



## Voir à travers le brouillard et la pluie avec une caméra thermique

### Effets du brouillard et de la pluie sur les performances métrologiques des caméras IR

*Les caméras thermiques peuvent produire des images très lisibles dans l'obscurité complète. Elles n'ont besoin d'aucune lumière pour fournir d'excellentes images où les plus petits détails sont visibles. Cela fait d'elles l'instrument idéal pour de nombreuses applications de vision nocturne.*

*« À quelle distance peut-on voir avec une caméra thermique ? » : cette question fréquente est très importante pour la plupart de ces applications. Cette distance, nommée portée de la caméra thermique, dépend fortement de plusieurs paramètres : de quel objectif est dotée la caméra ? Son détecteur est-il refroidi ? Quelle est sa sensibilité ? Quelle est la*

*taille de l'objet à détecter ? Quelle est la température de la cible et du fond ?*

*La portée annoncée suppose généralement des conditions météorologiques idéales. Il faut donc aussi se demander « que devient la portée en cas de brouillard, de pluie et dans d'autres conditions atmosphériques ? ».*

*Bien que les caméras thermiques voient dans l'obscurité absolue, à travers la brume, la pluie légère et la neige, leur portée varie avec les conditions atmosphériques.*

*La PTZ-35x140 MS est un système d'imagerie thermique comportant deux caméras thermiques et une caméra haute sensibilité pour les images visibles. Les deux caméras thermiques sont dotées d'un détecteur IR à microbolomètre non refroidi, dont la portée est excellente dans le brouillard.*

#### **Transmittance du rayonnement infrarouge**

Même par temps sec, la portée d'une caméra thermique est limitée par l'absorption de la lumière par l'atmosphère. Une caméra thermique produit une image basée sur les variations du rayonnement infrarouge émis par un objet. Or, c'est inévitable, plus ce rayonnement infrarouge parcourt une grande distance entre la cible et la caméra, plus il peut être affaibli.

Il faut donc tenir compte du facteur d'atténuation. C'est le rapport du rayonnement incident sur le rayonnement ayant traversé un matériau faisant écran. L'air humide agit comme un écran pour le rayonnement infrarouge. L'atmosphère possède généralement une atténuation plus élevée en été qu'en hiver, car le niveau d'humidité est plus grand. Par conséquent, dans de bonnes conditions météorologiques, une caméra thermique voit plus loin en hiver qu'en été.





HRC-Multicaptteur



ThermoVision 3000 Multicaptteur

La HRC et la ThermoVision 3000 Multicaptteur sont toutes les deux équipées d'un détecteur refroidi. Celui de la HRC est en antimoniure d'indium (InSb) et travaille dans la bande IR moyen, de 3 à 5  $\mu\text{m}$ . Le photodétecteur à puits quantique (QWIP, Quantum Well Infrared Photodetector) de la ThermoVision 3000 est sensible à l'IR lointain, de 8 à 9  $\mu\text{m}$ . Les deux peuvent détecter une cible de taille humaine à très grande distance.

Même par temps sec, la portée d'une caméra thermique est limitée par l'absorption de la lumière par l'atmosphère. Une caméra thermique produit une image basée sur les variations du rayonnement infrarouge émis par un objet. Or, c'est inévitable, plus ce rayonnement infrarouge parcourt une grande distance entre la cible et la caméra, plus il peut être affaibli.

Il faut donc tenir compte du facteur d'atténuation. C'est le rapport du rayonnement incident sur le rayonnement ayant traversé un matériau formant écran. L'air humide agit comme un écran pour le rayonnement infrarouge. L'atmosphère possède généralement une atténuation plus élevée en été qu'en hiver, car le niveau d'humidité est plus grand. Par conséquent, dans de bonnes conditions météorologiques, une caméra thermique voit plus loin en hiver qu'en été.

