

Dossier pédagogique

THERMOGRAPHIES



Raphaëlle Kerbrat, *Thermographies (détails)*, 2021-2025

La thermographie

L'infrarouge p 2

Le thermogramme p 3

Les infra-mondes

La sensibilité altérée p 4

Au-delà du spectre p 5

L'imperceptible visible

La dataphanie p 6

Les thermographies p 7

À découvrir... p 8

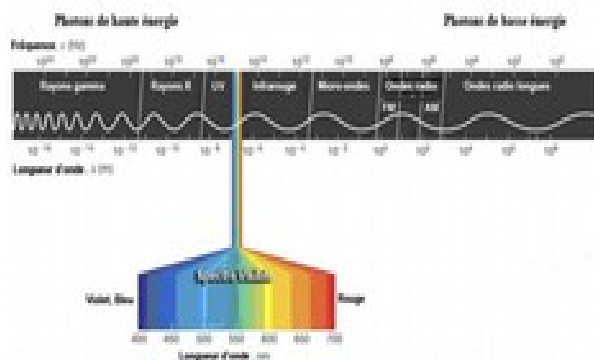
La thermographie

L'infrarouge

« Puisque le visible est trop obscur pour que l'on y trouve un sens à la vie, il vaut mieux chercher dans la lumière de l'invisible. » Jacques Nteka Bokolo

Le spectre de lumière

L'infrarouge est une onde électromagnétique, dont le nom signifie « en dessous du rouge », car il prolonge le spectre visible du côté du rayonnement de fréquence la plus basse, qui apparaît de couleur rouge. Ces rayonnements peuvent être représentés sous forme de frise, appelée spectre, avec la lumière visible au milieu. À gauche de la lumière visible, des fréquences contenant plus d'énergie : les UV, les rayons X et les rayons gamma. À droite, il y a les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radios... À l'inverse, ces fréquences sont moins énergétiques que la lumière visible.



L'astronome William Herschel rend visible le rayonnement infrarouge en 1800 au moyen d'une expérience très simple. Il place un thermomètre à mercure dans les rayons lumineux colorés issus d'un prisme de verre afin de mesurer la chaleur propre à chaque couleur. Le thermomètre indique alors que la chaleur reçue est plus forte du côté rouge du spectre, y compris au-delà de la zone de lumière visible, là où il n'y a plus de lumière. Cette expérience montre pour la première fois que la chaleur peut se transmettre par un rayonnement de même nature que la lumière visible.

L'émissivité thermique

En 1804, le physicien John Leslie propose un dispositif destiné à calculer la valeur d'émissivité thermique de chaque matériau selon sa nature et sa géométrie : le cube de Leslie. Le terme infrarouge est de son côté attesté en 1867.



John Leslie, *Le Cube de Leslie*, 1872

Au XIX^e siècle, les recherches photographiques du chimiste et physicien William de Wiveleslie Abney l'amènent à étudier le spectre, d'abord du point de vue de la sensibilité des sels d'argent, puis selon la longueur d'onde des rayons lumineux. Il poursuit ces recherches par celle de la sensibilité visuelle et la photométrie¹ des couleurs. C'est en 1877 qu'il parvient à sensibiliser pour la première fois une émulsion photographique aux infrarouges et à photographier le spectre infrarouge du soleil. L'image obtenue est réalisée par l'évaporation différentielle d'une fine pellicule d'huile et la réflexion de la lumière sur cette dernière. Cela lui permet dès lors d'étudier le spectre solaire et ses raies hors du domaine visible.

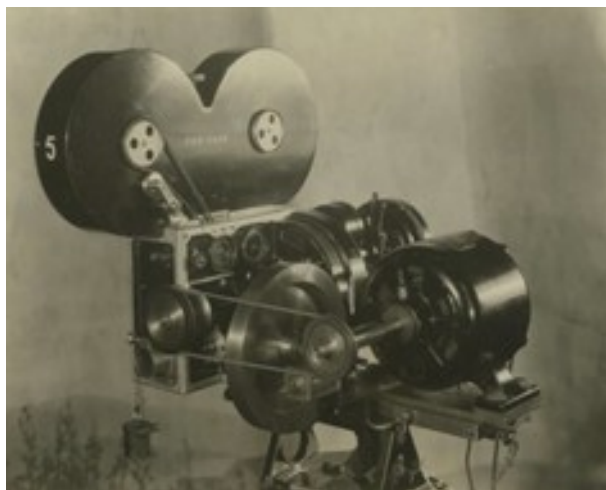
¹ La photométrie est l'art de mesurer le rayonnement lumineux tel qu'il est ressenti par la vision humaine, et, par extension, l'étude quantitative de la transmission de ce rayonnement.

