.



Exemple d'utilisation de la lumière infrarouge pour le tracking vidéo :

La zone de tracking coïncide ici avec la zone de projection vidéo . Il faut donc utiliser une caméra infrarouge, obligatoirement équipée d'un filtre qui coupe la totalité du spectre visible : la caméra voit le sujet éclairé en infrarouge, mais pas la projection vidéo au sol .

L'éclairage latéral permet aux spectateurs de voir le sujet, tout en évitant de polluer l'image au sol.

c) Détection du mouvement d'un ou plusieurs points précis

Grâce à la capacité d'une caméra infrarouge de n'être sensible qu'à une certaine plage de longueurs d'onde, on peut donc également, dans le cadre d'une détection de mouvement mentionnée précédemment, de ne laisser voir à la caméra qu'un ou plusieurs points précis, par exemple en utilisant des leds émettant une longueur d'onde précise, située dans l'infrarouge proche¹². Montée en bague sur la main d'un comédien, cela permet à celui-ci, en promenant sa main sur une image vidéo, de « dessiner » assez précisément sur celle-ci, la caméra ayant l'iris suffisamment fermé pour ne voir que la surbrillance produite par la led. Pour que cela soit efficace, il ne faut alors pas ajouter de sources infrarouges pour éclairer le sujet, y compris des sources de lumière visible, sauf si celles-ci ne produisent pas en elles-mêmes de rayonnement infrarouge, ou si elles sont équipées d'un filtre permettant de supprimer ce rayonnement parasite.

Une autre possibilité est aussi l'emploi de réflecteurs. Il existe alors deux manières de procéder : des réflecteurs sélectifs, qui ne renvoient qu'une bande spectrale limitée (des filtres dichroïques utilisés « à l'envers » en quelque sorte) permettent de ne réfléchir que le rayonnement infrarouge. Cependant, la méthode la plus courante consiste à utiliser des réflecteurs de forme sphérique (espèces de balles de golf blanches à haut pouvoir réfléchissant) qui réfléchiront aussi bien la lumière visible que le rayonnement infrarouge. La scène est alors éclairée en lumière visible par une source qui ne produit pas de rayonnement infrarouge (tubes fluorescents la plupart du temps) et des sources infrarouges, généralement placées dans l'axe de la ou des caméras, permettent d'émettre un rayonnement qui sera lui aussi réfléchi par les balles. Comme les caméras sont équipées de filtres qui stoppent la lumière visible, elles ne détectent que les rayonnements infrarouges réfléchis par ces balles. Le haut pouvoir réfléchissant de ces balles permet d'obtenir un très fort contraste entre ces zones et les autres parties du corps. Un traitement vidéo permet ensuite d'isoler ces zones fortement réfléchissantes afin qu'elles seules apparaissent à l'écran pour l'analyse du mouvement.

C'est par exemple de cette manière que fonctionne le système de détection et de capture de mouvement 2D et 3D Vicon¹³. Plusieurs caméras sont disposées autour d'un sujet dont les membres sont équipées de ces balles et bandes réfléchissantes. Les caméras ne sont sensibles qu'au rayonnement infrarouge, chacune d'elle est équipée d'un anneau de leds afin d'arroser la scène en infrarouges. De plus, ces leds sont synchronisées avec l'obturateur de la caméra : afin de procéder à une capture très précise du mouvement, chaque caméra est équipée d'un obturateur qui permet une alternance des images noires et des images imprimées. La cadence de l'obturateur est synchronisée avec celle des leds. Ainsi, le sujet n'est éclairé qu'une fraction de seconde, le temps de capturer une image. Cela permet d'obtenir une série d'images où il n'y a jamais de flou sur les mouvements, les marqueurs sont toujours très nets, même en cas de mouvement très rapide.

¹² Pour se guider dans le choix d'une led infrarouge, consulter l'ouvrage cité dans la bibliographie : Frank Wohlrabe, *Guide pratique de l'infrarouge*, Publitronec / Elektor, Paris, 2002, 280 pages. Les explications données seront certainement utiles. Concernant l'achat de ce type de produit, la plupart des vendeurs de leds proposent également des références dans le domaine du rayonnement infrarouge (nommées IRED).