Mais l'affaiblissement du rayonnement infrarouge n'est pas seulement dû à l'air humide. D'autres facteurs météorologiques réduisent bien plus la portée d'une caméra thermique.

Le brouillard et la pluie peuvent limiter considérablement la portée à cause de la diffusion

de la lumière dans les gouttelettes d'eau. Plus ces dernières sont denses, plus le rayonnement infrarouge est affaibli. Les clients souhaitent savoir quelle quantité de pluie ou de brouillard réduit la portée d'une caméra infrarouge, et comparer cette portée réduite à celle de la portion visible du spectre.

### Classification des brouillards

Le brouillard est constitué de minuscules gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère, à proximité immédiate de la surface terrestre. Lorsque l'air est presque saturé en vapeur d'eau, c'est-à-dire lorsque l'humidité relative est proche de 100 %, le brouillard peut se former s'il existe un nombre suffisant de noyaux de condensation (fumée ou particules de poussière, par exemple). Le brouillard peut être de différents types. Le brouillard d'advection se forme par mélange de deux masses d'air de température et/ou d'humidité différentes. Le brouillard radiatif se forme lors du refroidissement radiant d'une masse d'air dont la température est proche du point de rosée.

Certaines nappes de brouillard sont plus denses que d'autres car leurs gouttelettes ont grossi par accréation. Les fines gouttes d'un brouillard peuvent absorber de l'eau et grossir considérablement. Pour savoir si la diffusion est moins importante dans l'infrarouge que dans le visible, il faut connaître la distribution de la taille des gouttelettes. Le brouillard peut être classifié de différentes manières. La classification de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), souvent utilisée, distingue les 4 catégories suivantes :

- Catégorie I : visibilité à 1220 mètres
- Catégorie II : visibilité à 610 mètres
- Catégorie IIIa : visibilité à 305 mètres
- Catégorie IIIc : visibilité à 92 mètres

Dans le brouillard, la visibilité est mauvaise car la lumière naturelle ou artificielle est absorbée et diffusée par les particules en suspension. La quantité de lumière absorbée et diffusée dépend de la structure microphysique de ces particules nommées aérosols.

### MODTRAN, un modèle atmosphérique

MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) est un algorithme de l'US Air Force simulant les transferts radiatifs dans l'atmosphère. Il modélise l'atmosphère dans différentes conditions météorologiques. Il peut prévoir les propriétés de l'atmosphère pour de nombreuses longueurs d'onde et avec différentes résolutions spectrales. Par exemple la luminance et la transmission atmosphériques, la luminance du ciel, l'éclairement solaire et lunaire du sol. MODTRAN permet de calculer la transmittance et la luminance dans une large gamme spectrale. Il propose six modèles climatiques pour différentes latitudes et saisons. Il définit également six types d'aérosols pouvant apparaître dans chacun de ces climats. Chacun des modèles climatiques peut être combiné avec les différents aérosols.

En effet, la portée d'une caméra thermique dans le brouillard ou la pluie dépend aussi du climat ambiant et du type d'aérosols présents dans l'atmosphère.

Climat	Aérosols
Tropical	Ruraux
Été sous latitude moyenne	Maritimes
Hiver sous latitude moyenne	Urbains
Été subarctique	Brouillard d'advection
Hiver subarctique	Brouillard radiatif
Standard étasunien	Désertiques

Données d'entrée pour le modèle MODTRAN



Les données d'entrée pour le modèle MODTRAN sont le climat et les aérosols mentionnés ci-dessus, mais aussi la catégorie OACI de visibilité, la géométrie et la longueur du trajet atmosphérique, ainsi que la température et l'émissivité de la cible et du fond.