Le thermogramme

« Nos moyens de recevoir des impressions sont absurdement limités, et nos notions des objets environnants infiniment étroites. Nous ne voyons les choses que telles que nous sommes construits pour les voir, et ne pouvons nous faire aucune idée de leur nature absolue. » Howard Phillips Lovecraft

Les détecteurs photoconducteurs

Les premières caméras infrarouges portent le nom de « détecteurs photoconducteurs ». De 1916 à 1918, l'inventeur américain Theodore Case procède à des expérimentations impliquant des détecteurs photoconducteurs en vue de produire un signal par le biais d'une interaction directe avec les photons² plutôt que par le biais de facteurs thermiques. Le résultat ? Un détecteur plus rapide et plus sensible. Au cours des années 1940 et 1950, la technologie thermographique est développée pour répondre à la demande militaire grandissante. Des scientifiques allemands découvrent alors que le refroidissement du détecteur photoconducteur permet d'augmenter les performances globales.



Theodore Case, *Caméra infrarouge*, 1927

Mais il faut attendre les années 60 pour que la thermographie infrarouge soit utilisée dans des applications non militaires. Les premiers systèmes déployés au sein d'applications industrielles, telles que l'inspection de vastes systèmes de transmission et de distribution électriques, n'en sont pas moins encombrants, lents et d'une résolution encore très faible. Les progrès réalisés au cours des années 1970 dans le domaine des applications militaires permettent enfin de fabriquer les premiers systèmes portatifs pouvant dès lors être également utilisés pour des opérations telles que le diagnostic de bâtiments et l'essai non destructif de matériaux.

² Le photon est une particule élémentaire qui est la plus petite mesure indivisible d'énergie associée aux ondes électromagnétiques.

La palette thermique

Revenons maintenant légèrement en arrière. Contrairement au monde visible, dans le monde infrarouge, tout objet ayant une température supérieure à zéro émet de la chaleur. Même les objets très froids, tels que les glaçons, émettent des infrarouges. Plus la température d'un objet est élevée, plus la radiation infrarouge émise est importante. Le système de détection-captation infrarouge convertit la puissance du rayonnement en signaux, ceux-ci sont ensuite transcrits en température par le calculateur et transformés en points lumineux de couleur.

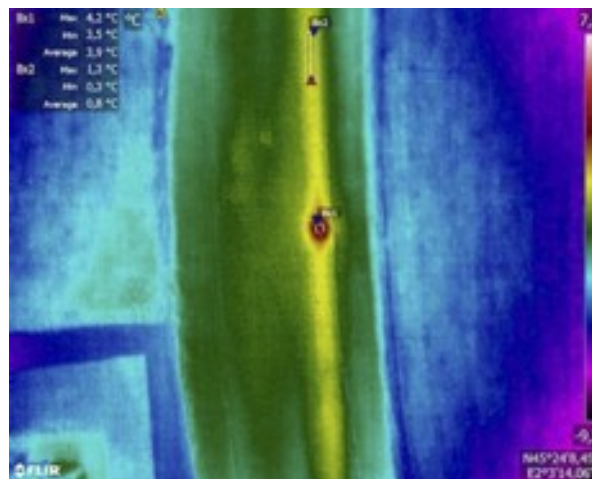


Image interprétée par la palette Rainbow

Un thermogramme est ainsi une image contenant sa matrice de température, voire d'autres données radiométriques³ permettant son retraitement ultérieur, tandis qu'une image thermique est simplement une vision statique d'une scène thermique. Les thermogrammes sont généralement représentés en fausses couleurs, où chaque couleur représente une plage de température spécifique. Les zones chaudes apparaissent en rouge ou en jaune, tandis que les zones froides apparaissent en bleu ou en violet. Bien que ces couleurs intenses n'aient rien de réel, elles révèlent une réalité qui échappe habituellement à l'œil humain. Le thermogramme en devient l'une des signatures visuelles de notre temps, une projection cartographique de l'émissivité thermique d'un corps, d'un objet ou encore d'une scène.

³ La radiométrie est le domaine qui étudie la mesure de l'énergie transportée par les rayonnements, dont les rayonnements électromagnétiques.

