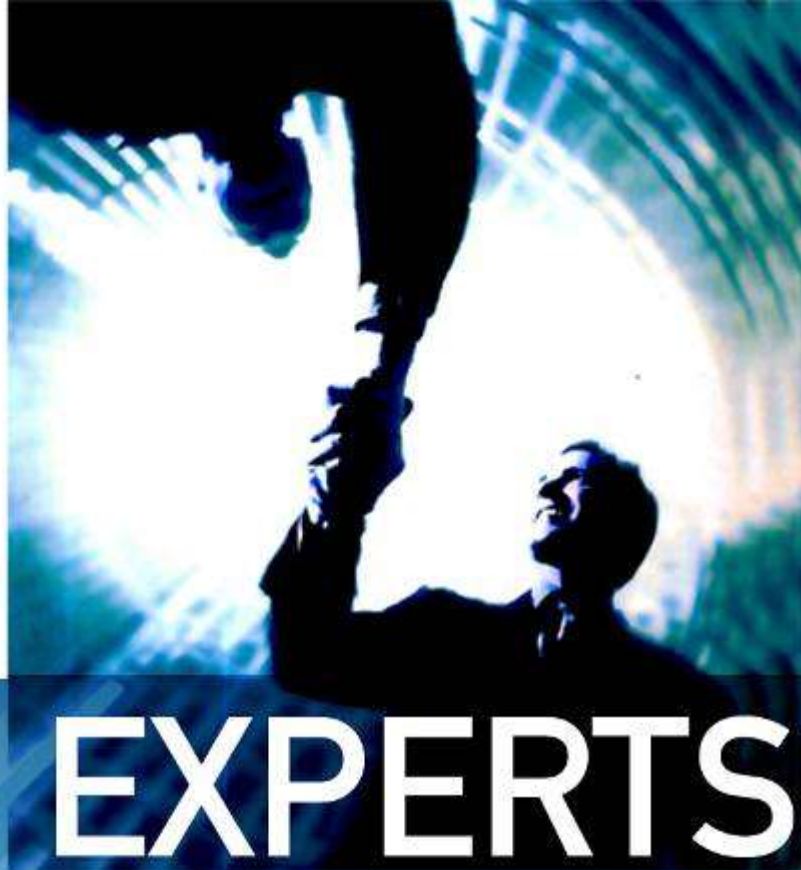


COMPTEZ SUR DES EXPERTS



Inspection des Installations Electriques par Thermographie Infrarouge et Détection Ultrasonore

23 juin 2016

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Les différents types de maintenance

Maintenance curative :

En dehors de certaines opérations périodiques comme le remplacement d'huile de graissage, on attend «la casse» de la machine pour la réparer.

Maintenance préventive systématique :

En s'appuyant sur une gestion rigoureuse, et sur une connaissance statistique de la vie des composants de chaque machine, on programme l'arrêt du matériel pour une révision systématique avant usure ou panne.

Maintenance Conditionnelle :

Son principe consiste, à partir de différentes techniques basées sur la mesure de paramètres physiques, tels que la mesure de vibrations, l'analyse d'huile, la thermographie infrarouge, l'analyse ultrasonore, l'analyse électrique à estimer et suivre l'état de marche (et son évolution) du matériel en FONCTIONNEMENT, de manière à diagnostiquer des anomalies et programmer à l'avance les interventions de maintenance.

La maintenance conditionnelle permet de n'intervenir sur la machine qu'à la condition que l'analyse de paramètres physiques nous l'indique. Ces paramètres physiques font partie des descripteurs de la fonction «comportement» de la machine et font appel pour chaque domaine concerné à des expertises.



Objectifs de la maintenance conditionnelle

Augmentation de la disponibilité

Eviter des pannes catastrophiques

Augmenter la fiabilité des équipements en marche

Augmenter le temps moyen entre les révisions ou réparations

Planifier correctement les moments d'arrêts pour maintenance

Réduction des coûts de maintenance

Entretenir seulement quand nécessaire

Réduire les temps de réparation

Planifier les activités de maintenance en se basant sur des besoins réels

Eliminer les coûts dus aux réparations urgentes

Diagnostiquer les équipements avant leur entretien périodique

Remplacer seulement les pièces défectueuses lors de révisions périodiques

S'assurer du montage correct des installations et des nouveaux équipements

Réduction des frais liés à l'achat

Diminuer le stock de pièces de rechange

Qualifier les équipements en fonction de leur coût de cycle de vie

Vérifier la conformité des nouvelles installations pendant la période de garantie

Thermographie Infrarouge

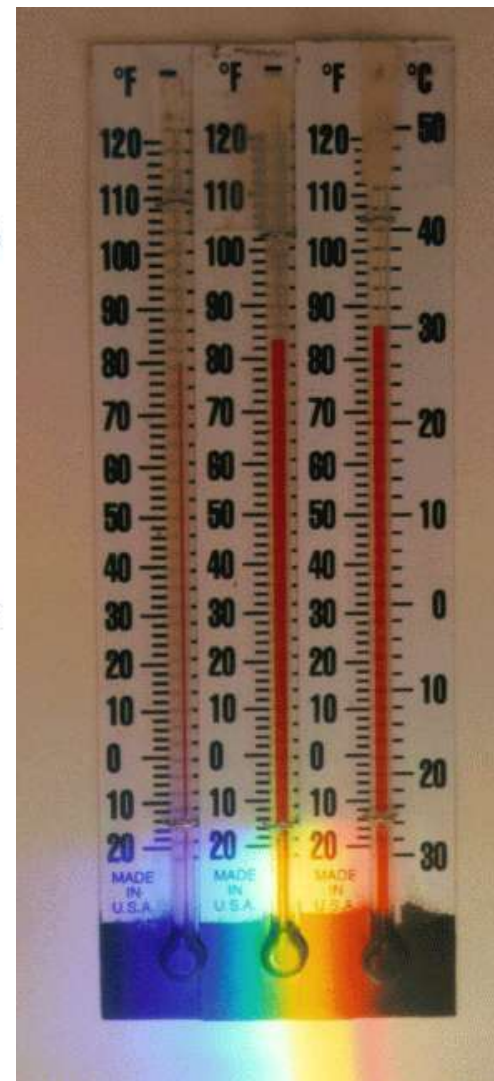
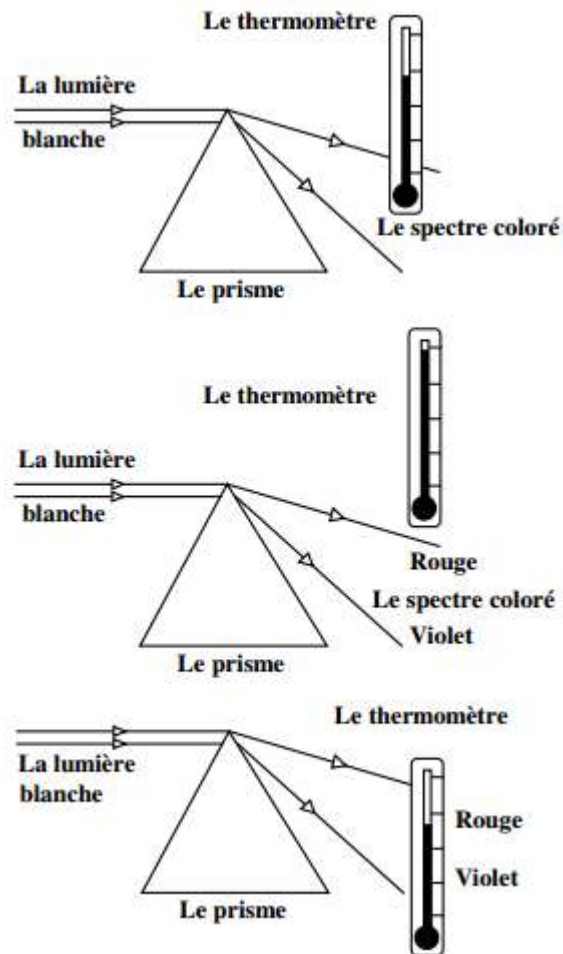
Théorie – Principes physiques

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Historique

→ Découverte de la décomposition de la lumière par Sir W. Herschell (1738 - 1822)

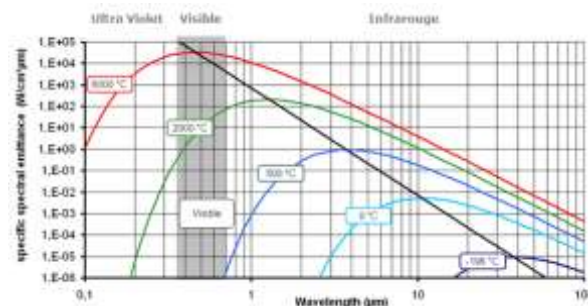




Lois de rayonnement thermique

Loi de Rayonnement de Planck

Rapport entre l'intensité du rayonnement, la température de l'objet et la longueur d'onde.



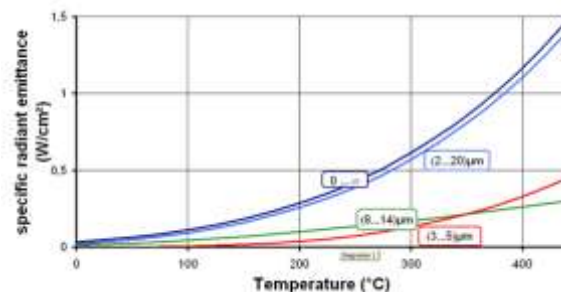
Loi de Wien

La loi du rayonnement de Wien caractérise la dépendance du rayonnement du corps noir à la longueur d'onde.

$$\lambda_{\max} * T = 2896 \mu\text{m} * \text{K}$$

Loi de Stefan-Boltzmann

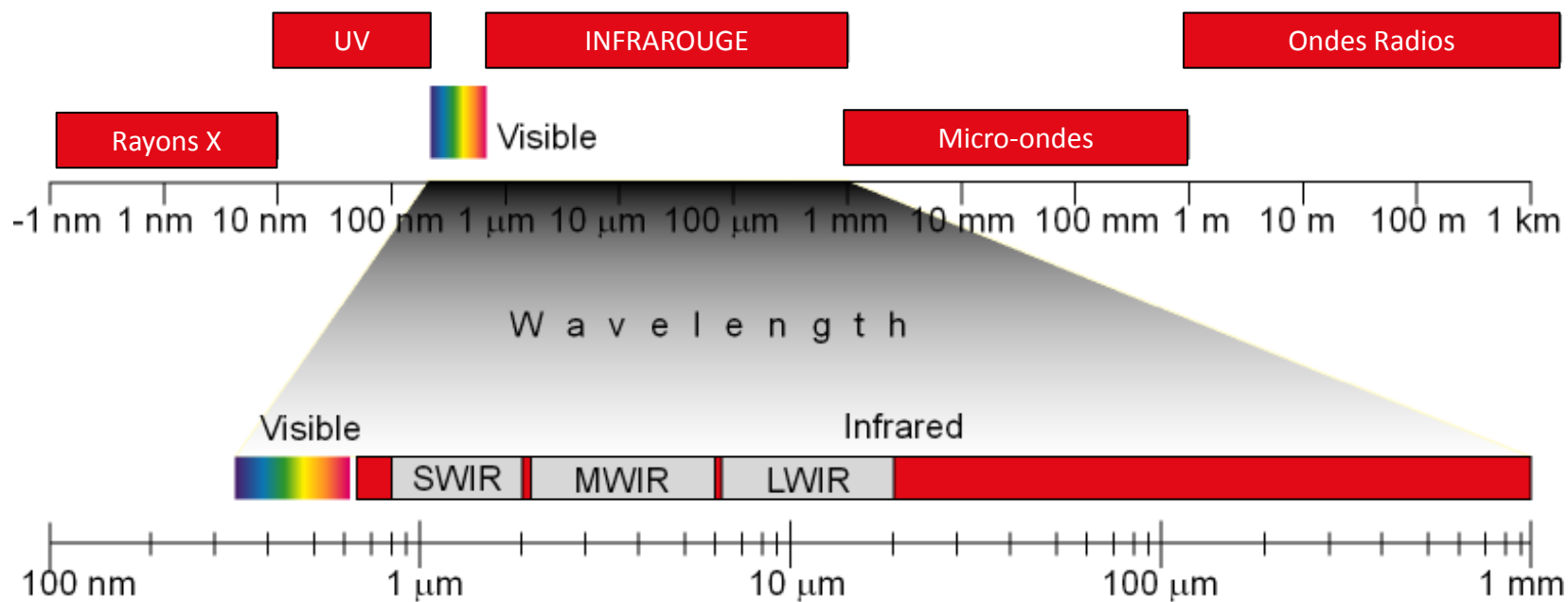
L'existence énergétique du corps noir en watt par mètre carré (puissance totale rayonnée par unité de surface dans le demi-espace libre d'un corps noir) est liée à sa température exprimée en Kelvin par la relation d'onde $M = \sigma \cdot T^4$





Spectre électromagnétique

Longueurs d'ondes utilisées par les systèmes de thermographie infrarouge





Principes de la mesure thermographique

Tous les objets ayant une température supérieure au zéro absolu (0,0 K ou - 273,15 ° C) émettent un rayonnement électromagnétique.

La mesure de la température d'un objet peut se faire sans contact direct.

Mesure instantanée, avec un diagnostic immédiat.

Mesure objective, sur la base d'une image thermique qualitative et quantitative, permettant d'obtenir un diagnostic de l'équipement, **à distance, sans arrêter** celui-ci.