¹³ Se référer au site www.vicon.com (en Anglais) pour consulter les détails de cet outil. Sur cette page, http://www.vicon.com/applications/life_sciences.html, on peut voir des photos avec les balles réfléchissantes, appelés « markers ».

Ce type d'appareillage est utilisé dans de nombreux domaines, par exemple en médecine pour étudier les mouvements du corps, chez les sportifs pour améliorer les performances en détectant les gestes inutiles, en cinéma d'animation 3D cela permet de faire du « motion capture » (un personnage modelé en 3D est déplacé en fonction des déplacements d'un acteur) et d'obtenir des mouvements très réalistes.

d) Applications esthétiques

Dans le cas où l'image obtenue par la caméra infrarouge est à nouveau diffusée au plateau, il peut être intéressant d'employer des sources d'éclairage infrarouges en complément des sources de lumière visible. Ainsi, lorsqu'un interprète est allongé sur une projection vidéo au sol, qu'il est filmé par une caméra en douche au-dessus de lui, mais qu'il n'est pas possible de l'éclairer visiblement depuis le haut sans polluer la projection vidéo au sol, l'ajout d'une source infrarouge dans le même axe que celui de la caméra permet d'obtenir une image plus homogène, sans perturber la vision du spectateur.

Selon le même principe, il est aussi possible de fabriquer une scène, où l'éclairage sur la vidéo, pourtant filmée en direct et retransmise immédiatement, ne correspond pas à l'éclairage que le spectateur voit au plateau. Dans le cas de directions latérales très contrastées, cela est assez troublant, même si tous les spectateurs ne sauraient précisément dire ce qui les perturbe.

F) Note sur les costumes et décors

Il est important d'avoir à l'esprit que tous les tissus et tous les matériaux ne réagissent pas de la même manière au rayonnement infrarouge. Certains absorbent assez facilement les infrarouges proches, alors que d'autres les réfléchissent. Concrètement, cela signifie que les matériaux qui réfléchissent ce rayonnement paraîtront clairs, voire blancs, alors que d'autres qui l'absorbent paraîtront sombres à la caméra, indépendamment de la couleur du matériau. Le cas assez classique est un costume dont les coutures ont été faites avec un fil synthétique qui n'est pas le même que celui employé pour le tissu : les deux fils semblent de la même couleur à la lumière, mais le tissu sera noir en infrarouge, alors que le fil des coutures sera tout blanc. Outre les questionnements esthétiques que cela peut engendrer, dans le cas d'une détection de mouvement, il est tout de même plus aisé de détecter le mouvement d'un objet qui n'a pas la même clarté que le fond sur lequel il se trouve.

Afin d'éviter des surprises et des désagréments, il est toujours prudent, si cela est possible, de tester la réaction des matériaux (éléments de décors, peintures, tissus, fils, etc.) au rayonnement infrarouge, avant de les employer définitivement pour le spectacle.

Pour conclure cette étude

Nous sommes bien conscients que les thèmes abordés ici sont très restreints. Il n'a été en pratique seulement question de l'infrarouge proche et du moyen de le mettre en œuvre grâce à une caméra infrarouge, alors que d'autres applications du rayonnement, notamment la photographie et la thermographie, se révéleraient des sources très riches de potentiel en vue d'une exploitation dans le spectacle vivant. Cependant, la pratique actuelle de l'analyse thermique s'avère très onéreuse, et peu adaptée au spectacle, même si des appropriations de cette technique ont déjà été effectuées par certaines troupes. Quant à la photographie infrarouge, les deux ouvrages sur le sujet mentionnés en bibliographie seront sans doute plus intéressants que ce qu'une novice en matière de photographie pourrait en dire.

En espérant que ce présent dossier aura su inspirer quelque réflexion positive sur l'usage du rayonnement infrarouge dans le spectacle vivant, voire qu'il aura encouragé à cette pratique, soit en reproduisant certains procédés déjà exploités, ou en tentant de nouvelles expériences. Quoiqu'il en soit, ce n'est qu'en mettant en commun expériences et connaissances que les techniques pourront évoluer et progresser, qu'elles soient individuelles ou collectives. Le lecteur ayant sa pierre à apporter à l'édifice sera le bienvenu et pourra contacter l'auteur par e-mail (frederique.steiner-sarrieux@wanadoo.fr). Ce dossier a déjà été nourri du récit et des documents de plusieurs personnes, et celui-ci ne demande qu'à s'enrichir encore.