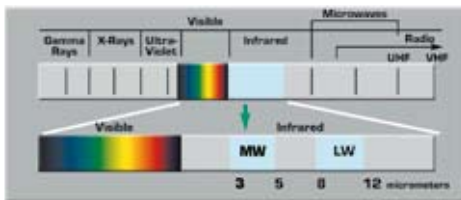
En général, la comparaison montre que ce sont les aérosols maritimes qui réduisent le plus fortement la portée de détection, indépendamment du climat ; en effet, le rayon moyen des aérosols maritimes est plus grand que celui des aérosols ruraux et urbains. Ces derniers permettent donc une détection dans l'infrarouge à distance nettement plus grande.

Cela signifie que la visibilité est plus fortement réduite par le brouillard en mer que sur terre, quel que soit le type de climat.

### La caméra thermique et la cible

De même que le type et « l'épaisseur » de l'atmosphère influent sur la visibilité dans le brouillard, le type de la caméra infrarouge et surtout sa gamme spectrale sont importants.

Les caméras thermiques travaillent dans l'une de ces deux bandes de l'infrarouge : de 3 à 5 µm (MWIR) et de 8 à 12 µm (LWIR). La bande de 5 à 8 µm est en principe délaissée par les systèmes d'imagerie car l'absorption atmosphérique par la vapeur d'eau est trop élevée.



Le spectre électromagnétique

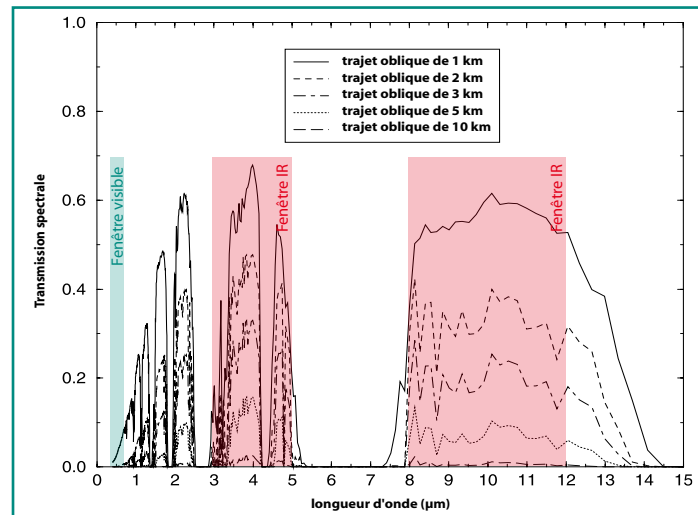
Les caméras thermiques dotées de capteurs non refroidis sont conçues pour travailler dans l'infrarouge lointain (LWIR), entre 7 et 14 µm, où les objets terrestres émettent la plus grande part de leur énergie infrarouge. Dans cette bande de longueur d'onde, la détection sans refroidissement est facile.

Les caméras thermiques dotées de détecteurs refroidis (à des températures cryogéniques) sont les plus sensibles aux petites différences de température dans la scène observée. Elles sont généralement conçues pour capter la bande d'infrarouge moyen (MWIR) ou lointain (LWIR).

La transmission spectrale étant différente dans ces deux bandes, la portée d'une caméra thermique dans le brouillard dépend du type de son détecteur, LWIR ou MWIR.

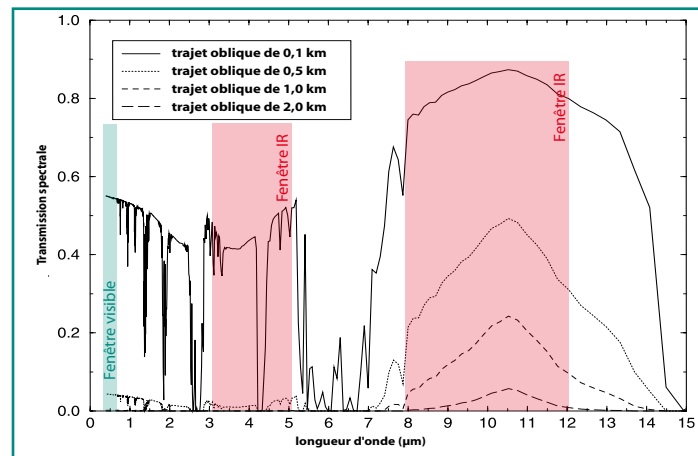
### Résultats du modèle de transmission atmosphérique – Brouillard