Thermographie Infrarouge

Paramètres principaux

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Mode de transfert de la chaleur

Conduction



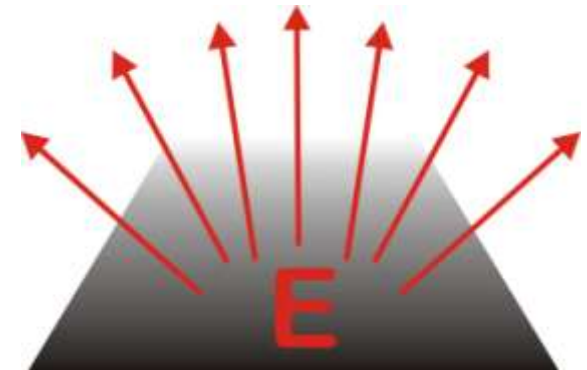
A l'intérieur et entre les
matières solides

Convection



Entre plusieurs gaz, ou
entre un gaz et d'autres
matières solides

Rayonnement
thermique

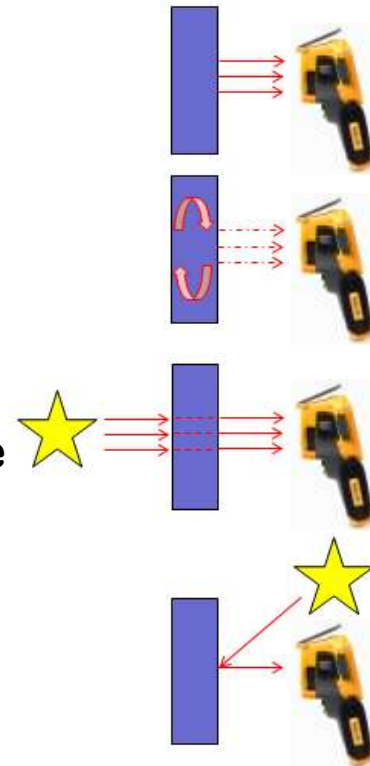


Sans milieu de
transfert (par
exemple sous vide)



Paramètres de rayonnement d'un objet

Emissivité ε	Capacité d'un objet à émettre un rayonnement infrarouge
Absorption α	Capacité d'un objet à absorber un rayonnement infrarouge
Transmissivité τ	Capacité d'un objet à transmettre un rayonnement infrarouge
Reflection ρ	Capacité d'un objet à réfléchir un rayonnement infrarouge





Propriétés des matériels

$$\varepsilon_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

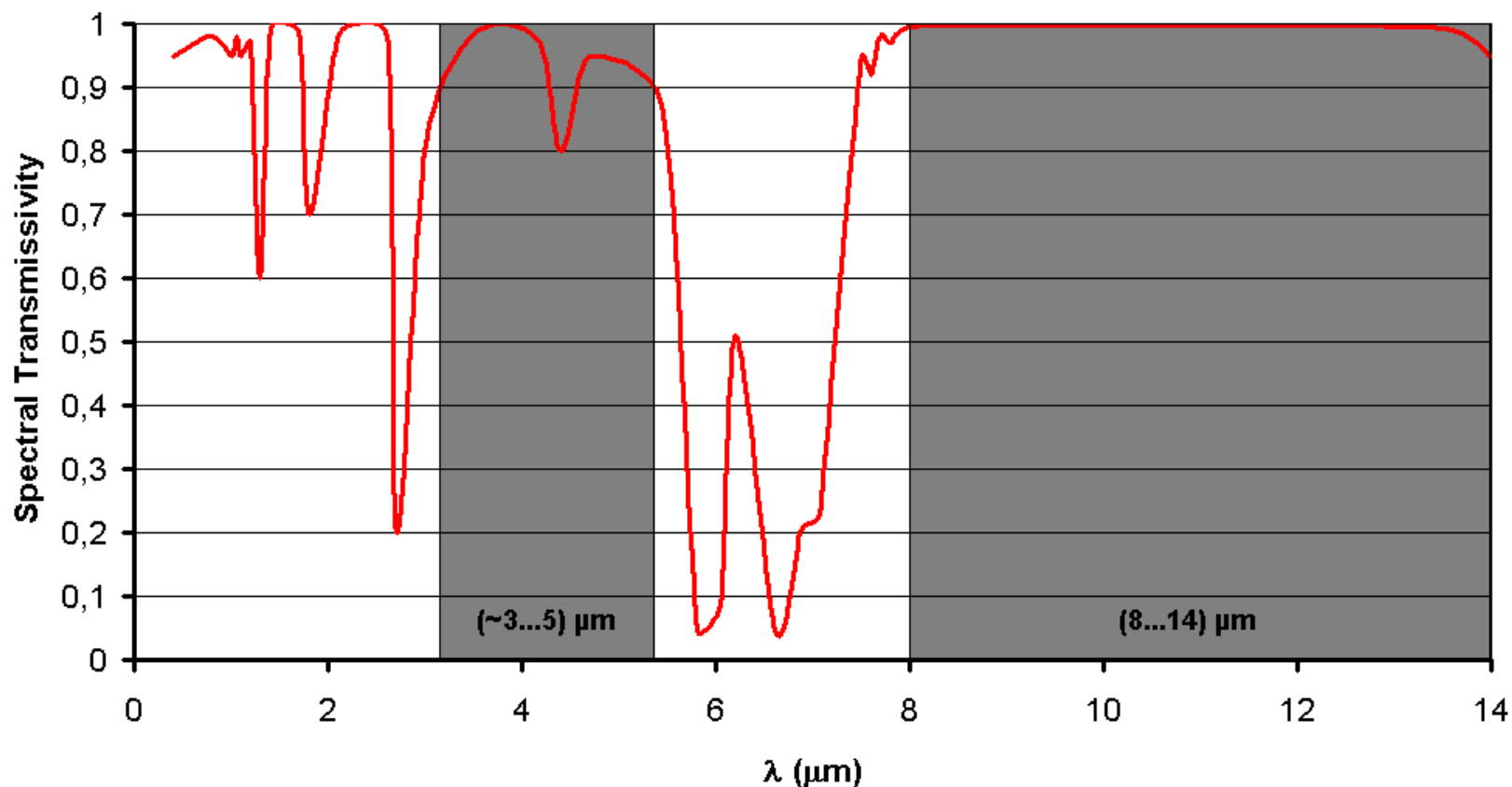
Emissivité ε
Transmissivité τ
Réflectivité ρ

Cas spécifiques	Specifique	Résultat
Corps noir	$\varepsilon = 1$	$\tau = 0, \rho = 0$
Miroir idéal	$\rho = 1$	$\varepsilon = 0, \tau = 0$
Fenêtre idéale	$\tau = 1$	$\varepsilon = 0, \rho = 0$
Corps opaque (non transparent)	$\tau = 0$	$\varepsilon + \rho = 1$



Fenêtre atmosphérique

La transmission dans l'atmosphère dépend de la longueur d'onde.





Définition de l'émissivité

$$\text{Emissivité} = \frac{\text{Rayonnement émis par un objet à la température } T}{\text{Rayonnement émis par un corps noir à la température } T}$$

Influence de l'objet à mesurer:

- Composition du matériel
- Couches superposées - épaisseur
- Etat de surface (rugosité)
- Angle avec la surface mesurée

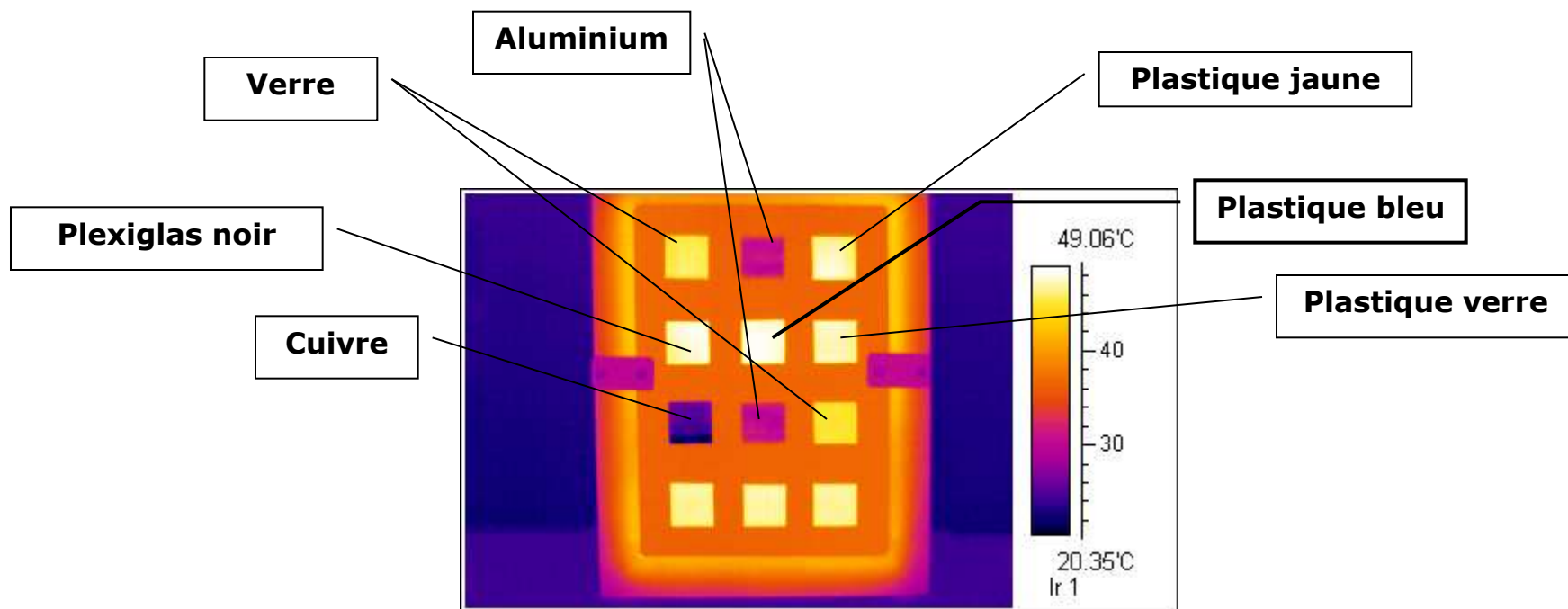
Dans le domaine électrique :
Emissivité utilisée de **0,84**

Les tableaux de valeurs d'émissivité ne peuvent pas être utilisés en toute sécurité, car il ne prennent pas en compte ces paramètres!



Définition de l'émissivité

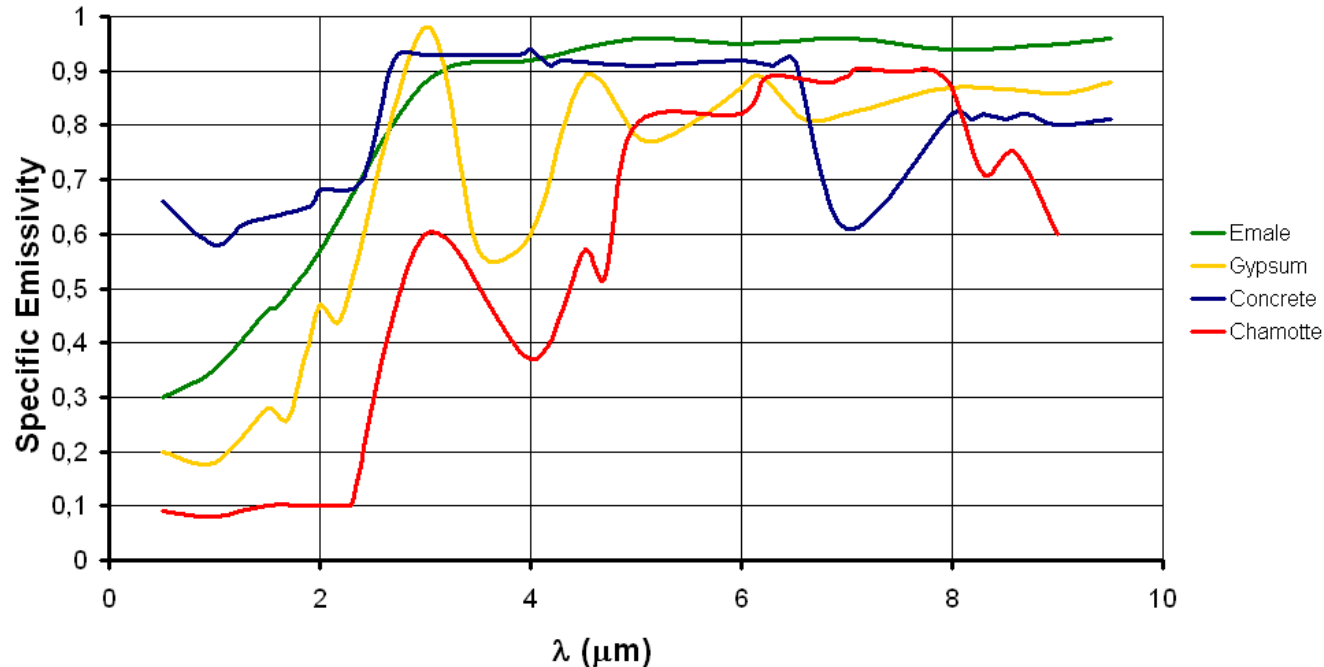
Différents matériaux:





Composition du matériau mesuré

Emissivité de matériaux non ferreux

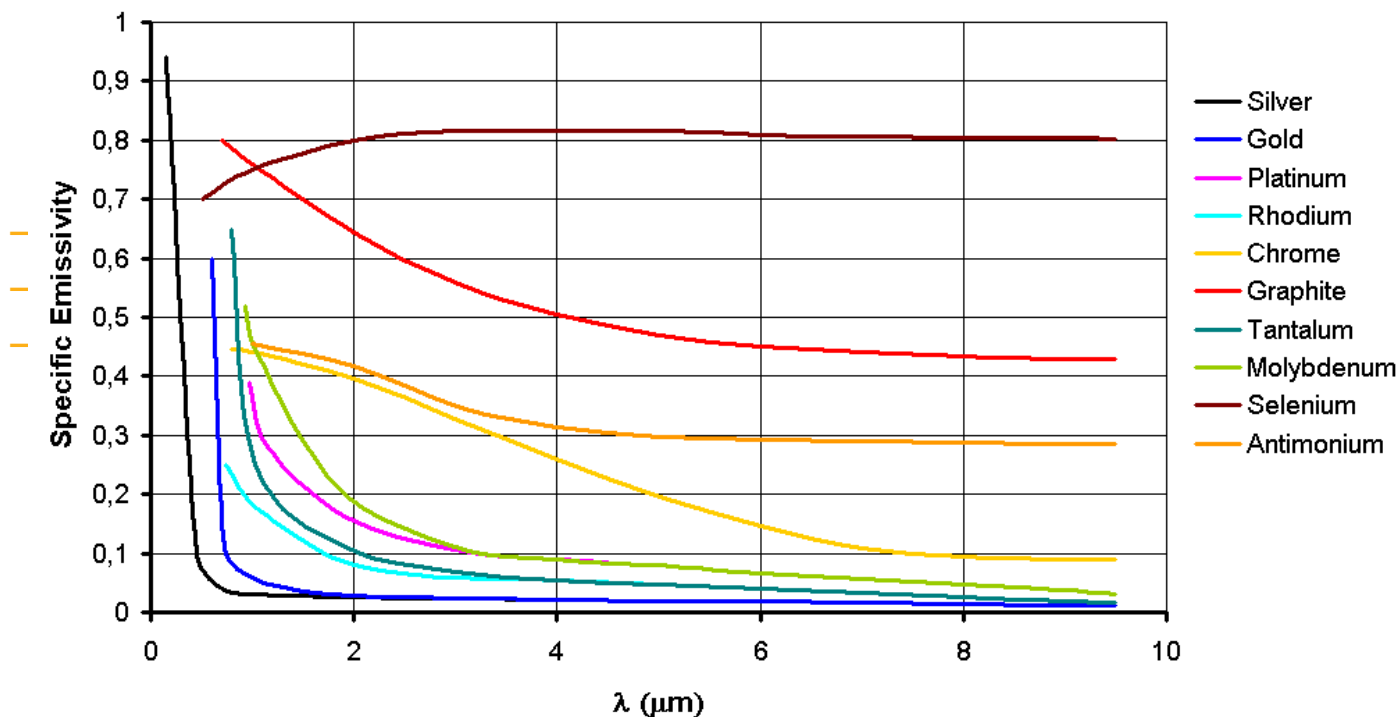


- Emissivité relativement importante
- Augmente lorsque la longueur d'onde augmente
- Emissivité relativement constante indépendamment de l'état de surface



