

# Thermographie aérienne des villes

## Mythes et réalités

■ Jean-Baptiste HENRY - Sylvain PIERRARD - Pascal RIDOUX

*La thermographie infrarouge par voie aérienne pour l'évaluation des pertes thermiques des parcs immobiliers connaît un essor important depuis quelques années, sous l'impulsion des incitations aux réductions de consommation d'énergie issues d'initiatives comme les Agenda 21 ou les résolutions du Grenelle de l'Environnement.*

*La forte médiatisation de ce type d'opération a conduit parfois à survendre les capacités de la technique à une société civile soucieuse de réduire son impact sur l'environnement. L'objectif de cet article est de replacer la thermographie aérienne dans son contexte scientifique et technique pour mieux préciser ce qu'il est possible d'en attendre et comment en exploiter au mieux les résultats.*

### Introduction : ce que l'on voudrait connaître

La mise en œuvre de "Plan Climat", d'Agenda 21 ou plus simplement la volonté de pouvoir disposer d'outils d'évaluation pour une meilleure distribution de la subvention publique a conduit les collectivités territoriales à mener des opérations de thermographie aérienne pour mieux connaître leurs parcs immobiliers et approcher plus particulièrement leurs niveaux de déperditions thermiques.

L'objectif des donneurs d'ordre au travers d'une opération de thermographie aérienne est d'obtenir une mesure des déperditions thermiques globales des toitures, seul élément de bâtiment visible. On s'intéresse plus particulièrement aux déperditions à travers les parois représentées par le coefficient de transmission thermique U, quantité fonction de la résistance thermique des composants des toitures. Ce coefficient quantifie la chaleur traversant une surface unitaire d'un mètre carré pendant une seconde, lorsque la différence de température de l'air de part et d'autre de cette surface est de 1 °C.

### MOTS-CLÉS

thermographie  
infrarouge, bâtiment,  
déperditions  
thermiques

La forte médiatisation de ce type d'opération a conduit parfois à survendre les capacités de la technique à une société civile soucieuse de réduire son impact sur l'environnement. L'objectif de cet article est de replacer la thermographie aérienne dans son contexte scientifique et technique pour mieux préciser ce qu'il est possible d'en attendre et comment en exploiter au mieux les résultats.

### Ce que l'on peut connaître... ou pas

Le coefficient U n'est pas accessible par mesure directe car il s'agit en fait d'un calcul dont les paramètres sont en grande partie inaccessibles par principe à la thermographie, comme à la télédétection en général. De même la température des toitures est délicate à approcher car les principales grandeurs d'influence (telles que l'émissivité, l'humidité de l'air ou les coefficients de transmission) pour la calculer sont mal estimées. Elle est finalement déterminée avec une erreur trop importante pour être d'un quelconque intérêt.

La luminance reçue par le détecteur peut en première approximation être considérée comme proportionnelle au

flux radiatif perdu par la toiture. Ce flux mesuré par thermographie ne permet pas de quantifier les déperditions dans leur ensemble mais d'établir une classification entre les déperditions radiatives par les toitures des bâtiments. La thermographie aérienne permet de s'intéresser à l'identification et à la localisation de défauts d'isolation tels que des glissements de laine de verre ou un défaut d'étanchéité majeur. Ces défauts sont généralement difficiles à détecter par les moyens au sol.

Lors de la phase de publication des résultats et de communication vers le public, il est capital de ne pas se livrer à une interprétation a priori des images. En effet, sans connaissances de l'aménagement du bâtiment, la figure 1 illustre qu'à niveau équivalent de déperdition les contributions des trois modes de transfert varient très fortement :

- (a) le bâtiment est isolé sous comble et chauffé de façon homogène. Les déperditions se répartissent à proportions égales entre rayonnement, convection et ventilation.
- (b) le bâtiment présente des combles perdus et est isolé par la dalle. Les combles ne sont pas chauffés. Les pertes par ventilation sont alors prépondérantes, le rayonnement et la convection réduits à égales contributions.
- (c) le bâtiment a un toit plat. Les pertes par ventilation sont faibles, le rayonnement et la convection se répartissent à parts égales.