La transmission spectrale de l'atmosphère sur différentes distances permet une simple comparaison qualitative de la visibilité dans différentes fenêtres du spectre. La figure 1 montre la transmission spectrale dans un brouillard de catégorie I, en été sous latitude moyenne et en présence d'aérosols ruraux. Dans la portion visible du spectre (de 0,4 à 0,75 µm), la transmission est nettement plus faible que dans les deux fenêtres IR (de 3 à 5 µm et de 8 à 12 µm). Dans ces conditions, une caméra thermique voit nettement plus loin que l'œil humain, quel que soit le type de son détecteur.



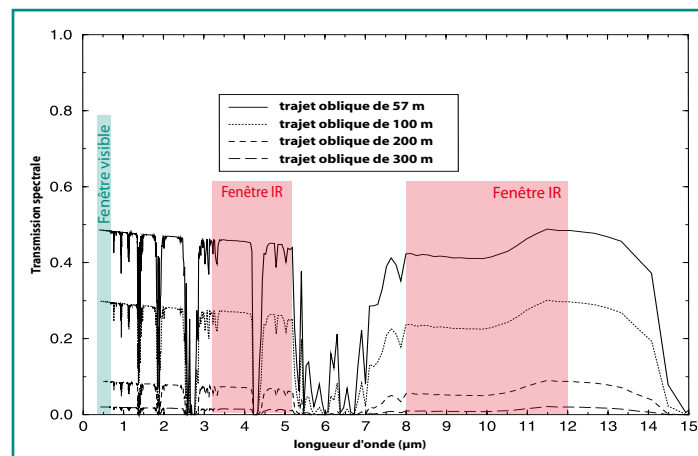
©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Si la visibilité est réduite aux conditions de catégorie II, avec un brouillard radiatif, seule la bande LWIR (de 8 à 12 µm) est mieux transmise que la bande visible ; une caméra de type MWIR et l'œil humain voient à des distances comparables. (Figure 2.)



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Enfin, dans les conditions de catégorie 3 (figure 3) où la visibilité est réduite à moins de 300 m, il n'existe pas de véritable différence de portée entre une caméra thermique et l'œil humain.



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)







La transmission ne suffit pas à déterminer la distance et la qualité de la visibilité. Mais la comparaison de la transmission dans le visible et dans l'IR montre l'effet de l'atmosphère dans les différentes bandes de longueurs d'onde.

### Distance de détection

Les conditions atmosphériques ne suffisent pas à prédire la distance de visibilité dans le brouillard ou la pluie. Il faut également prendre en compte les dimensions de la cible et la différence entre sa température et celle du fond. De plus, la résolution spatiale limitée de l'objectif et du détecteur, le bruit du détecteur et le traitement du signal réduisent également le contraste de luminance entre la cible et le fond. Le modèle TACOM simule l'influence sur le contraste de luminance des fonctions de transfert du capteur infrarouge, pour différents types de capteurs à matrice à plan focal.

Le tableau ci-dessous compare la portée de détection (en kilomètres) dans le brouillard : à l'œil nu, avec une caméra MWIR et avec une caméra LWIR. La cible est un fond ont une différence de température de 10 °C et les caméras un seuil de détection de 0,15 K.

Brouillard	Visible	MWIR	LWIR
Cat I	1.22	3.0 – 9.8	5.9 – 10.1
Cat II	0.61	0.54	2.4
Cat IIIa	0.305	0.294	0.293
Cat III c	0.092	0.089	0.087

Pour la catégorie I, la portée de détection est un intervalle pour tenir compte des différents climats et aérosols spécifiés avec MODTRAN. Dans la bande LWIR, les meilleures conditions sont en hiver, avec une faible humidité absolue et des aérosols ruraux. Dans la bande MWIR, la portée de détection est maximale lorsque la température est élevée, par exemple en été ou dans une atmosphère tropicale.