Les infra-mondes

La sensibilité altérée

« La sensibilité peut se comparer au spectre. Au milieu du spectre, la sensibilité se réfère au “monde”, elle se confond avec lui, ou forme une image insensible, objective... Vers les deux extrémités, elle donne des ultra-mondes et des infra-mondes. » Paul Valéry

Des explorations perceptives

Le cinéma expérimental constitue l'un des terrains privilégiés pour explorer des usages techniques restés marginaux. En 1953, par exemple, le cinéaste Kenneth Anger recourt à la pellicule infrarouge dans son film *Eaux d'artifice*, tourné dans les jardins de la Villa d'Este à Tivoli. Réalisé en plein jour avec un négatif infrarouge en noir et blanc, le film est ensuite tiré sur pellicule Ektachrome à travers un filtre cyan, produisant un rendu baigné d'une teinte bleutée et spirituelle, qui évoque la clarté lunaire et donne l'illusion d'une scène nocturne.



Kenneth Anger, *Eaux d'artifice*, 1953

Entre les années 1960 et 1970, des artistes s'emparent du procédé Ektachrome infrarouge pour nourrir des imaginaires visuels liés à la culture psychédélique et aux explorations perceptives associées aux états modifiés de conscience. Ces usages entrent en résonance avec les altérations de la sensibilité humaine documentées à la même époque, notamment dans certaines études consacrées aux effets induits par la consommation de drogues. Les fonctions du support subissent ainsi un détournement singulier : d'instrument militaire, il devient le vecteur d'une poétique – et même d'une politique – antimilitariste, en résonance avec les contre-cultures de l'époque.

L'expressivité des fausses couleurs

La fascination pour les « fausses couleurs » de l'Ektachrome infrarouge prend une inflexion particulièrement politique dans les œuvres de certains artistes. Dans les années 1970 et 1980, la photojournaliste Claudia Andujar réalise une série de photographies consacrées à la communauté indigène Yanomami⁴ dont la vie a été profondément bouleversée par la construction de la Route transamazonienne. L'artiste détourne ici une technique pour l'investir d'une portée éminemment politique. Si, dans le contexte de la topographie, ces images servent à l'étude et à la recherche, elles sont ici transformées pour générer un puissant effet d'étrangeté. Ainsi se dessine une autre manière de rendre visible l'invisible : articuler la visibilité technique de l'infrarouge à une visibilité sociale, celle d'un peuple menacé et oublié.



Claudia Andujar, *Urihi-a*, 1974

À travers cette exploration des usages de la pellicule infrarouge se dessine une tension constante entre logiques d'efficacité technologique et dynamiques d'expérimentation esthétique. Loin de se réduire à une histoire linéaire ou à un simple échec technologique, l'imagerie infrarouge révèle un champ d'exploration aux contours multiples, où s'entrelacent enjeux techniques, choix économiques, contraintes de production, mais aussi imaginaires sensibles et engagements politiques.

4 Les Yanomami sont un peuple indigène d'Amérique du Sud. Présents au Brésil et au Venezuela, ils constituent un ensemble linguistique et culturel divisé en quatre sous-groupes.

Au-delà du spectre

« *L'art ne reproduit pas le visible, il rend visible.* » Paul Klee

Des distorsions chromatiques

D'un côté, l'usage infrarouge s'enracine dans des dispositifs à visée utilitaire – surveillance militaire, détection végétale, contrôle territorial – où prévaut une logique de rationalisation du visible. De l'autre, il est réapproprié dans des contextes expérimentaux et artistiques, sa capacité à générer des écarts perceptifs, des distorsions chromatiques ou des visions nocturnes artificielles devenant alors vectrice d'expressivité. Ces photogrammes participent à l'émergence d'un regard élargi, alternatif, nourri à la fois par la fascination pour les imaginaires de l'invisible et par la volonté critique de subvertir les logiques de pouvoir ayant présidé à leur élaboration.



Richard Mosse, *Infra*, 2011

Richard Mosse est l'artiste qui a su donner ses lettres de noblesse au genre thermographique dans l'art contemporain. Photojournaliste de profession, il parcourt des zones de haute tension et couvre des conflits internationaux. C'est la capacité de la vision infrarouge à révéler des aspects inédits des crises politiques et environnementales qui est au cœur de sa démarche. Cet usage artistique contribue à faire vaciller la frontière entre ce qui est vu et ce qui est révélé, entre visibilité normative et visibilité critique. Il invite à penser l'infrarouge comme un espace d'indétermination fertile entre visible et invisible, là où l'image cesse d'être une simple restitution pour devenir une opération d'altération, d'intensification ou de trouble.

La thermoception

En saisissant les rayonnements thermiques invisibles à l'œil nu, la thermographie incite un changement de paradigme⁵ concernant la part visible du monde, c'est-à-dire un déplacement sensible et une variation de points de vue sur les phénomènes d'apparition. En donnant forme, par le biais d'une image, à des émissions invisibles de chaleur, elle articule le domaine du voir à celui du sentir, nous obligeant à considérer les limites biologiques et sensorielles du corps humain, autrement dit, à revoir la hiérarchie de nos sens (de la vision à la thermoception) autant que celle de notre place à l'échelle du vivant.