Annexe 1 : Présentation d'une caméra infrarouge professionnelle assez intéressante

Caméra 560 lignes / Capteur CCD EX view Sony™ très haute résolution Très haute sensibilité (0,001 Lux)

Beaucoup de vidéastes et régisseurs ont adopté cette caméra, sur les conseils de collègues qui avaient été séduits par sa sensibilité exceptionnelle, pour un prix très abordable.

La caméra est en vente sur le site de Lextronic. Au prix de la caméra (220 Euros), il convient de rajouter une optique (même vendeur) et un boîtier d'alimentation.

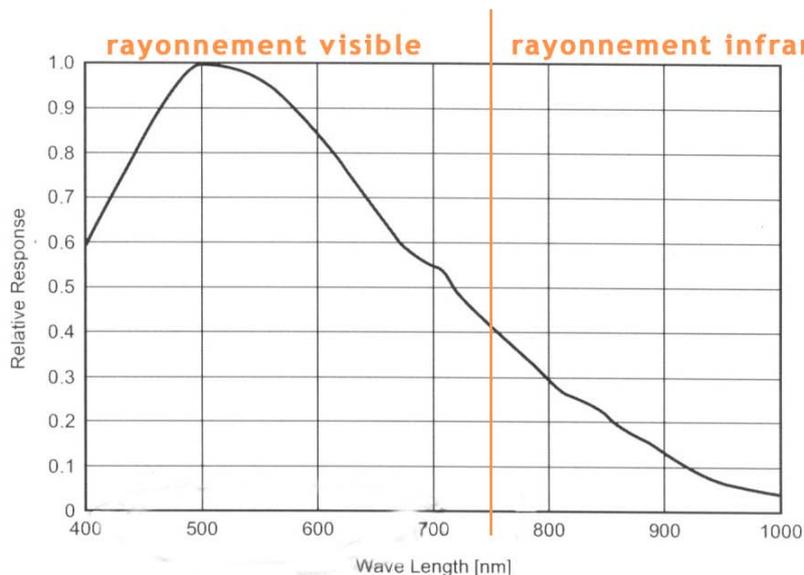
<http://www.lextronic.fr/produit.php?id=358>

Voici la courbe de sensibilité du capteur, en fonction des longueurs d'onde. On peut constater que la caméra est nettement plus sensible à la lumière visible que dans le domaine du rayonnement infrarouge. Ses performances restent néanmoins très intéressantes, étant donné que la caméra est sensible à 0.001 lux, que son balayage est de 560 lignes TV, avec une résolution de 752 (H) x 582 (V).

SONY

ICX424AL

Spectral Sensitivity Characteristics (Excludes lens characteristics and light source characteristics)