Toutes les portées de détection sont nettement meilleures en IR qu'en visible pour le brouillard de catégorie I. Pour la catégorie II, la portée d'une caméra LWIR est quatre fois plus grande que celle dans le visible.

Pour les brouillards de catégories IIIa et IIIc, il n'y a quasiment aucune différence de portée entre les caméras thermiques et l'œil humain car l'atmosphère est le facteur limitant. Aucune de ces bandes de rayonnement (visible, MWIR, LWIR) ne pénètre dans ce brouillard dense.

### Conclusion et résultats

D'après ces modèles, dans les brouillards de catégorie I et II, la portée est plus grande dans la bande infrarouge que dans le visible. Les caméras thermiques sont donc bien adaptées à ces types de brouillard. Le modèle indique que les caméras thermiques sont potentiellement utiles pour l'aide à l'atterrissage des avions ou dans un système d'amélioration de la vision du conducteur dans le secteur des transports et de l'automobile.

Il indique également que la pénétration du brouillard en LWIR est dans tous les cas supérieure à celle en MWIR. Pour le brouillard de type II, la portée en LWIR est environ quatre fois supérieure à celle en MWIR. Il faut toutefois prendre en compte la sensibilité thermique du capteur et la signature des cibles pour choisir le système le plus adapté à l'application. Les coûts interviennent aussi dans la décision. Par exemple, pour les applications de sécurité et de surveillance à grande distance, un système LWIR nécessiterait un objectif trop gros et trop cher pour être économique.

Les polluants atmosphériques et gazeux réduisent la propagation du rayonnement MWIR (ils augmentent son absorption et/ou le niveau de luminance atmosphérique, ce qui réduit le contraste de l'image de la cible). Ils ont beaucoup moins d'effet sur la bande LWIR.

La pluie peut réduire de manière significative le contraste de la cible (elle augmente la diffusion atmosphérique et obscurcit l'ensemble de la scène). Par temps de pluie, la portée est à peu près la même en LWIR et en MWIR. La dégradation des performances des caméras IR due à la pluie dépend fortement de la distance ; elle chute fortement entre 100 et 500 mètres.

De même qu'il n'existe pas de réponse simple à la question « à quelle distance voit-on avec une caméra thermique ? », il est impossible de prévoir la réduction de sa portée dans le brouillard ou sous la pluie. Cela dépend non seulement des conditions atmosphériques et du type de brouillard, mais aussi de la caméra thermique utilisée et des propriétés de la cible : dimensions, différence de température avec le fond, etc.



*La vision à travers le brouillard est utile à de nombreuses applications. Les applications maritimes, de sécurité, de l'automobile et de l'aéronautique peuvent toutes bénéficier de la puissance de l'imagerie thermique et de sa capacité à voir plus loin dans le brouillard qu'à l'œil nu ou qu'avec une caméra CCTV.*

*Nous remercions le Dr Austin Richards et M. T. Hoelter pour leurs conseils et leurs précieuses informations.*

Références :  
 K. Beier, H. Gemperlein, Simulation of infrared detection range at fog conditions for Enhanced Vision Systems in civil aviation in Aerospace Science and Technology 8 (2004) 63 - 71

Pour en savoir plus sur les caméras thermiques ou sur cette application, prière de contacter :

**FLIR Commercial Vision Systems B.V.**  
 Charles Petitweg 21  
 4847 NW Teteringen - Breda - Netherlands  
 Phone : +31 (0) 765 79 41 94  
 Fax : +31 (0) 765 79 41 99  
 e-mail : flir@flir.com  
 www.flir.com