Composition du matériau mesuré

Emissivité de métaux

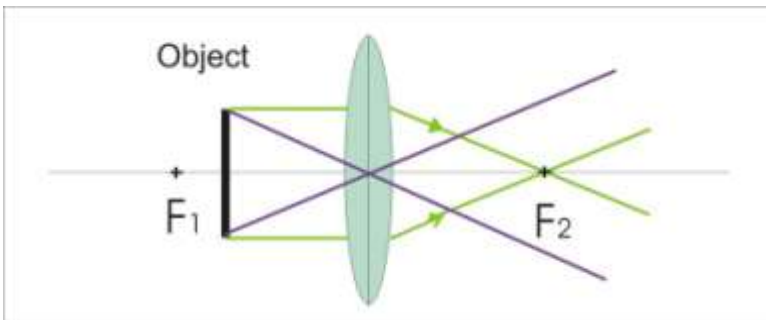
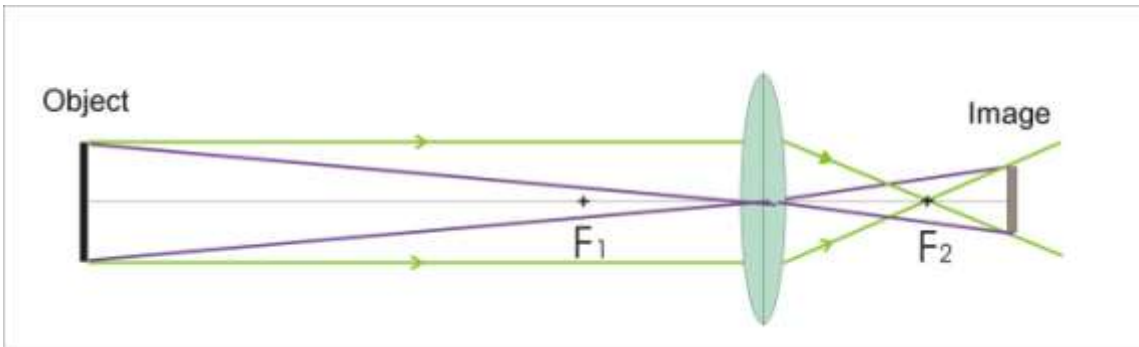


- Emissivité relativement faible
- Diminue lorsque la longueur d'onde augmente
- Dépend fortement de l'état de surface



Optique - théorie

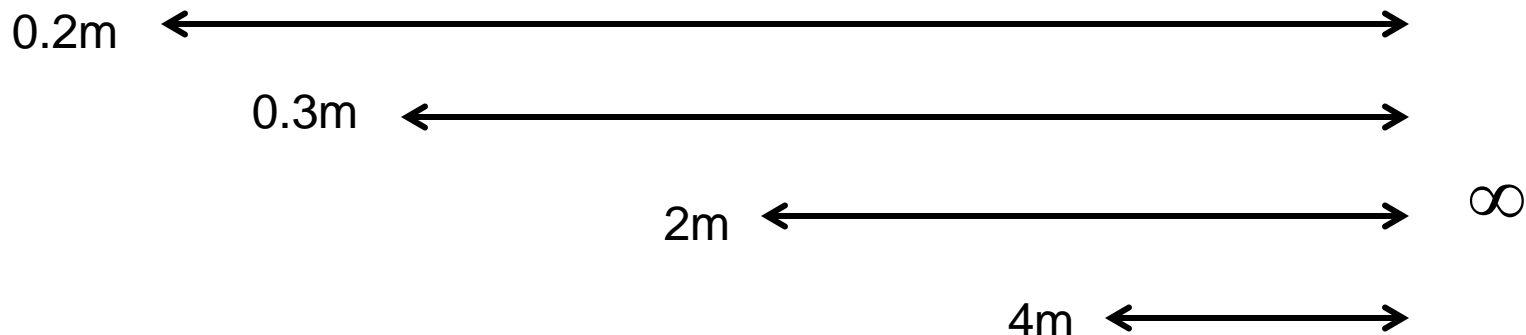
La **distance focale** (ou simplement la **focale**) d'un système optique est une mesure indirecte de sa puissance de convergence (focus) ou divergence (diffusion) de la lumière. Un système avec une longueur focale plus courte a plus de puissance optique qu'un autre avec une focale plus longue.





Lentilles

Distance Focale Minimale



Grand angle

Standard

Télé-objectif

12.5mm

25mm

50mm

100mm

150mm

Focale





Résolution géométrique

Instantaneous Field of View

Représente la plus petite zone qui peut être mesurée par le détecteur.

$$\text{IFOV} = \frac{\text{Dimension du détecteur}}{\text{Focale}}$$

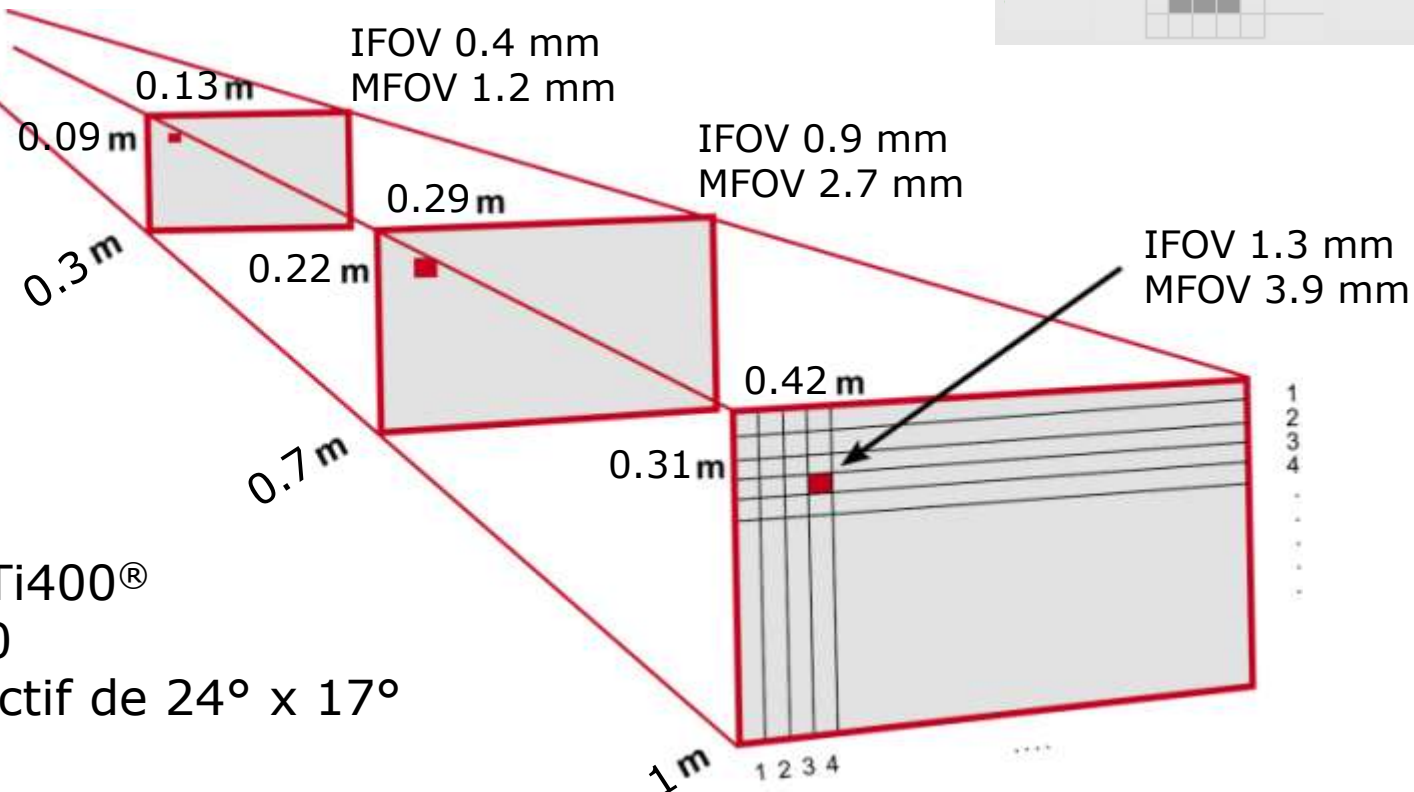
Exemple:

- **1 rad = $180^\circ / 3.14 = 57.3^\circ$**
- **Dimension du détecteur: 0.05 x 0.05mm**
- **Focale = 25mm**
- **IFOV = $0.05 / 25 = 2.0 \text{ mrad}$**

Plus l'IFOV est petit, et meilleure sera la résolution pour les objets de petite dimension.



FLUKE™ Ti400® – Calcul de l'IFOV

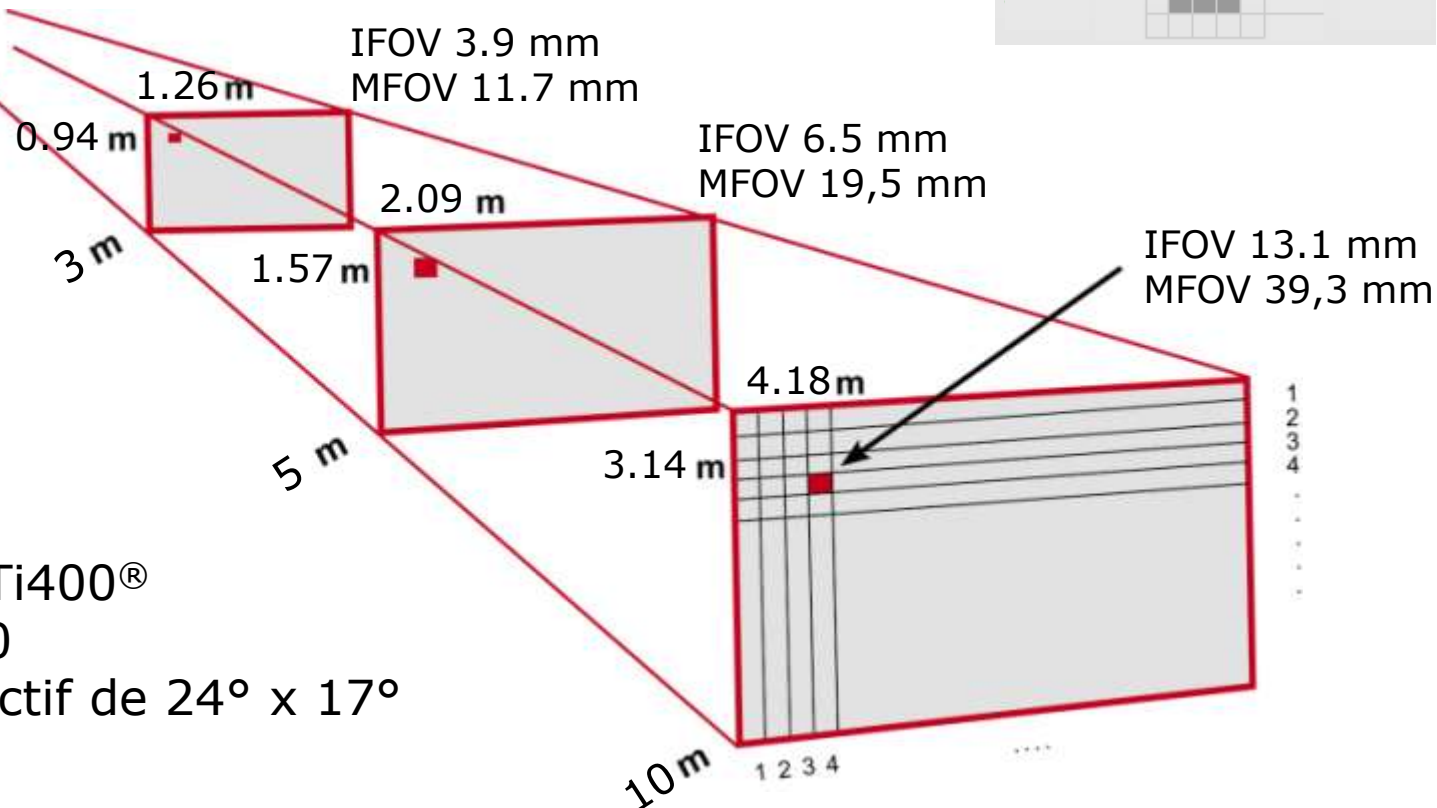


□ FLUKE™ Ti400®
320 x 240
avec objectif de 24° x 17°

□ IFOV Instantaneous Field Of View
MFOV Measurement Field Of View



FLUKE™ Ti400® – Calcul de l'IFOV

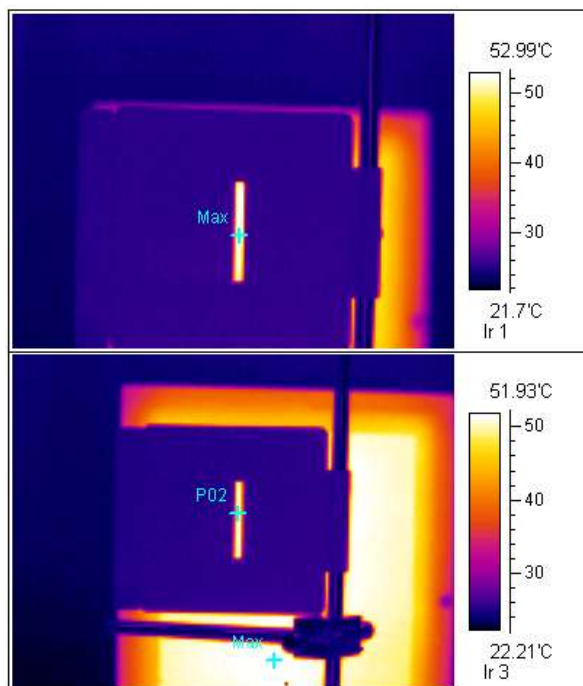


- FLUKE™ Ti400®
320 x 240
avec objectif de 24° x 17°
- IFOV Instantaneous Field Of View
MFOV Measurement Field Of View



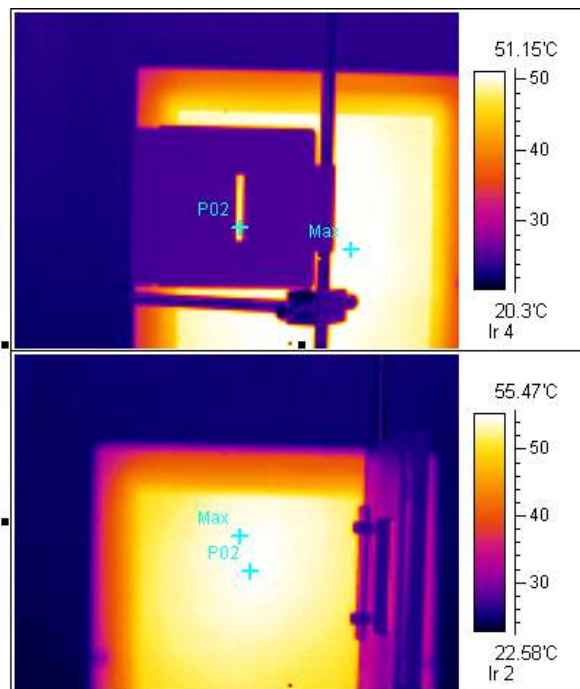
Résolution géométrique

Mesure à 60cm



Mesure à 80cm

Mesure à 1m



Mesure sans fente

Plus la fente est proche, plus l'IFOV a une bonne résolution, donc la mesure est plus précise.