Hanako Murakami, *Possible n° 6*, 2022

À rebours d'une approche fondée sur l'image fixe, l'artiste Hanako Murakami interroge la photographie moins comme une technique que comme une manière de voir. Elle explore des situations où le regard ne se contente plus de percevoir : il agit, altère, déplace. Dans *Possibles (Thermographie)*, la chaleur des objets – et non la lumière – devient matrice de l'image. « *En explorant les procédés anciens de la photographie, je découvre ce que la photographie aurait pu être, c'est-à-dire des scénarios possibles non exploités* », écrit l'artiste.

⁵ Un paradigme est une représentation du monde, une manière de voir les choses, un modèle cohérent de vision du monde qui repose sur une base définie.

L'imperceptible visible

La dataphanie

« Il y a une hybridation très forte entre la représentation symbolique et la réalité physique. L'un des traits principaux de ce nouveau paradigme consiste à conjuguer des modes de représentations et des modes opératoires. » Samuel Bianchini

Des processus de re-matérialisation

Le développement de l'informatique, en se constituant dans une logique de dématérialisation de l'information, a contribué à introduire le numérique dans un monde immatériel. La miniaturisation et la complexité des couches logiques et physiques des technologies numériques ont conduit, en partie, à un déficit sensible côté utilisateur, en provoquant une mise à distance avec la part matérielle et énergétique de ses infrastructures. Dans un contexte de crise écologique, qui soulève aujourd'hui les paradoxes d'une condition immatérielle du numérique, quels rôles l'art peut-il jouer dans l'appréhension sensible des matérialités numériques et des processus de traitement et de transmission de flux de données ?



Raphaëlle Kerbrat, *Le Poids des données*, 2023

Dans son travail, Raphaëlle Kerbrat explore la condition et les enjeux matériels du numérique, par une manipulation plastique de ses supports. Les artefacts qu'elle développe soulèvent le paradoxe de l'« immatérialité » numérique au regard de l'empreinte physique des infrastructures qui la supportent. En tissant un dialogue entre arts, sciences et technologies, elle s'attache à rendre visible l'imperceptible, au moyen de dispositifs révélant les matérialités du numérique de manière sensible et poétique.

Les artefacts

C'est ainsi qu'elle développe la notion de « dataphanie ». Un concept qui vise à expérimenter des artefacts permettant de révéler et de mettre en œuvre des phénomènes physiques sur lesquels repose les processus de traitement et de transmission des données. Il s'agit par là de renouer avec une expérience sensible de l'empreinte physique et de la trace énergétique de processus computationnels par le biais d'opérations plastiques et esthétiques.



Raphaëlle Kerbrat, *Heatsink*, 2024

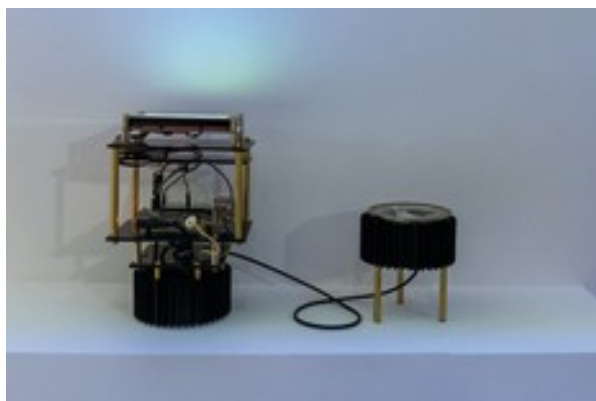
Son œuvre *Heatsink* représente les variations de chaleur émises par un processeur au cours d'un processus de calcul. 60 thermographies, prises à intervalle régulier d'une minute, ont été enregistrées à l'aide d'une caméra thermique. Les images, reproduites sur 60 plaques d'aluminium, représentent une heure d'enregistrement des variations thermiques générées par les opérations de la machine. La superposition des strates métalliques s'apparente à celle d'un dissipateur thermique (heatsink) utilisé pour refroidir les composants électroniques. La décomposition des strates met en scène en trois dimensions l'évolution temporelle et thermique de l'activité computationnelle d'un système, en rendant visibles la trace énergétique et l'empreinte physique du calcul.