Annexe 2 : Transmission des filtres infrarouges Kodak¹⁴

LONGUEUR D'ONDE	TRANSMISSION (%)					
	No. 87	No. 87A	No. 87B	No. 87C	No. 88A	No. 89B*
700	—	—	—	—	—	11.2
10	—	—	—	—	—	32.4
20	—	—	—	—	1.1	57.6
30	—	—	—	—	14.0	69.1
40	0.8	—	—	—	33.7	77.6
50	3.5	—	—	—	54.0	83.1
60	12.3	—	—	—	70.5	85.0
70	22.1	—	—	—	77.3	86.1
80	33.2	—	—	—	81.8	87.0
90	44.9	—	—	0.55	85.2	87.7
800	56.9	—	—	3.0	87.0	88.1
10	63.2	—	—	8.3	88.0	88.4
20	68.0	—	0.10	16.2	88.8	88.6
30	73.3	—	0.60	25.7	89.0	88.8
40	76.3	—	1.86	38.0	89.2	89.0
50	78.5	—	4.07	48.4	89.2	89.2
60	79.5	—	7.58	57.5	89.2	89.4
70	80.4	—	12.7	65.3	89.1	89.6
80	80.7	0.10	18.0	72.5	89.1	89.8
90	81.4	0.28	24.5	78.5	89.1	89.9
900	81.9	0.73	31.2	80.6	89.1	90.0
10	82.1	1.55	38.0	82.2	89.1	90.1
20	82.7	2.95	44.1	83.3	89.1	90.2
30	83.1	4.89	49.5	84.7	89.1	90.3
40	83.4	7.33	53.7	85.6	89.1	90.4
50	83.6	10.2	58.2	86.4	89.3	90.5
60	84.0	14.0	61.7	87.2	89.3	90.5
70	84.3	17.8	64.6	87.7	89.4	90.5
80	84.6	21.8	67.6	88.3	90.1	90.5
90	84.9	26.3	70.0	88.8	90.3	90.5
1000	85.3	30.2	73.3	89.2	90.5	90.5
10	85.6	33.8	75.8	89.7	90.5	90.5
20	85.9	38.0	78.5	90.1	90.5	90.5
30	86.2	42.1	80.2	90.5	90.5	90.5
40	86.6	46.7	82.2	90.8	90.5	90.5
50	87.0	50.6	84.1	91.3	90.5	90.5
60	87.5	54.3	87.2	91.7	90.5	90.5
70	87.8	58.3	88.1	92.2	90.5	90.5
80	88.1	60.9	88.2	92.5	90.5	90.5
90	88.3	63.1	89.1	92.7	90.5	90.5
1100	88.5	64.5	89.1	93.0	90.5	90.5

Remarque : Il n'est pas donné de valeurs colorimétriques pour les filtres du tableau ci-dessus car la transmission se fait hors du spectre visible.

* Pour les valeurs de transmission au-dessous de 700 nm, voir page 81.

Le filtre 89B laisse passer une grande partie de rouge, ce n'est pas un vrai filtre infrarouge.

¹⁴ Extrait du catalogue Kodak (fourni aux vendeurs), page 33.

Le rayonnement infrarouge

Ces filtres sont en vente par correspondance sur le site <http://prophot-numerique.fr/> Leur prix correspond à ceux du marché.

On peut également se procurer ces filtres à Paris au magasin de consommables professionnels :

Lab Distribution
22 boulevard Beaumarchais
75011 Paris
01 43 38 26 72
Métro Bastille.

Annexe 3 : Pistes pour la suppression du rayonnement infrarouge

Voici quelques références d'entreprises, susceptibles d'offrir une solution, qu'elle soit de l'ordre du filtre dichroïque ou de la lentille traitée. Reste à voir combien cela coûterait, quelle serait la solution la plus efficace, la plus pérenne et transportable et la moins onéreuse.

Pour les filtres dichroïques

Il s'agit de trouver un filtre dichroïque qui coupe le rayonnement infrarouge (au-delà de 750 nm et jusqu'à 1000 nm au moins) et qui ne laisse donc passer que la lumière visible. Ce filtre sera équipé sur des projecteurs émettant d'importantes sources de chaleur, il doit donc y résister. Il convient également de tenir compte de la taille du filtre (par exemple 185*185 mm pour équiper un PC 1000 W). Peut-être est-il alors plus judicieux, dans le cas d'une découpe, de placer ce filtre à l'intérieur du système optique, à condition bien entendu que le rayonnement réfléchi par le filtre ne risque pas d'endommager le projecteur.

http://www.schott.com/optics_devices/filter/english/index.html catalogue SCHOTT (Autriche). Les filtres KG sont des filtres anti-IR, mais même le plus fort, KG5, semble ne pas retenir suffisamment de rayonnements pour l'usage que l'on souhaiterait en faire.

<http://www.didalab.fr/index.php> Fabricant français, distributeur spécialisé dans les équipements didactiques pour l'enseignement supérieur en sciences physiques et génie électrique de filtres dichroïques et verres spéciaux. Cela semble une bonne piste car l'entreprise met comme argument commercial en avant qu'elle possède un laboratoire de recherche où des solutions sur mesure peuvent être élaborées à la demande du client. Reste à voir combien coûte ce genre de prestation. Les filtres dichroïques contenus dans le catalogue semblent intéressants mais aucune courbe n'est donnée et ils risquent d'être un peu petits.