Thermographie Infrarouge

Mesure par thermographie infrarouge

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Thermographie infrarouge – différents types d'équipements

- Le contrôle préventif d'équipements électriques
- Les contrôles mécaniques
- La déperdition énergétique des bâtiments
- Les applications nécessitant un survol hélicoptéré ou avec drone
- La recherche et le développement





Thermographie infrarouge – Mesure d'une scène thermique

Une situation de mesure est composée:

D'un **objet à mesurer**, pour lequel on doit prendre en compte ses caractéristiques propres et son environnement.

D'une **caméra infrarouge**, instrument de mesure des rayonnements.

A l'aide de sa propre courbe d'étalonnage, la caméra convertit le rayonnement mesuré en température. Les caractéristiques techniques de la caméra doivent être appréhendé par l'opérateur afin de connaître les limites de son application.

D'un **opérateur** qui se doit de d'estimer l'environnement de mesure et de paramétrer sa caméra.



Thermographie infrarouge – Points à prendre en compte

Emissivité

L'émissivité est indispensable à la réalisation d'une mesure correcte. A choisir émissivité « standard » ou émissivité approchée, selon contexte.

Température de l'environnement

Mesure de la température environnementale à chaque changement important de l'environnement de la mesure.

Température réfléchie

En fonction du fond de la scène thermique observée et de la température réfléchie, il y a une potentielle source d'erreur dans la mesure.

IFOV – taille de l'objet

Prendre en compte la situation de mesure et adapter la distance de visualisation à la taille de l'objet.



Thermographie infrarouge – Points à prendre en compte

Vent et courant d'air

Ils perturbent thermiquement les objets visualisés. Ils lissent la température de la cible suivant la température de l'air pulsé.

Hygrométrie

Les molécules d'eau en suspension dans l'air sont des obstacles au rayonnement infrarouge. Le taux d'humidité et la distance influent sur la mesure.

Distance

Il y a atténuation logique du flux reçu par le capteur, en fonction de la distance. Le flux reçu est inversement proportionnel au carré de la distance.

Thermogrammes

Toujours enregistrer les thermogrammes sous format radiométrique, permettant une analyse post traitement plus fine.



Seuils de température par type d'équipement électrique

Températures pour différents équipements constituant une armoire électrique.

Equipement d'une installation électrique	Températures admissibles
Interrupteurs différentiels ID	40°C
Protection foudre	60°C
Transformateur BT/BT	40°C
Transformateur HTA/BT	155°C
Interrupteurs sectionneurs	40°C
Condensateur de compensation	40°C
Câble PVC (Polychlorure de vinyle)	70°C
Câble PR/EPR (Polyéthylène réticulé et éthylène-propylène)	90°C
Jeux de barres	40°C
Démarrateur moteur	40°C

Thermographie Infrarouge

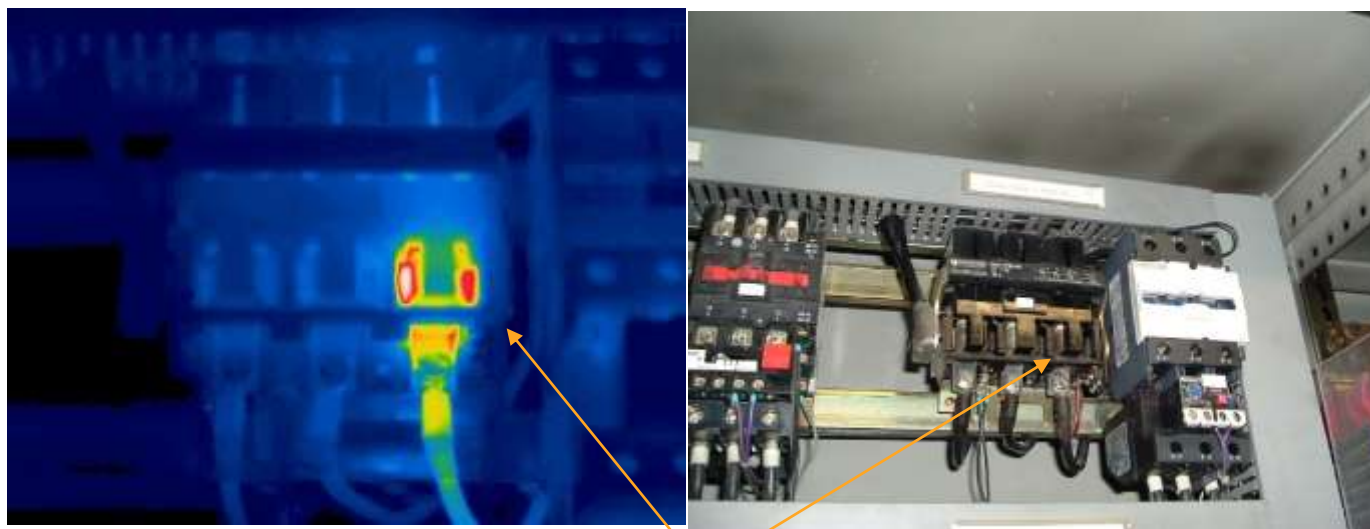
Exemple de défaut

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Thermographie infrarouge – Exemple de défauts électriques

Les domaines d'activités de la thermographie infrarouge sont les suivants:
Energie électrique TBT, BT, HTA, HTB



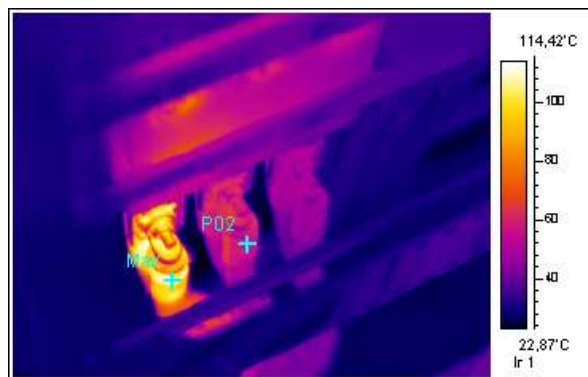
*Défaut de connectique
fusible*



Thermographie infrarouge – Exemple de défauts électriques

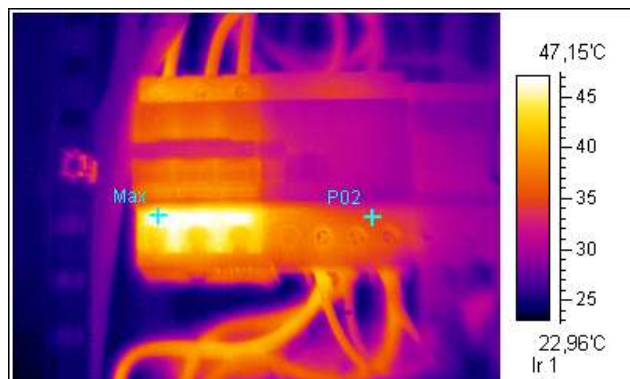
Mauvaise connexion Serrage - Sertissage

T absolue de défaut : 115°C Delta de T de :50°C par rapport à la température normale de fonctionnement



Défaut de connectique interne

T absolue de défaut :51°C Delta de T de :14°C par rapport à la température normale de fonctionnement

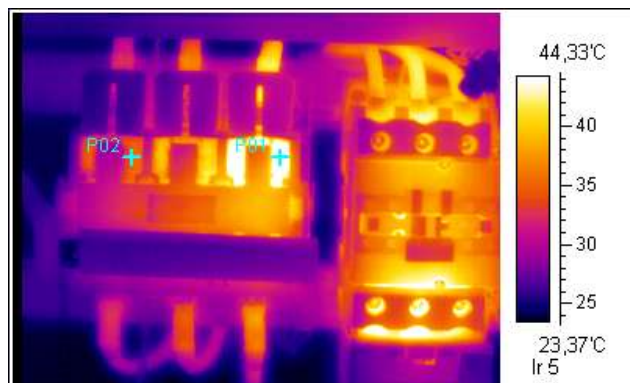




Thermographie infrarouge – Exemple de défauts électriques

Défaut sur les sectionneurs porte fusible

T absolue de défaut : 58°C Delta de T de :17°C par rapport à la température normale de fonctionnement



Echauffement d'un câble

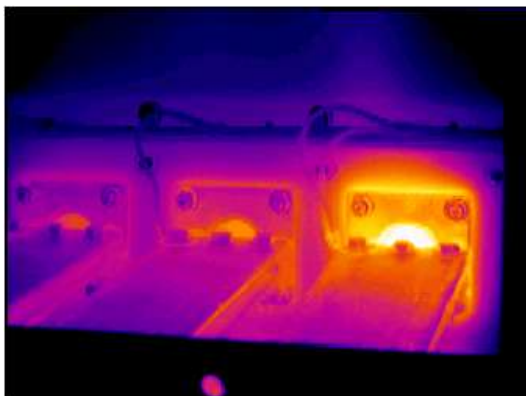
T absolue de défaut : 43°C Delta de T de :22°C par rapport à la température normale de fonctionnement



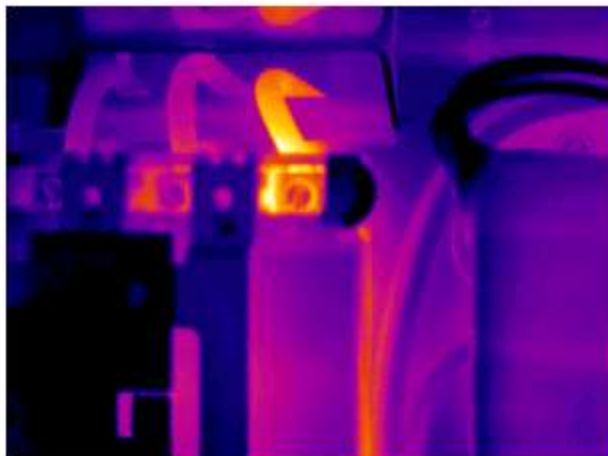


Thermographie infrarouge – Exemple de défauts électriques

Défaut sur jeu de barres de sectionneur



Défaut sur bornier d'alimentation moteur (notez l'effet miroir en partie supérieure)



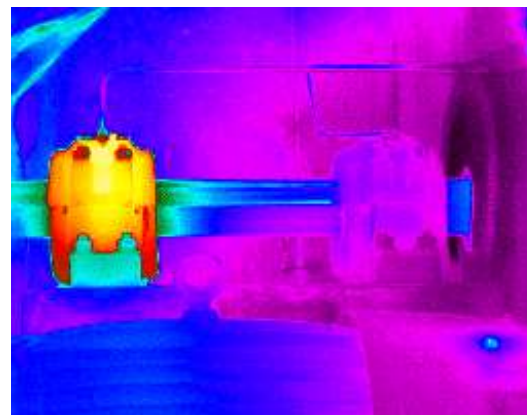
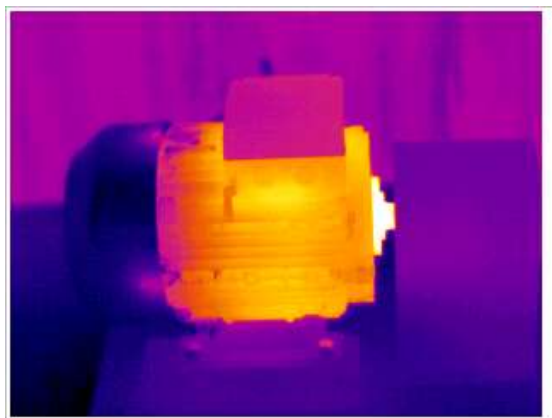


Thermographie infrarouge – Autres applications

Thermique de process fours, distillation, ...



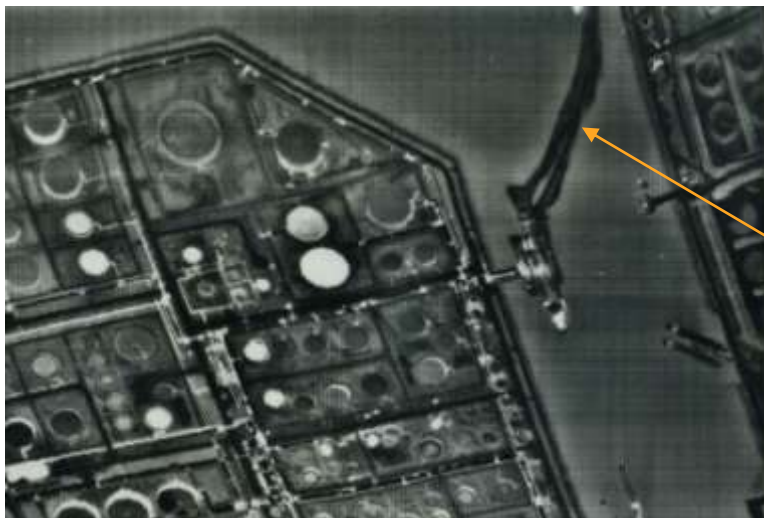
Mécanique Paliers, groupes électrogènes, ventilateurs, compresseurs,....