Ainsi, les interprétations consistant à déclarer trop chauffé ou mal isolé un bâtiment apparaissant très émissif dans l'image sont simplistes et potentiellement erronées. Il est absolument indispensable que l'interprétation particulière sur un bâtiment se fasse en compagnie

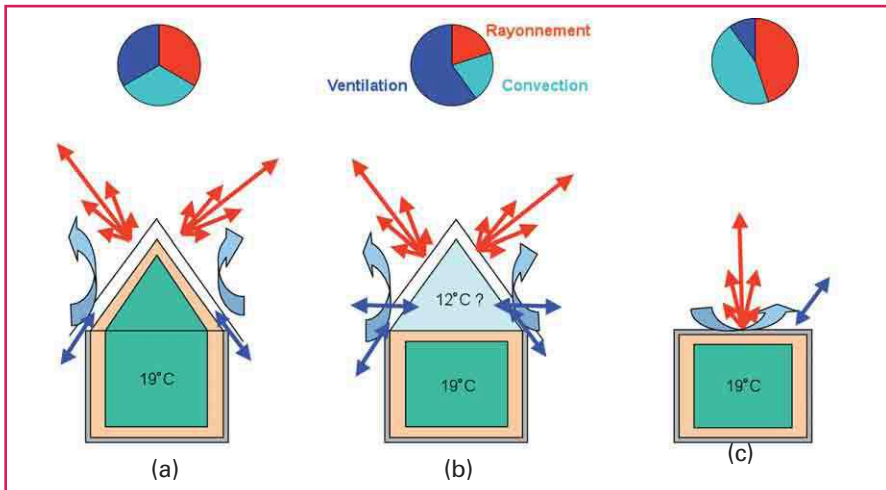


Figure 1. Trois typologies de bâti et structure correspondante des déperditions thermiques

de personnes le connaissant suffisamment pour procéder à une lecture raisonnable de l'image.

La thermographie aérienne permet d'accéder à des informations sur la toiture mais ne permet pas de disposer d'une mesure significative des déperditions par les façades. Tout d'abord parce que l'émissivité est dépendante de l'angle de vue, qui est favorable sur les toits mais très défavorable sur les éléments verticaux que sont les façades (figure 2). De plus, une façade comporte de nombreux éléments aux émissivités variées tels que les huisseries, les fenêtres ou les différents types de revêtement. La réponse thermique d'une façade est donc fortement composite. Enfin, les différences d'inertie thermique des maçonneries (brique, parpaing, pierre, murs rideaux...) influent considérablement sur les instants où sont atteints les extrema et sur leur amplitude. Ces derniers phénomènes sont regroupés sous les termes d'amortissement et de déphasage.

D'autre part, la thermographie infrarouge, tout comme la télédétection dans d'autres bandes spectrales, ne permet pas d'accéder à d'éventuelles "anomalies environnementales" ou pollution des sols par des métaux lourds ou hydrocarbures. Les résultats scientifiques sur le sujet sont issus d'études menées en laboratoire (Gaft et al., 2002 ; Laville et al., 2006), dans des conditions fort éloignées de celles rencontrées par les capteurs embarqués sur des vecteurs aéroportés.

## Le prix de la connaissance

L'utilisation d'un capteur aux caractéristiques radiométriques et géométriques parfaitement connues, et d'un système de positionnement GPS complété d'une centrale inertielle, permet de localiser chaque acquisition avec une précision totale décimétrique. Une

modélisation mathématique rigoureuse du capteur est un préalable indispensable à une orthorectification des images, permettant la bonne localisation de l'information thermique à une résolution variant de 30 à 50 cm, selon l'altitude de vol (environ 500 m au-dessus du sol). Le travail à des résolutions spatiales plus élevées (pixel inférieur à 30 cm au sol) ne présente pas d'intérêt particulier compte tenu des formes et des échelles de rendu généralement adoptées pour la communication vers le public. La production d'une orthomosaïque thermique est une garantie de qualité et de cohérence de l'ensemble des traitements appliqués sur la zone couverte, en rapport notamment avec l'ajustage des images et les corrections d'ambiance.