Autres fabricant de filtres dichroïques : Rolyn (Etats-Unis) <http://www.rolyn.com/>

Traitement des lentilles

http://www.sovis-optique.com/sovis/op_lenses.htm Entreprise française, spécialisée dans les verres spéciaux, notamment les lentilles pour les projecteurs. Peut-être serait-il intéressant de faire traiter directement la lentille des projecteurs pour qu'elles ne transmettent pas le rayonnement infrarouge ?

Annexe 4 : Exemple de logiciels et applications permettant la détection de mouvement par vidéo (camera tracking)

- Isadora

Logiciel de traitement et montage vidéo dans environnement graphique, créé et développé par Mark Coniglio, résolument orienté vers le spectacle vivant. On place des « actors », petits modules de diffusion et traitement vidéo sur une « stage », espace de travail décomposé en « scenes ». Les modules de traitement appelés « Eyes » permettent différents types de tracking. Le principal inconvénient de ce logiciel réside dans le fait qu'il ne permet d'utiliser qu'un seul flux vidéo en acquisition directe (donc une seule caméra live). Le logiciel fonctionne sous Mac OS/X et une version Beta est disponible pour PC (Windows XP et 2000).

<http://www.troikatronix.com/isadora.html>

- Camtrack

Application stand-alone¹⁵ conçue par Tom Mays, développée en Max/MSP, en utilisant des bibliothèques Soft/VNS et Jitter. Elle a été réalisée pour effectuer plusieurs sortes de détections (quantité de mouvement, déclenchement de zones, détection de positions, etc.) et elle possède de nombreux paramètres pour s'adapter à beaucoup de situations. Orientée vers une utilisation en réseau dans le cadre d'une régie numérique, l'application se décompose en deux modules : l'un est installé sur l'ordinateur qui reçoit l'image vidéo, tandis que l'autre est à installer sur les autres ordinateurs où les données du tracking seront traitées. Le protocole de transmission est l'OSC. L'application ne fonctionne actuellement que sur Mac OS/X.

Libre téléchargement de l'application et de la documentation

<http://www.didascalie.net/tiki-index.php?page=TRK-Tom>

- Eyesweb

Ce logiciel, conçu par le laboratoire InfoMus de l'Université de Gènes, se présente comme une version PC du logiciel Max/MSP, et tournée vers l'Open Source. Des modules de communication exploitant le protocole OSC sont ainsi prévus pour être utilisés avec Puredata (version OpenSource de Max/MSP). La prise en main est loin d'être aisée, mais les possibilités de détection, notamment en ce qui concerne le corps humain, sont très intéressantes.

Site officiel (libre téléchargement de l'application et tutoriaux, en Anglais)

<http://www.eyesweb.org/>

Autres sites, de présentation du logiciel, en Français

http://www.medias-cite.org/article.php3?id_article=576

<http://www.artlabo.org/wakka.php?wiki=EyesWeb>

¹⁵ Cela signifie que l'on peut utiliser l'application sans posséder le logiciel Max/MSP.

Bibliographie thématique

- Ouvrages généraux

Hans Dogigli, *La Magie des rayons*, éditions Le Centurion, Paris, 1958, 215 pages. C'est un merveilleux voyage que nous offre Hans Dogigli au pays des rayonnements. La partie consacrée à l'infrarouge ne comporte qu'une cinquantaine de pages et de longues explications sont consacrées au phénomène calorifique. Bien entendu, on sent que l'ouvrage ne date pas d'hier, et il convient de garder cette donnée en mémoire. Mais déjà, Hans Dogigli perçoit les possibilités d'évolution des technologies et s'interroge sur le rapport entretenu entre l'homme et les progrès scientifiques. C'est une bonne porte pour une première approche de la question du rayonnement infrarouge, et plus globalement, de la question des rayonnements (y compris la lumière visible).

Armand Hadni, *L'infrarouge*, Presses Universitaires de France, collection « Que sais-je ? », Paris, 1975, 130 pages.

Petit ouvrage de synthèse sur l'infrarouge, sans restriction du domaine d'utilisation. Il a l'inconvénient d'être un peu obsolète et les illustrations sont mal reproduites et absolument sans intérêt, mais il offre un classement des informations original, révélant ainsi certains aspects du rayonnement infrarouge qui ne sont pas mis en exergue dans d'autres ouvrages.