Thermographie infrarouge – Autres applications

Environnement



*Rejets illicites
de pétrole en
mer*

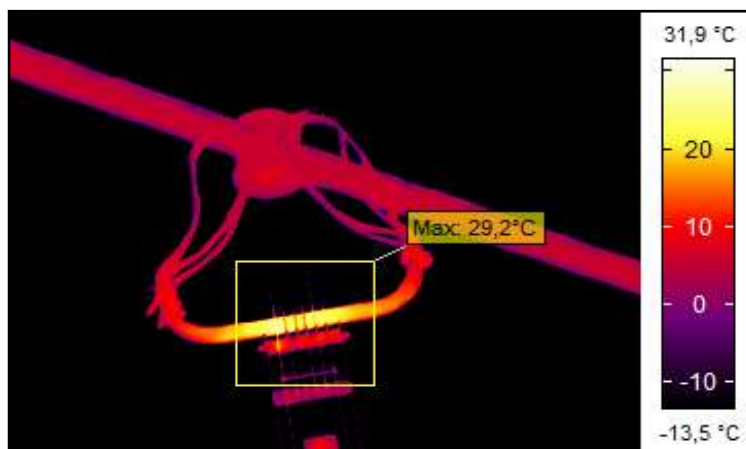


Thermographie infrarouge – Défaut poste Haute Tension

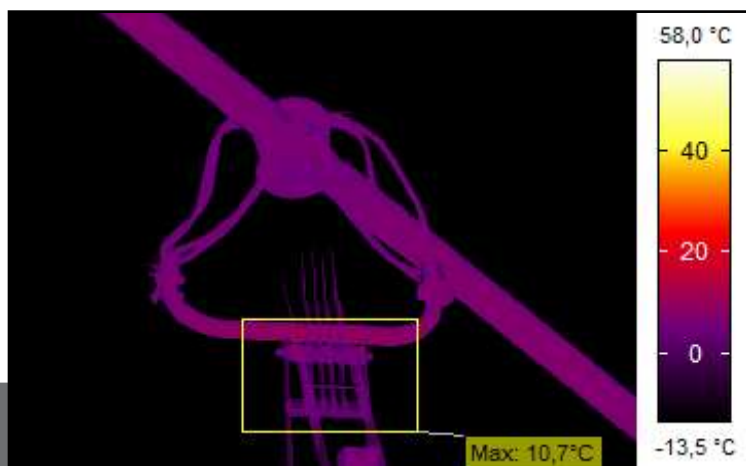
Poste HT
Niveau de tension : 90 kV
Jeux de barre n°1

Catégorie : Sectionneur
Localisation : Partie active

Point chaud



Référence





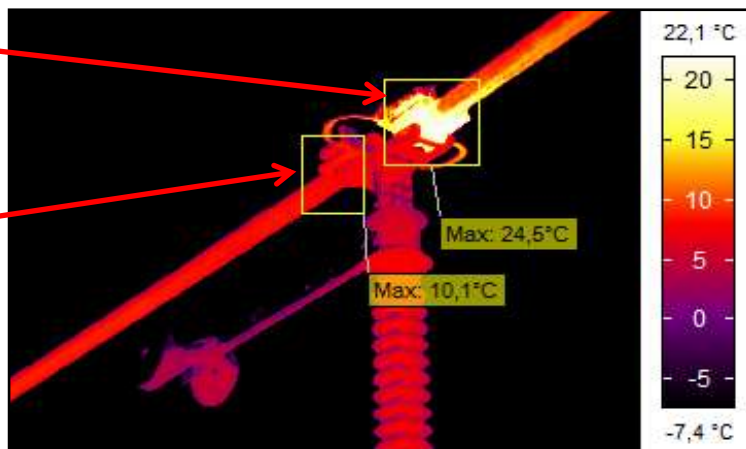
Thermographie infrarouge – Défaut poste Haute Tension

Poste HT
Niveau de tension : 225 kV
Jeux de barre n°2

Catégorie : Barre
Localisation : Raccord de barre

Point chaud

Référence





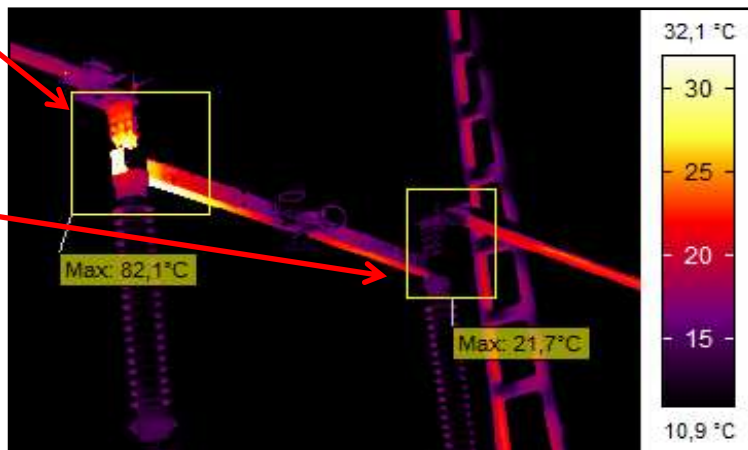
Thermographie infrarouge – Défaut poste Haute Tension

Poste HT
Niveau de tension : 225 kV
Jeux de barre n°1

Catégorie : Sectionneur
Localisation : Partie active

Point chaud

Référence



Thermographie Infrarouge

Exemple de Rapport dB Vib Consulting



dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99

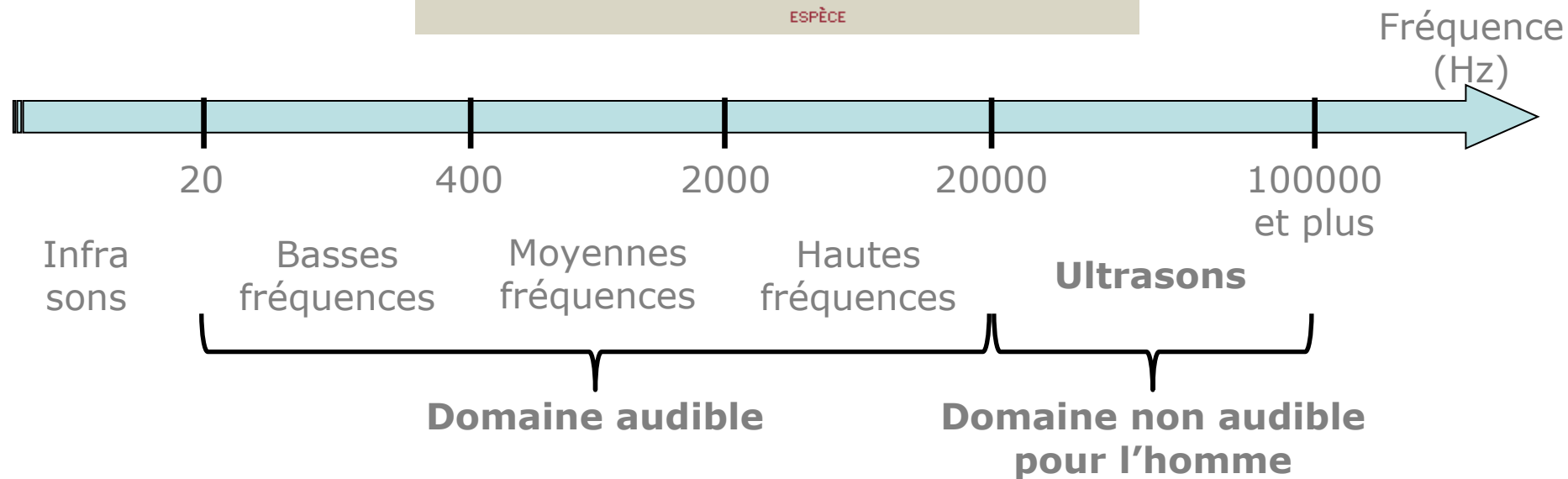
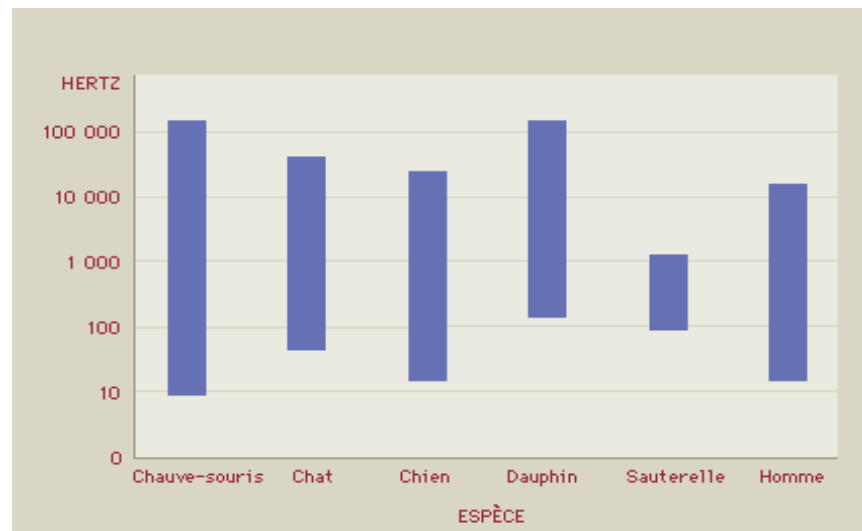
Détection ultrasonore

Maintenance Conditionnelle

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99



Son et ultrason

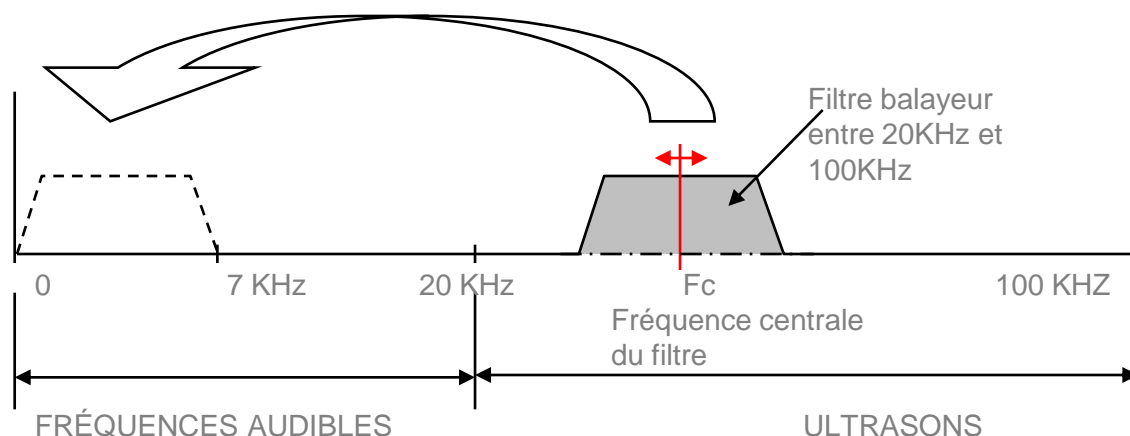




Son et ultrason

Présentation de l'hétérodynage

Un capteur d'ultrasons détecte les ultrasons compris entre 20KHz et 100KHz. Un filtre de largeur 7KHz balaye cette gamme d'analyse et transmet un signal représentatif autour de la fréquence centrale du filtre balayeur. Un hétérodynage permet de ramener ces ultrasons dans la bande audible de 0-7KHz.





Maintenance et économie d'énergie par détection ultrasonore

Détection de fuite

- **Gaz comprimé**
- **Échangeurs de chaleur**
- **Vide**

Inspection électrique

- **Effet Couronne**
- **Décharge partielle**
- **Arc**

Inspection mécanique

- **Vannes avec fuite**
- **Efficacité des purgeurs de vapeur**
- **État des roulements**
- **Engrenages**
- **Excellence en lubrification**



Détecteurs à ultrasons





Sélection du module approprié

SCM SCANNING MODULE

Balayage normal



CFM CLOSE FOCUS MODULE

Niveau extrêmement bas et Vide



LRM LONG RANGE MODULE

Longue distance



UWC WAVE FORM CONCENTRATOR

Très longue distance et applications hors de portée



Sonde flexible

Endroits difficiles d'accès



Sonde de focalisation caoutchouc

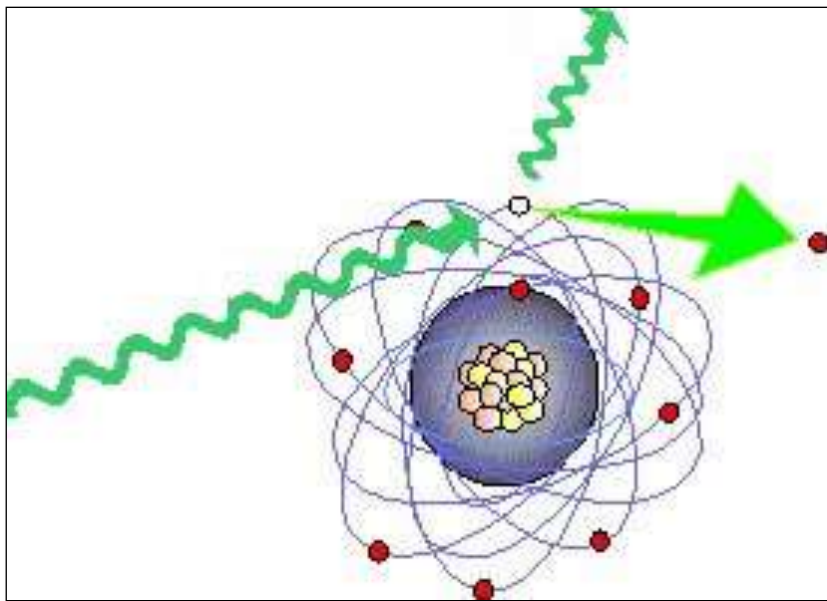
Confirmation et Mesure





Notions d'électricité relatives aux inspections électriques

Lorsqu'une décharge électrique se produit dans l'air, il apparaît une ionisation de l'air.



Ce phénomène provoque une séparation d'électrons pour former des ions, et produit des ultrasons.



Ionisation



Dépôts blancs significatif
d'ionisation

L'ionisation forme de l'ozone et des oxydes d'azote. Ceux-ci se combinent avec l'humidité et produisent de l'acide nitrique.

L'acide nitrique s'attaque à la plupart des diélectriques et à certains composés métalliques, produisant ainsi une effet de corrosion.



Ionisation

Cause : Effet Corona

Conséquence : Corrosion

Une détérioration d'isolant favorise un cheminement électrique.





Ionisation

Cause : Cheminement

Un cheminement non détecté a endommagé l'isolation d'un câble, causant ainsi un arc électrique.