L'accès à des valeurs indicatives des pertes thermiques des bâtiments se fait au prix de certaines hypothèses simplificatrices, qui rendent possible l'acquisition de données par télédétection aéroportée. La classification des déper-

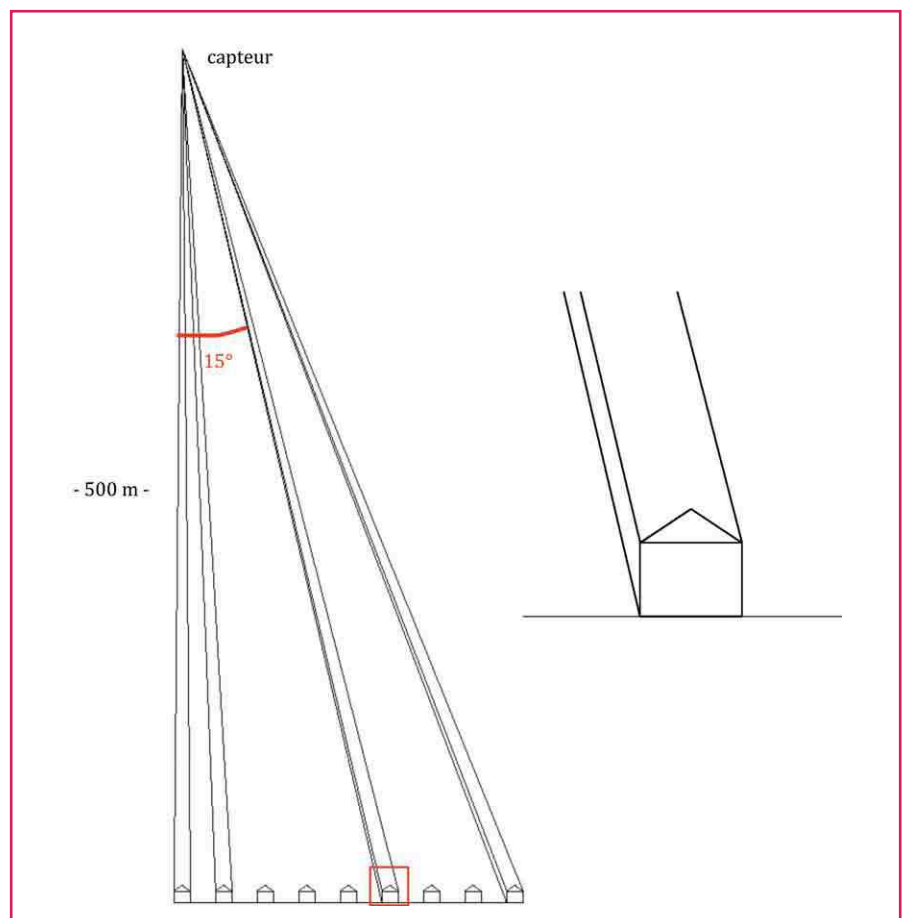


Figure 2. Représentation à l'échelle de la géométrie de l'acquisition de l'information sur un bâtiment d'environ 10 mètres de haut.



ditions doit poursuivre l'objectif d'être robuste dans le temps et l'espace. Cela signifie qu'il faut tenter de s'affranchir de la variation temporelle des déperditions (la phase d'acquisition dure plusieurs heures, éventuellement sur plusieurs jours, les capteurs dérivent...) et les variations de conditions de températures sur la superficie de la ville sont significatives. C'est pourquoi, nous proposons quelques hypothèses assez strictes :

1. Les déperditions par convection sont en régime établi ;
2. Les déperditions passent effectivement par la couverture (transmission au travers des composants de la toiture) ;
3. Les toitures sont lambertiennes aux longueurs d'ondes utilisées (i.e. même luminance rayonnée dans toutes les directions) ;
4. Le régime thermique est établi (bâtiment et conditions aux limites).

*L'hypothèse 1* est vraie tant que le vent (duquel dépend fortement le coefficient d'échange par convection) est faible voire nul. Ainsi, il y a peu ou pas d'effet de masque, de venturi et les variations du coefficient d'échange par convection sont faibles pendant la durée des acquisitions, et approximativement constants, au regard des échanges par rayonnement.