Les thermographies

« L'art est fondamentalement une relation entre l'énergie de l'artiste et les énergies qui l'environnent, naturelles, humaines, technologiques. » Lionel Richard

La trace énergétique

L'installation *Thermographies* est une série d'expérimentations qui témoigne de l'empreinte physique et de la trace énergétique de processus computationnels. Les images qui sont traitées sont celles d'un processeur en cours d'opération et dont la trace énergétique est enregistrée par une caméra thermique. Les images sont ensuite traitées par un algorithme d'analyses d'images, puis réintroduites dans la boucle algorithmique. L'activité computationnelle du système est rendue sensible par l'empreinte thermique de ses composantes. Dans cette oeuvre, la thermographie met en lumière le frottement physique établi entre le *software*⁶ et le *hardware*⁷.



Raphaëlle Kerbrat, *Thermographies (détail)*, 2023-2025

Pour représenter les différentes étapes du processus, quatre éléments sont ici présents : un ordinateur et une caméra, des impressions 3D de modèles d'analyses, des images thermiques affichées dans de petits dispositifs électroniques, des impressions photographiques de variations thermiques. Ensemble, dispositifs et images mettent en lumière les enjeux des données numériques sur le monde physique.

L'image témoin

La thermographie concentre ainsi les qualificatifs accolés à notre époque. Elle est complexe, ambiguë, instable, inquiétante. Elle est numérique et algorithmique, accumulant une quantité de données à chaque prise de vue. Avec ses couleurs trop fausses, trop vives, sa faible résolution qui brouille les contours, son rendu apparaît comme irréel. Elle est pourtant de notre temps. Celui-ci aime les filtres, les pixels saturés, les halos et les fluos. Cette imagerie est ainsi ancrée dans le réel, enregistrant les ondes calorifiques du dérèglement climatique ou de la fièvre dans un organisme contaminé.



Raphaëlle Kerbrat, *Thermographies (détail)*, 2023-2025

La thermographie infrarouge met ainsi en évidence des points de frictions thermiques que l'œil humain ne peut naturellement envisager. Dans *Thermographies*, il s'agit de la chaleur émise par l'infrastructure nécessaire aux calculs algorithmiques. Aussi, si l'explosion des usages numériques, favorisée par l'essor de l'IA, a impliqué le stockage des données dans des *data centers*, ces infrastructures sont aujourd'hui bien réelles et extrêmement énergivores. En rendant visible l'invisibilité du calcul, *Thermographies* nous fait ainsi comprendre que les techniques ne sont pas neutres : elles engendrent inéluctablement un monde avec elle.

6 *Software* est le synonyme du terme logiciel. Il s'agit du programme nécessaire au bon fonctionnement du matériel.

7 Le *hardware* désigne l'ensemble des composants physiques qui permettent aux systèmes informatiques d'exécuter des fonctions essentielles comme l'entrée, la sortie, le traitement et le stockage.

À découvrir

Sur la thermographie

ABC de la thermographie infrarouge

https://thethermographiclibrary.org/index.php/ABC_de_la_thermographie

Thermographie : qu'est-ce que c'est ?

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-thermographie-13360/>

Sur les artistes cités

Kenneth Anger

<https://www.kennethanger.net/>

Claudia Andujar

<https://www.fondationcartier.com/collection/artists/claudia-andujar>

Richard Mosse

<https://www.richardmosse.com/>

Hanako Murakami

<https://www.hanakomurakami.net/>

Raphaëlle Kerbrat

<https://raphaellekerbrat.com/>

Quelques expériences à réaliser

Effet caméra thermique / thermographie sur une image

<https://tech-lagoon.com/imagechef/fr/image-to-thermal.html>

Peinture thermochrome

<https://www.phosphorescent.fr/peintures-a-effets-speciaux/537-peinture-thermochrome-qui-reagit-a-la-temperature.html>

Le CD-spectroscope

https://youtu.be/oWoao_Y3GsM?si=1ikn4ZZx3kvUdrdl

Jouons avec la lumière et les couleurs

https://www.science-ecole.fr/Ecole2/Doc_Ecole/Couleurs.pdf

Sources : Edmond Becquerel, *La Lumière, ses causes et ses effets. Sources de lumière*, Paris, 1867-1868 / Richard Olson, *A Note on Leslie's Cube in the Study of Radiant Heat*, *Annals of Science*, vol. 25, septembre 1969 / Vincent Boudon, Cyril Richard et Cloë Vautrin, *La Lumière invisible : Herschel découvre l'infrarouge*, Photoniques, 2026 / Federico Pierotti, *Voir au-delà du spectre: les infra-mondes de la sensibilité photochimique*, Études de lettres 327, 2025 / Wikipédia