Conséquence : Arc électrique



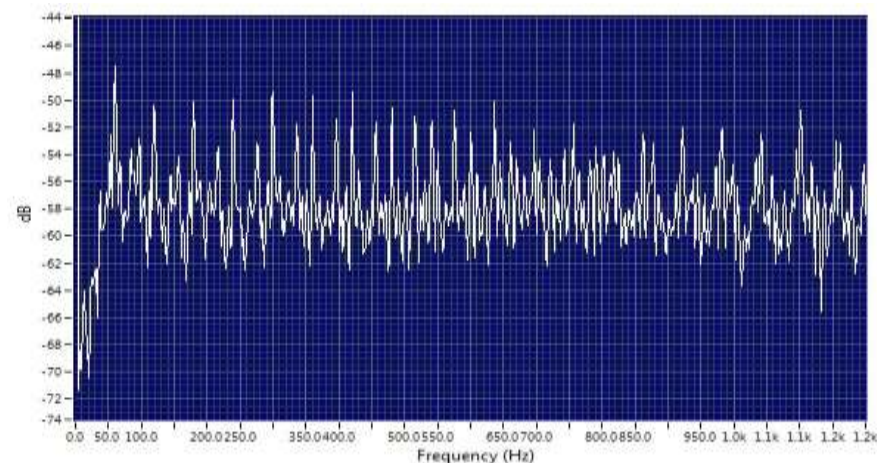
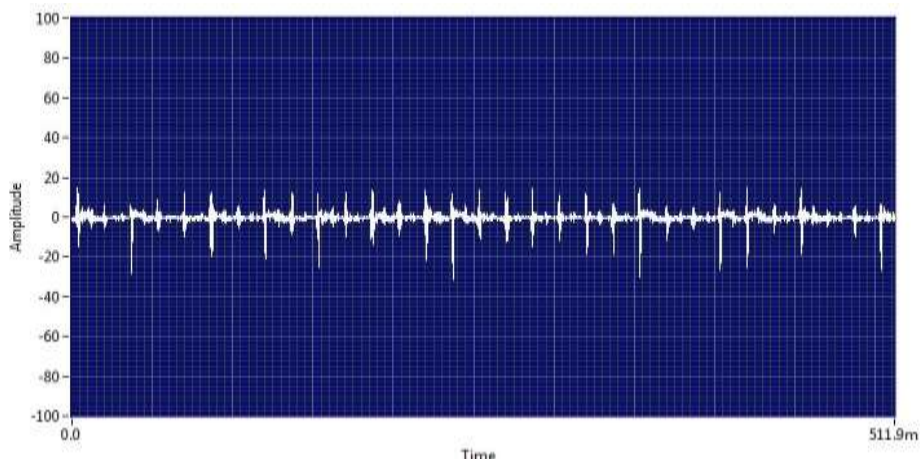


Émission électrique ultrasonore

La signature ultrasonore de l'Effets Corona, Cheminement et Arcage est aisément détectable.

Le niveau en décibel n'est utilisé dans ce cas que pour localiser le phénomène et non comme critère de gravité.

La connaissance de l'équipement testé vous aidera à définir la localisation et l'émission.





Inspections électriques par ultrason

- Peut être utilisée pour l'inspection de tensions électriques de niveau élevé, moyen et faible.
- Peut être utilisée pour des systèmes ouverts ou fermés.
- Permet d'identifier les effets corona, de cheminement, de desserrement et d'arc électrique.
- Donne à l'inspecteur une signature sonore de l'équipement.
- Peut être utilisée pour inspecter différents types d'équipement tels que: appareillage de connexion, transformateurs, relais, etc.



Propriétés de l'effet Corona

- L'effet Corona est un phénomène d'effluve ou décharge partielle électrique due à l'ionisation de l'air autour des conducteurs
- L'air ambiant est chargé au-delà du point d'ionisation sans décharge
- L'effet Corona apparait pour un champ électrique local excédant une valeur critique de $\sim 24\text{kV/cm}$ (E_{critical})
(pas en dessous de 1000 V)
- L'effet Corona entraîne la détérioration de composants électriques





Conséquences de l'effet Corona

Dégradation d'un isolateur en polymère



Dégradation d'un isolateur en porcelaine





Propriétés de l'effet Corona

Température

- **Élévation de la température → Plus d'effet Corona**

Humidité relative

- **Élévation de l'humidité → Plus d'effet Corona**

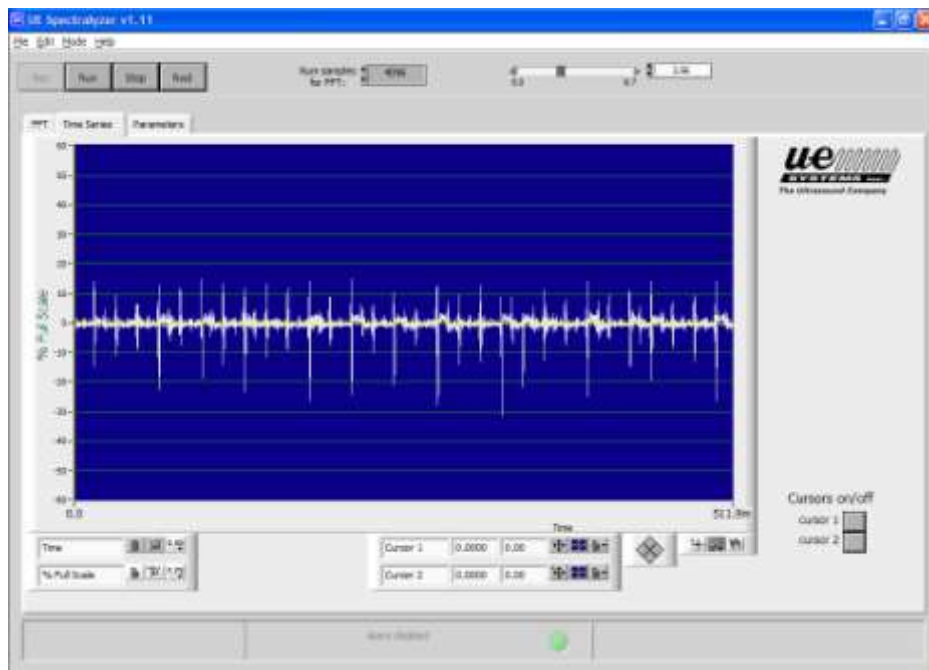
Pression de l'air

- **Diminution de la pression de l'air → Plus d'effet Corona**

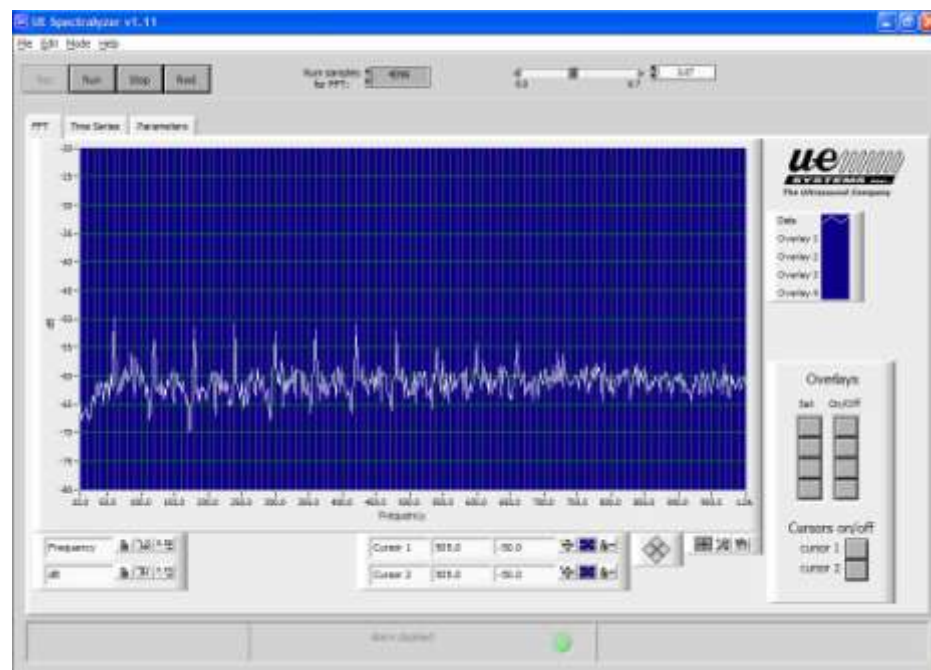
Il est conseillé de prendre en considération les conditions atmosphériques, et d'enregistrer ces valeurs lors des inspections.



Signature de l'effet Corona



Analyse temporelle



Analyse spectrale

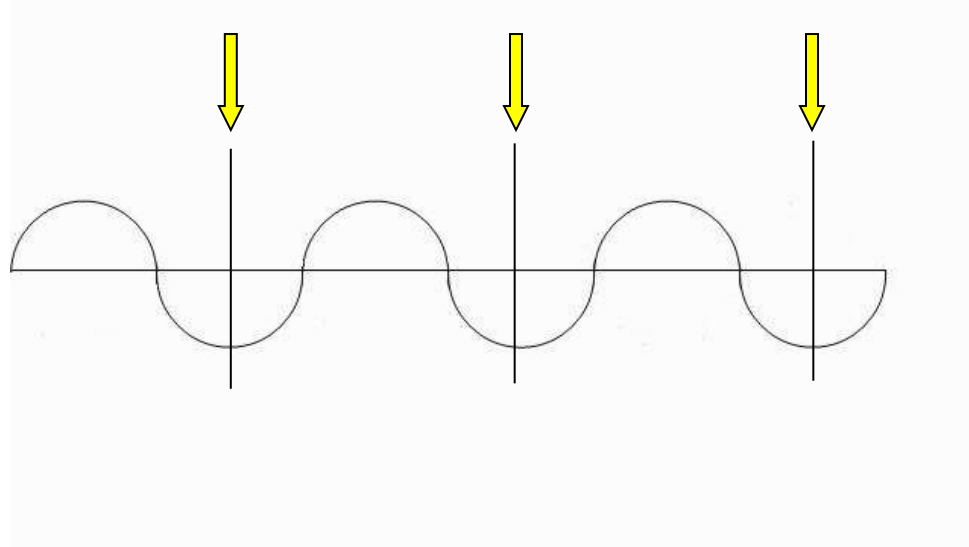
Niveau de référence : aucun son.

Effet Corona : Grésillement constant et continu.





Signature de l'effet Corona

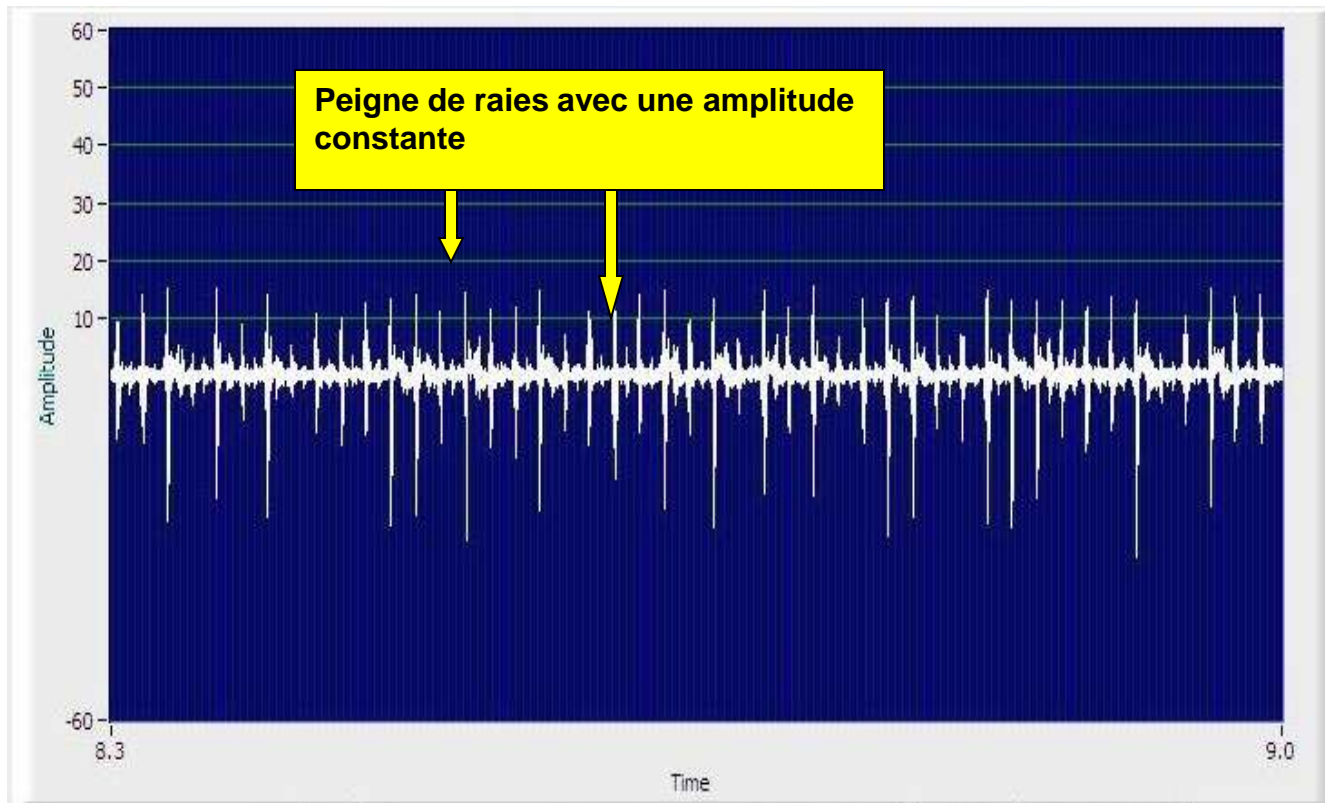


Noter les points de décharge qui correspondent aux points de tension les plus élevées sur la partie négative de l'onde sinusoïdale.



Signature de l'effet Corona

Analyse temporelle





Signature de l'effet Corona

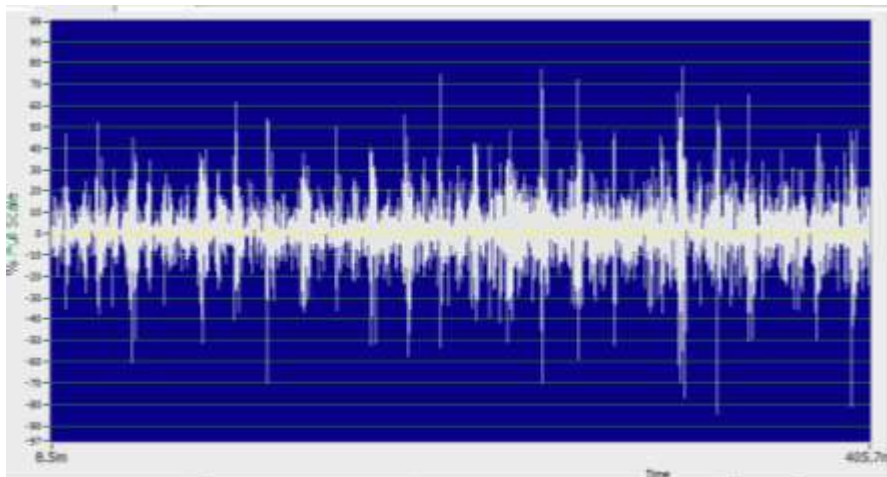
Analyse spectrale



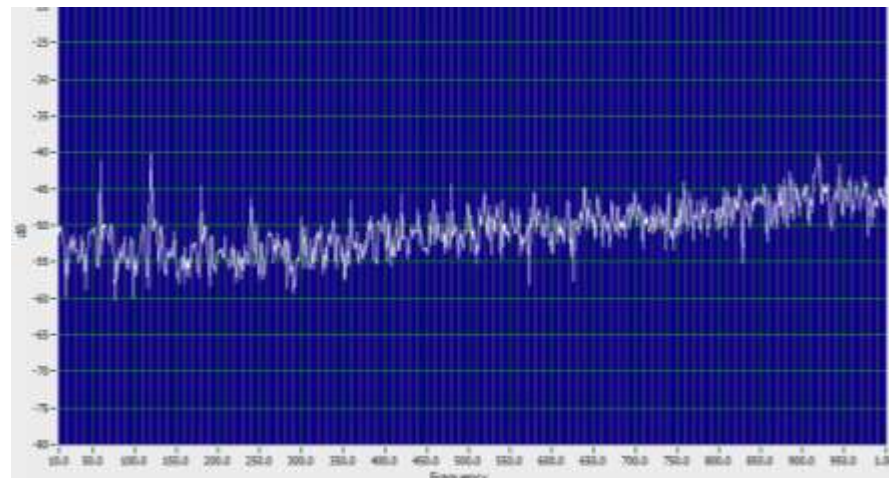


Signature du cheminement

Cheminement Augmente en intensité avant de se décharger.