*L'hypothèse 2* dit simplement que les déperditions par infiltration-ventilation ne sont pas quantifiées. Aussi, la classification n'aura pas de sens pour les locaux fortement ventilés. L'exploitation et l'interprétation des images doivent en tenir compte.

*L'hypothèse 3* est régulièrement admise pour bon nombre de matériaux classiques du bâtiment vus sous des incidences inférieures à 45°.

*L'hypothèse 4* n'est jamais rigoureusement vérifiée car complètement dépendante du scénario d'occupation/chauffage des bâtiments. La toiture des bâtiments individuels, du fait de leur faible inertie thermique, est assez facilement en régime établi pour peu que les températures intérieures et extérieures varient peu. Dans ces conditions, les déperditions par rayonnement permettent de comparer les déperditions glo-

bales de deux toitures différentes sans pour autant conclure quant à la qualité de leur isolation. Les acquisitions au lever du soleil, lorsque la demande en chauffage est la plus forte, sont donc moins favorables car c'est précisément le moment où les températures extérieures et intérieures varient le plus.

Dans de telles conditions, l'utilisation de la thermographie aérienne comme moyen de comparaison des bâtiments est acceptable pour les municipalités demandeuses d'information. La thermographie n'a pas vocation à fournir de mesures absolues de déperditions mais bien une classification qui permet de définir des priorités dans l'action politique.

### Quel bilan pour la thermographie aérienne de villes ?

Il faut concevoir la thermographie comme un outil au service de la compréhension du fonctionnement général du bâtiment et de son état. L'interprétation de l'image doit être confiée à un expert formé à la compréhension des images infrarouges. Ce travail est notamment réalisé par les conseillers info énergie qui s'appuient sur la description du bâtiment pour analyser et comprendre la thermographie, information qui leur permet alors d'affiner la connaissance du comportement du bâtiment.

Il importe également que les compétences présentes dans les services techniques des collectivités soient pleinement valorisées dans ce type d'opérations. En effet, les services SIG et bâtiment sont trop souvent oubliés par les services de la communication ou du développement durable alors qu'ils possèdent l'expertise nécessaire à la bonne spécification des besoins comme à l'évaluation des propositions et des rendus.

Les retours d'expérience de la part des collectivités s'étant engagées dans une démarche de diagnostic par thermographie sont rares ou systématiquement positifs. C'est le principal écueil à l'établissement d'une méthode fiable, car il faut comprendre les réticences : quel maître d'ouvrage ayant engagé

des sommes importantes, ayant sollicité les lumières des médias pourra se permettre de s'avouer déçu par une prestation qu'il a lui-même choisie ? L'expérience la plus significative se constitue lors des formations des personnels des services techniques qui confrontent ce qu'ils savent de leurs bâtiments avec ce que leur apprend la thermographie.

On peut néanmoins tirer quelques grandes règles concernant les limites du diagnostic thermographique au service du diagnostic thermique. Il est évident de constater que la thermographie des toitures ne présente aucun intérêt pour des logements collectifs de plusieurs étages. Ces logements proposent, à partir de R+3 globalement, des surfaces de façades largement supérieures à la surface de toiture, des équipements en toiture qui masquent en grande partie les déperditions par l'enveloppe, etc... pour cette typologie de bâtiment, le diagnostic au sol reste le seul moyen d'accéder à une information pertinente au regard de la structure du bâtiment.

Comme dit précédemment, la constitution du niveau directement sous toiture peut s'avérer rédhibitoire à l'emploi de la thermographie : un comble non isolé et fortement ventilé apparaîtra comme bien isolé au regard du capteur. La thermographie ne "visualise" que les déperditions par rayonnement ; la prise en compte de la convection est simplifiée et les pertes par infiltrations / exfiltrations sont simplement ignorées.