- Thermographie infrarouge

Gilbert Gaussorgues, *La thermographie infrarouge*, Editions Tec et Doc, Paris, 1999, 590 pages.

Ouvrage de référence sur le sujet, complexe mais complet sur l'analyse du rayonnement infrarouge en vue d'un usage de mesure thermique. Il y est expliqué comment détecter un rayonnement, le traiter pour obtenir une image thermique, et quelles sont les applications. On y trouve notamment un comparatif de différentes caméras thermiques, en fonction de leur technologie, de leur sensibilité et de leur utilisation. Bibliographie.

Dominique Pajani, *Mesure par thermographie infrarouge*, Chatenay Malabry : ADD, 1989, 418 pages.

Cet ouvrage sur la thermographie infrarouge donne certainement moins de détails scientifiques et techniques que celui de Gilbert Gaussorgues. Cependant, il est organisé de manière très claire, donne de nombreuses définitions et clarifie certains points de vocabulaire et de traduction. Pour une première approche de la thermographie infrarouge, il est sans doute plus accessible.

<http://franceinfrarouge.fr/>

Site professionnel de vente et location de matériel pour la thermographie infrarouge. Le choix des produits est assez restreint (souvent pas plus de deux ou trois références par catégorie) mais toutes les applications sont traitées, de la thermographie industrielle à la vidéosurveillance. Sont proposés également des logiciels et des accessoires pour les appareils. L'entreprise organise aussi des formations générales sur la thermographie ou sur le matériel acheté.

- Transmission de données

Frank Wohlrabe, *Guide pratique de l'infrarouge*, Publitronic / Elektor, Paris, 2002, 280 pages.

Traité d'électronique sur l'utilisation du rayonnement infrarouge pour la fabrication de télécommandes, télémètres et tachymètres (comptage). Il s'agit d'un ouvrage à but avant tout pratique. Il y est expliqué comment choisir un émetteur infrarouge, un détecteur et des schémas de montage sont fournis ainsi que des pistes pour écrire des programmes informatiques. Cela s'adresse aux spécialistes.

Pierre Mayé, *Les infrarouges en électronique*, Dunod, Paris, 2003, 209 pages. Même type d'ouvrage que le précédent, avec d'autres exemples de montage.

- Photographie infrarouge

La photographie infrarouge et ses applications, Kodak / Pathé, 1983, 87 pages.

Guide Kodak pour réaliser soi-même des photographies infrarouges, mais l'enjeu de cet ouvrage n'est pas uniquement esthétique. Il y est par exemple expliqué comment utiliser le procédé photographique pour retrouver la lisibilité de documents manuscrits anciens. Comme il s'agit d'une publication Kodak, ce n'est que le matériel de ce fabricant qui est mentionné, mais cela peut constituer un guide assez intéressant, puisque Kodak est leader sur le marché en ce qui concerne la photographie infrarouge. Le fait que l'édition soit de 1983 n'est pas gênant, car le matériel a peu évolué depuis et la plupart des informations sont toujours d'actualité.

Jill Enfield, *Procédés photo alternatifs*, Eyrolles, Paris, 2004, 178 pages.

La partie consacrée à la photographie infrarouge occupe une vingtaine de pages, agrémentées de jolies photographies en couleurs. L'auteur est elle-même photographe professionnel et elle souhaite encourager à l'expérimentation, l'inventivité et l'originalité. C'est un ouvrage pratique, notamment destiné aux personnes qui développent eux-mêmes leurs pellicules. Le but en est exclusivement esthétique. Il y est donné de nombreux conseils et de petits trucs de pro qui facilitent la vie du débutant.

- Spectrographie infrarouge

Dominique Bertrand et Eric Dufour (coordinateur), *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques*, Editions Tec et Doc, Paris, 2006, 650 pages.

Cet ouvrage collectif, à la fois théorique et pratique, s'adresse aux professionnels de l'agroalimentaire (industrie et bureaux de contrôle). Il y est expliqué les principes de la spectrographie infrarouge, comment mettre en œuvre une analyse en laboratoire, avec des études de cas (les lipides, l'eau, etc.).