Analyse temporelle



Analyse spectrale

Le cheminement est une décharge électrique à la surface d'un isolant. Une différence de tension élevée créera graduellement un chemin conducteur d'électricité à travers la surface de l'isolant par la formation d'une piste carbonisée.



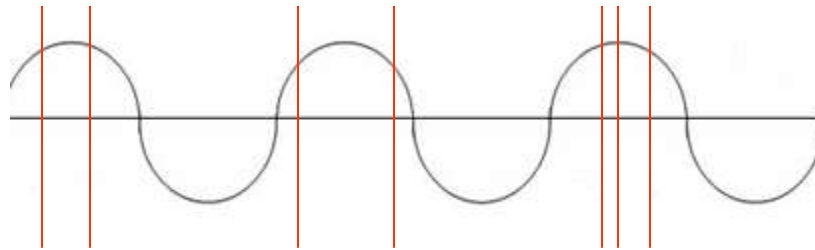


Signature du cheminement

Le cheminement est une évolution de l'effet Corona.

Courant de faible intensité créant un chemin vers le sol à travers un isolant. La décharge ne se fait donc pas nécessairement à la crête de l'onde. Elle peut se produire n'importe où sur la portion positive du cycle.

Les décharges correspondent aux sons de grésillement entendus dans le casque (signal ultrasonore hétérodyné). Grésillements irréguliers. Avec l'aggravation du phénomène le nombre et l'intensité des décharges augmente.





Signature du cheminement

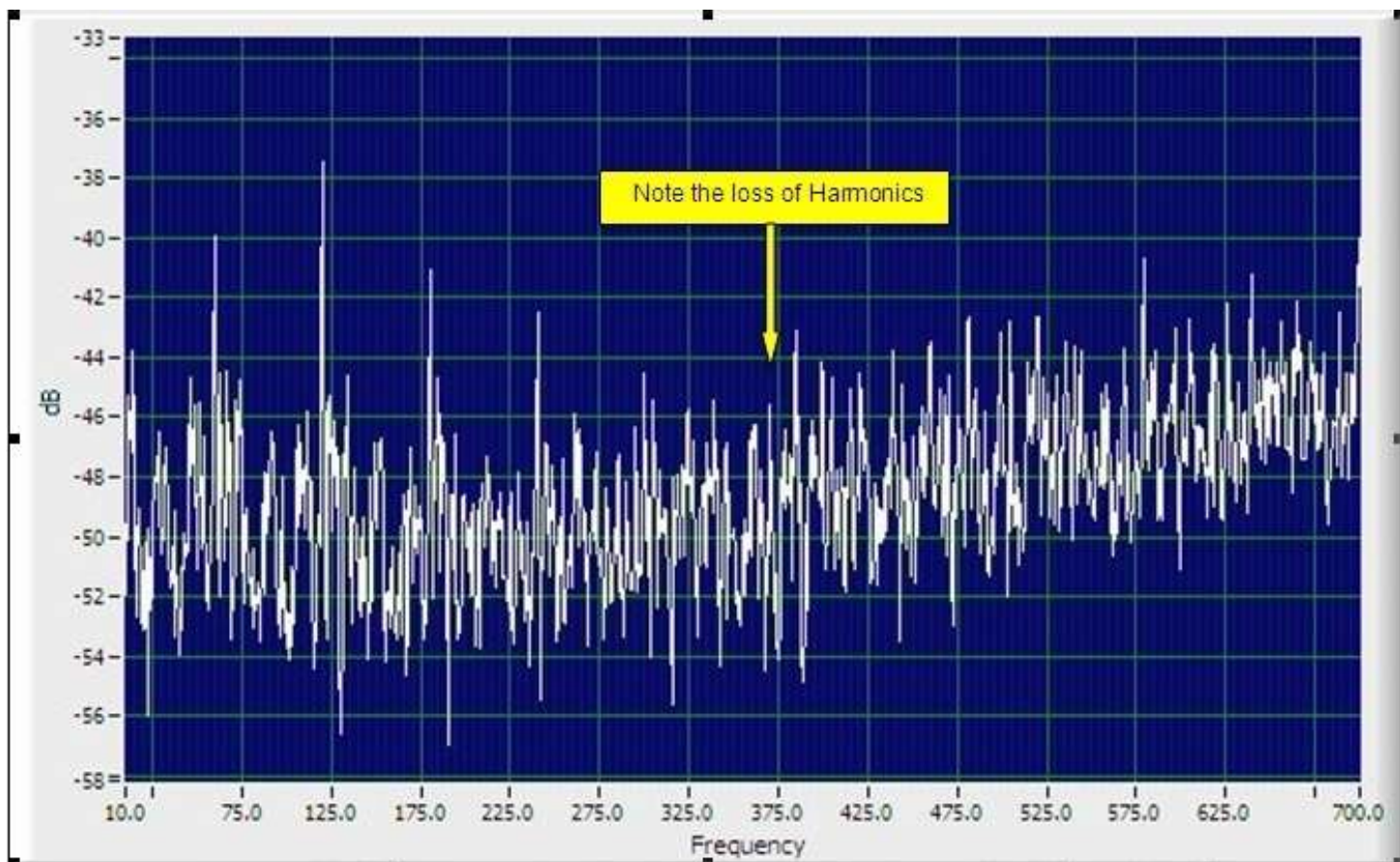
Analyse temporelle





Signature du cheminement

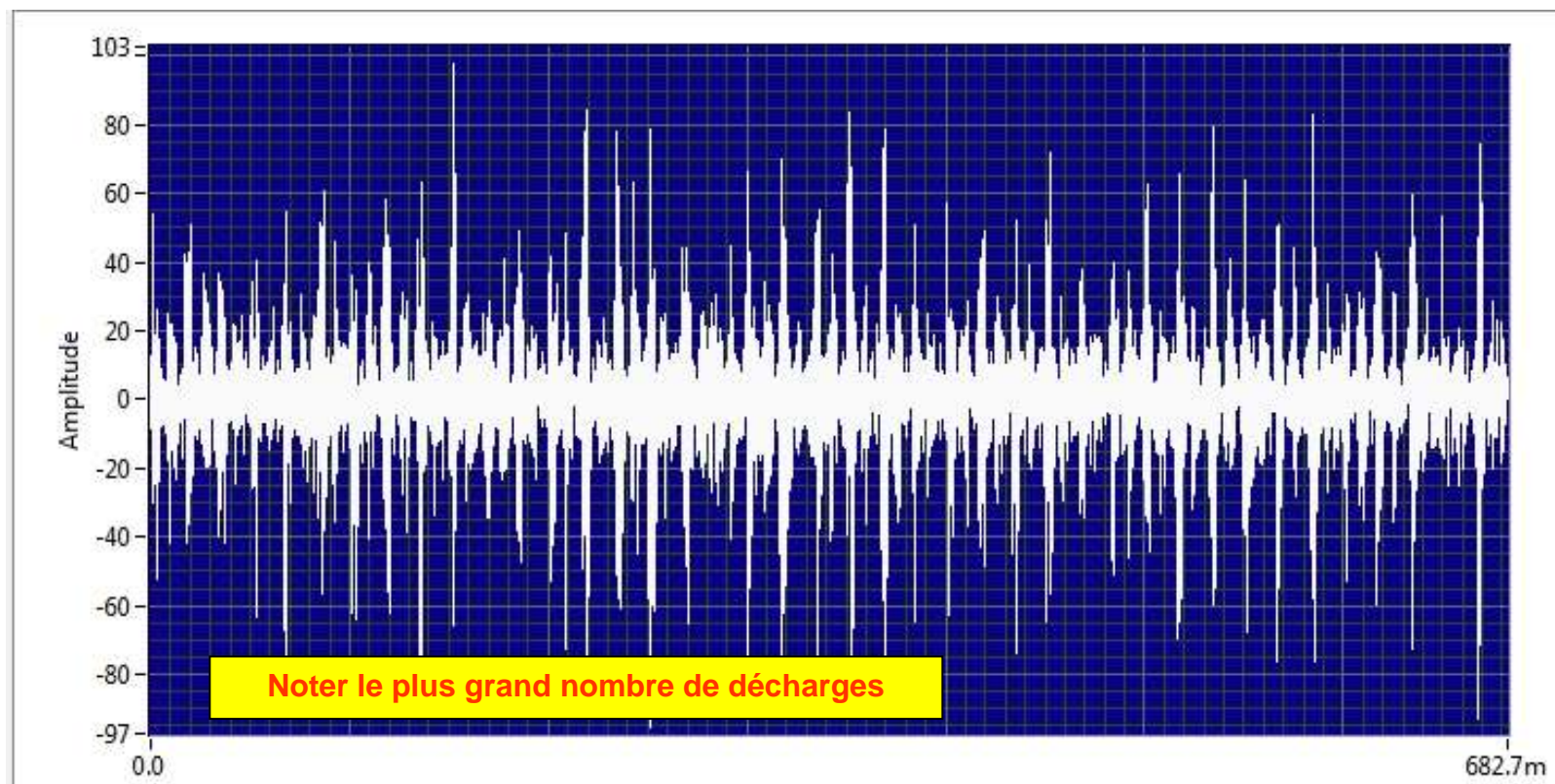
Analyse spectrale





Signature du cheminement

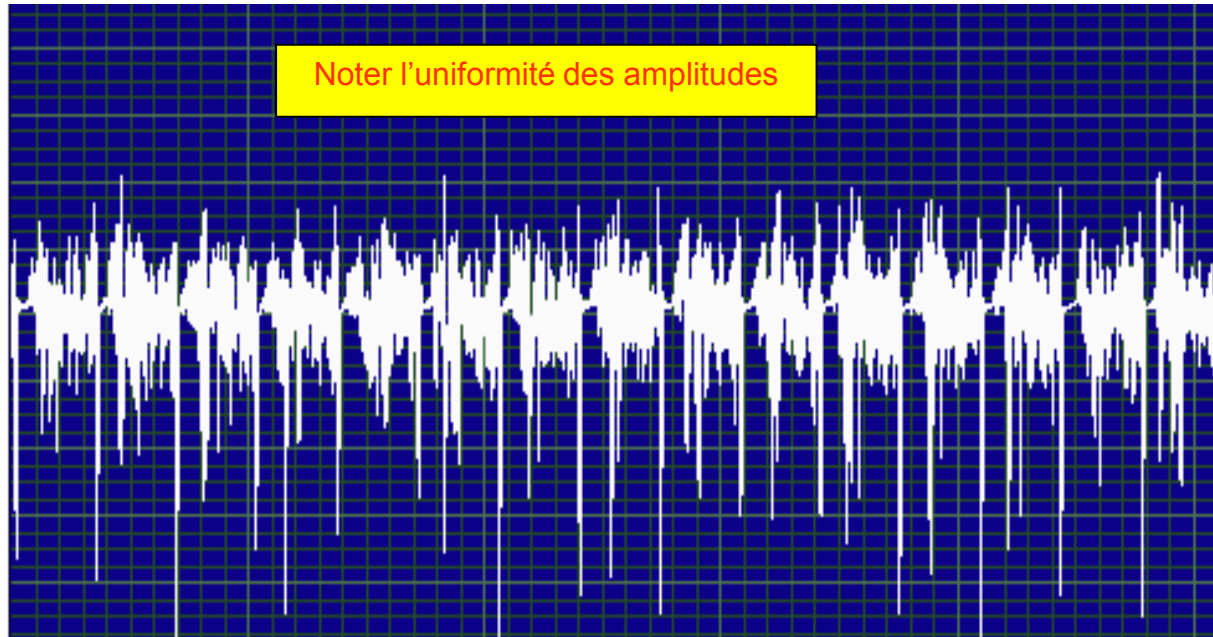
Analyse temporelle – défaut avancé de cheminement





Signature de composants desserrés

Analyse temporelle

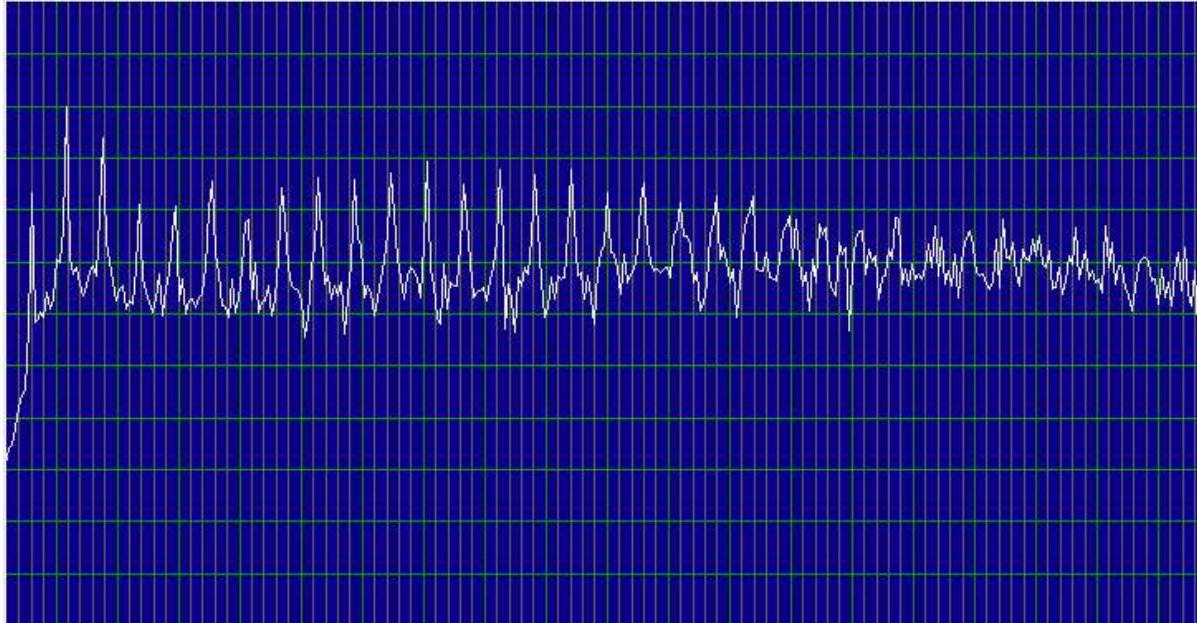


Lorsque l'on observe le signal dans le domaine temporel, le phénomène est périodique, et ne correspond pas à une décharge irrégulière de sons électriques....