Certaines vertus attribuées à la thermographie ne font pas l'unanimité chez les professionnels et l'absence de certification des opérateurs sous une quelconque forme constitue une lacune patente pour garantir le niveau des prestations. Le seul terme de thermographie n'est donc pas suffisant pour définir la méthode car si la simple "photographie thermique" est utile pour analyser des phénomènes locaux à l'échelle d'une toiture, elle demeure insuffisante pour établir une classification globale et pertinente d'un parc immobilier dans son ensemble. La thermographie aérienne demeure un outil valable d'alerte et de sensibilisation des populations à la problématique des



► économies d'énergie mais elle est une opération à forte technicité et ne peut être réduite à la seule communication qui doit l'accompagner. Cette prestation mérite donc l'intérêt d'une large communauté d'utilisateurs au sein des services techniques et doit faire partie d'une démarche globale en faveur de la réduction des consommations énergétiques. ●

## Contact

### Jean-Baptiste HENRY

ingénieur topographe ENSAIS et docteur en géographie physique, est chef de projet "Information géographique" au département Télédétection du LNE.  
Jean-Baptiste.Henry@lne.fr

### Sylvain PIERRARD

ingénieur thermicien, est chef de projet "Intégration de systèmes" au département Télédétection du LNE.

### Pascal RIDOUX

docteur en physique spécialité échanges thermiques, est responsable du département Télédétection du LNE.

## Références

**Gaft M., Seigel H., Panczer G., Reisfled R., 2002, Laser-induced time-resolved luminescence spectroscopy of Pb<sup>2+</sup> in minerals**, European journal of mineralogy, Vol. 14 (6), pp. 1041-1048.

**Laville S., Vidal F., Chaker M., Sabsabi M., 2006, Laser-induced breakdown spectroscopy : Investigation of Pb resonant excitation and decay paths**, Proceedings of SPIE, International Society for Optical Engineering, International Conference on Applications of Photonic Technology No8, Quebec PQ,

**Le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE)** est un laboratoire de référence en métrologie, un organisme de formation et un centre de R&D. Il est à l'origine du développement méthodologique de la thermographie aérienne en France depuis la fin des années 1970, tant sur les applications de cartographie de déperditions thermiques du bâtiment que sur d'autres applications environnementales telles que le rejet de centrales électriques, détection de pollution marine (systèmes POLMAR des douanes françaises), suivi de l'auto-combustion de terrils...

Canada, Vol. 6343 (2), pp. 634321.1-634321.8.

**Pierrard S., 2007, La thermographie aérienne appliquée aux diagnostics de toiture. Possibilités et limites**, Thermogram'2007, Première journée nationale de thermographie du bâtiment, Châlons-en-Champagne, pp. 111-128.

## ABSTRACT

**Key words:** infrared thermography, buildings, thermal losses

*Aerial infrared thermography to evaluate heat losses of dwellings has recently met an important success in France, partly because of different governmental initiatives to make citizens aware of their own energy consumption and their personal environmental responsibility. Strong media coverage tends to oversell the actual capabilities of the technique. This paper aims at replacing aerial thermography within its scientific and technical backgrounds to better understand what is possible and how to use its results.*

### Olivier Reis

*Ingénieur géomètre-topographe ENSAI Strasbourg  
Diplômé de l'Institut de traducteurs et d'interprètes (ITI) de Strasbourg*

*9, rue des Champs F-57200 SARREGUEMINES*

*Téléphone : 0387985704 Télécopie : 0387985704 E-mail : o.reis@infonie.fr*

Pour toutes vos traductions d'allemand et d'anglais en français en  
**topographie - géodésie - photogrammétrie - SIG - cartographie - GPS**

### Reinhart Stölzel

*Ingénieur géomètre-topographe  
Interprète diplômé de la Chambre de commerce et d'industrie de Berlin*

*Heinrich-Heine-Strasse 17, D-10179 BERLIN*

*Téléphone : 0049309700 52 60 Télécopie : 0049309700 52 61 E-mail : reinhart.stoelzel@eplus-online.de*

Pour toutes vos traductions de français et d'anglais en allemand en  
**topographie - géodésie - SIG - GPS - chemin de fer - routes**

### Paul Newby

*Membre de la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)  
Diplômé des universités de Cambridge (géographie) et de Londres (photogrammétrie)*

*9 Merrytree Close, West Wellow, Romsey, Hants SO51 6RB GB*

*Téléphone: 00 44 1794 322993 Télécopie: 00 44 1794 324354 E-mail: paulnewby@onetel.net.uk*

Pour toutes vos traductions de français en anglais en  
**topographie - géodésie - GPS - SIG - cartographie - photogrammétrie - télédétection**

***Des topographes traducteurs à votre service***