Signature de composants desserrés

Analyse spectrale



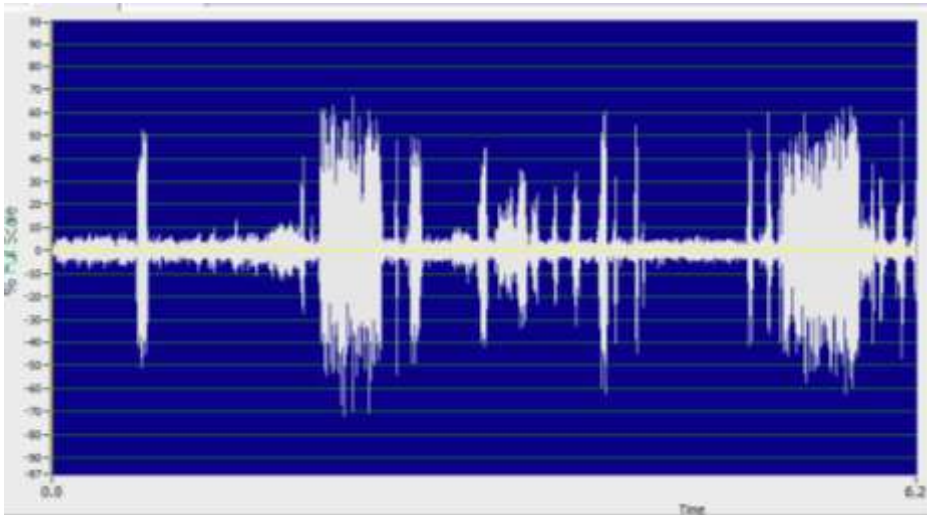
Peut être confondue avec la signature de l'effet Corona ou du cheminement.

Plusieurs crêtes d'harmoniques de 30 Hz, fond de spectre avec peu de fréquences intermédiaires.

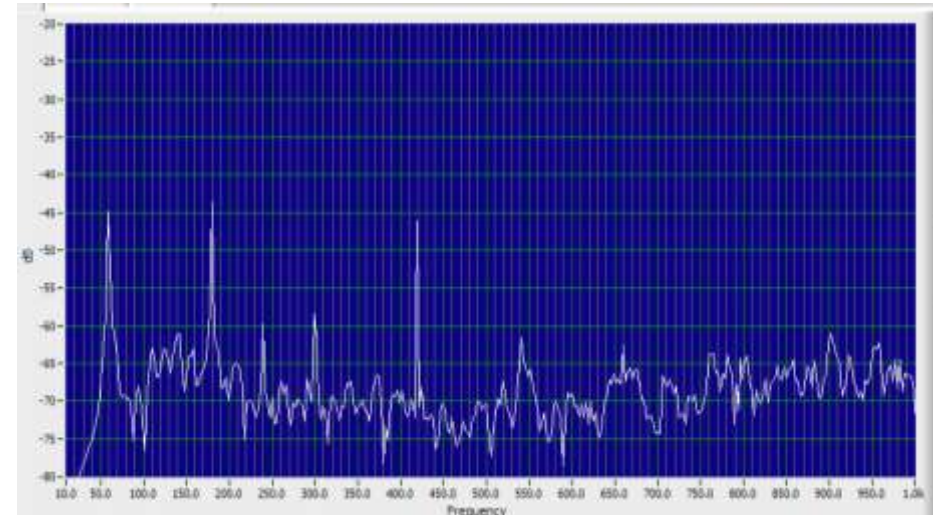




Signature de l'arc



Analyse temporelle



Analyse spectrale

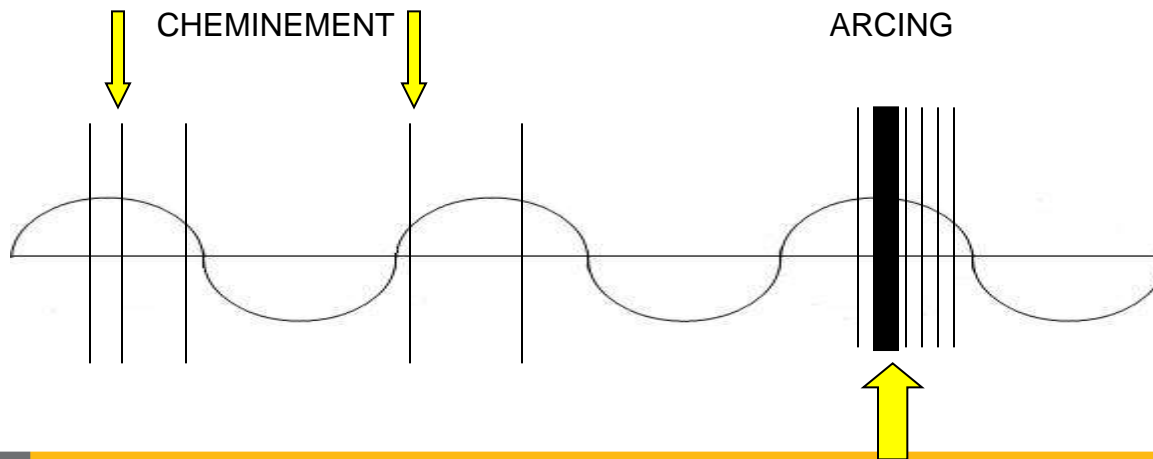
Se forme rapidement, puis s'interrompt soudainement et recommence à nouveau.





Signature de l'arc

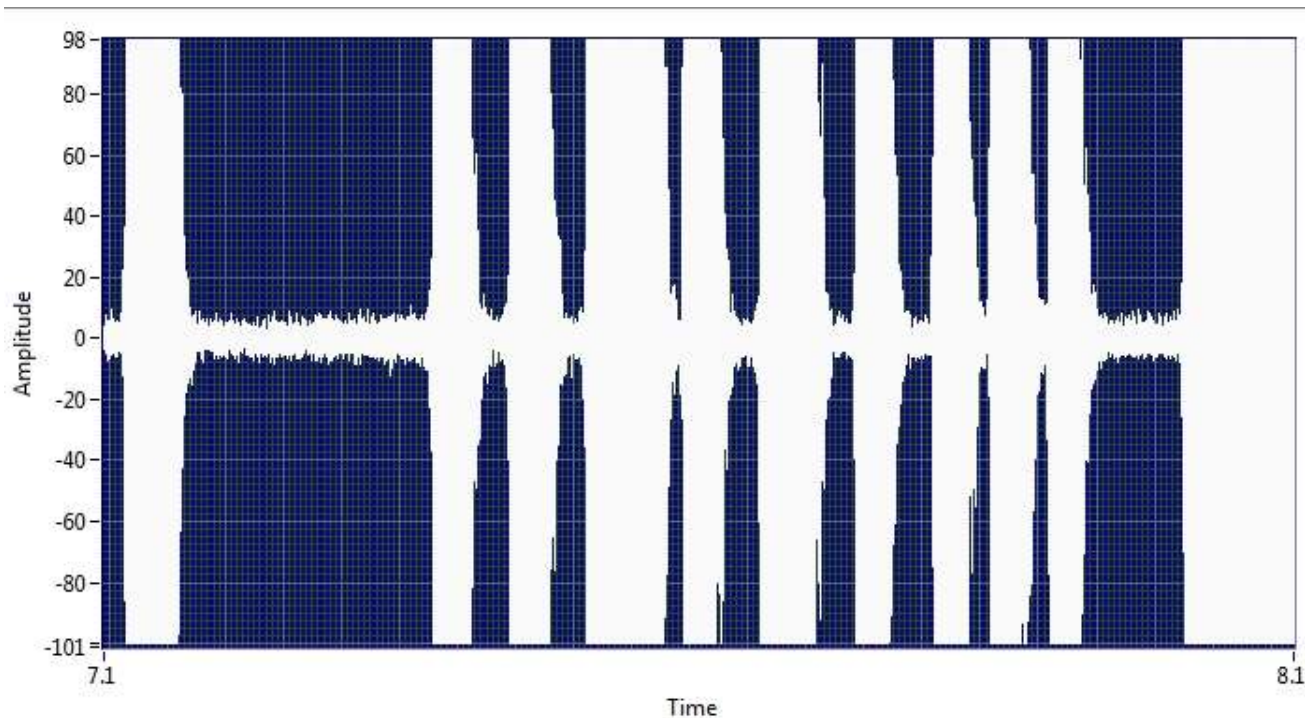
- L'arc électrique produit une décharge vers le sol qui crée un chemin à courant élevé à travers un isolant qui ne requiert pas de haute tension.
- Il consiste en un déploiement d'énergie sur de longues périodes.
- Seul le déploiement de la décharge peut être entendu. Il apparaîtra au niveau temporel en de larges crêtes.





Signature de l'arc

Analyse temporelle





Signature de l'arc

Analyse temporelle



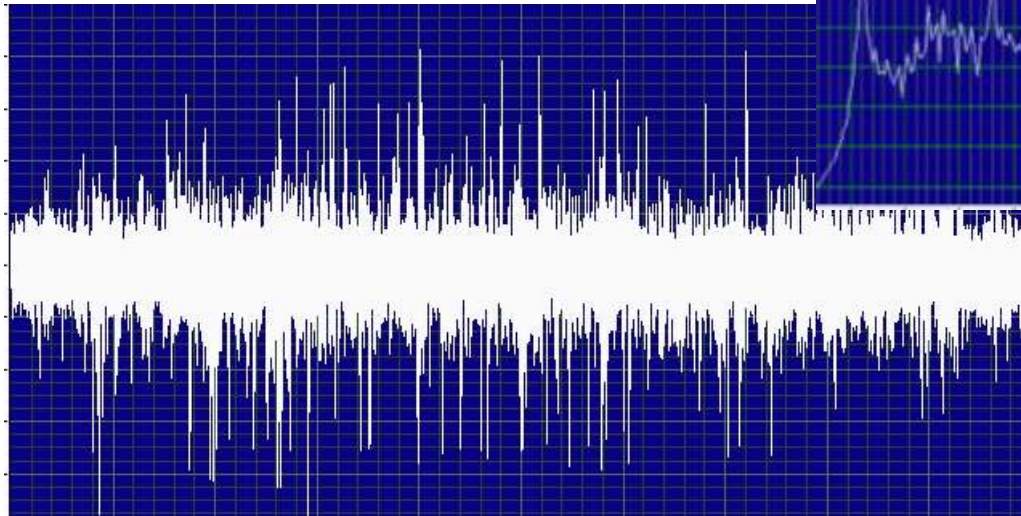
En présence d'un arc électrique, on observe plusieurs déploiements d'énergie qui correspondent aux décharges. Dans tous les cas, un examen du spectre et du domaine temporel devrait être effectué avant d'en arriver à une conclusion.



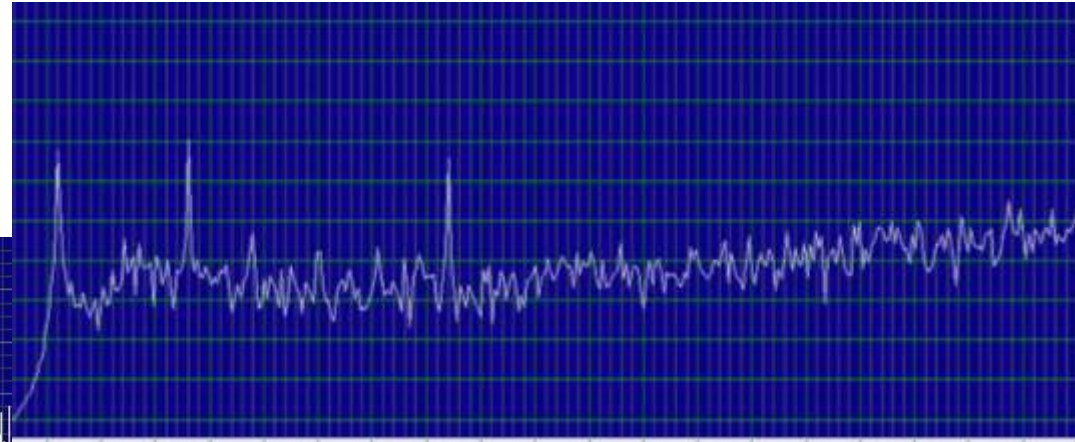


Analyse des sons

Il est *PRIMORDIAL* d'examiner à la fois le spectre FFT et signal temporel afin de prendre une décision finale concernant la sévérité de la situation.



Analyse temporelle



Analyse spectrale



Signature sonore des transformateurs



Les transformateurs produisent la plupart du temps un son de bourdonnement normal. En se servant d'un son de référence, il est possible d'identifier les problèmes potentiels.

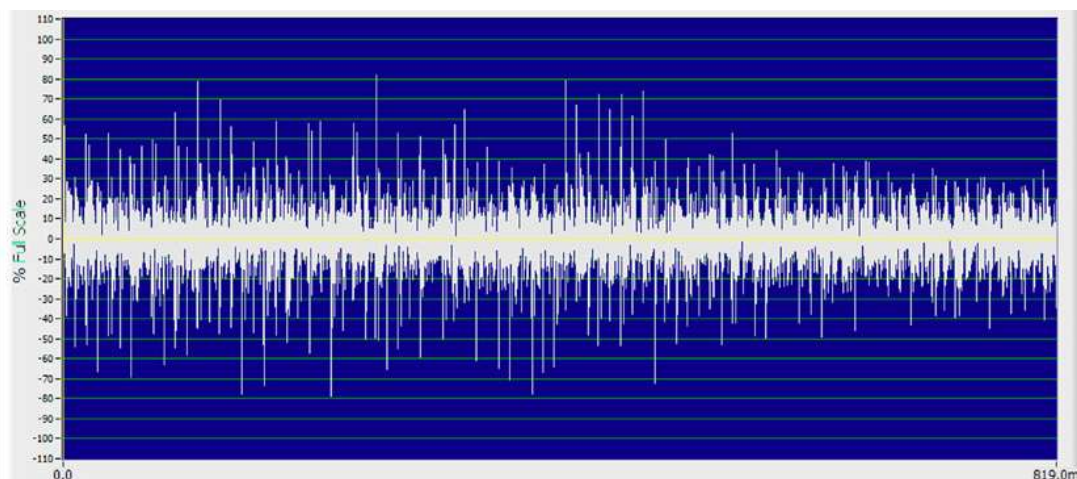




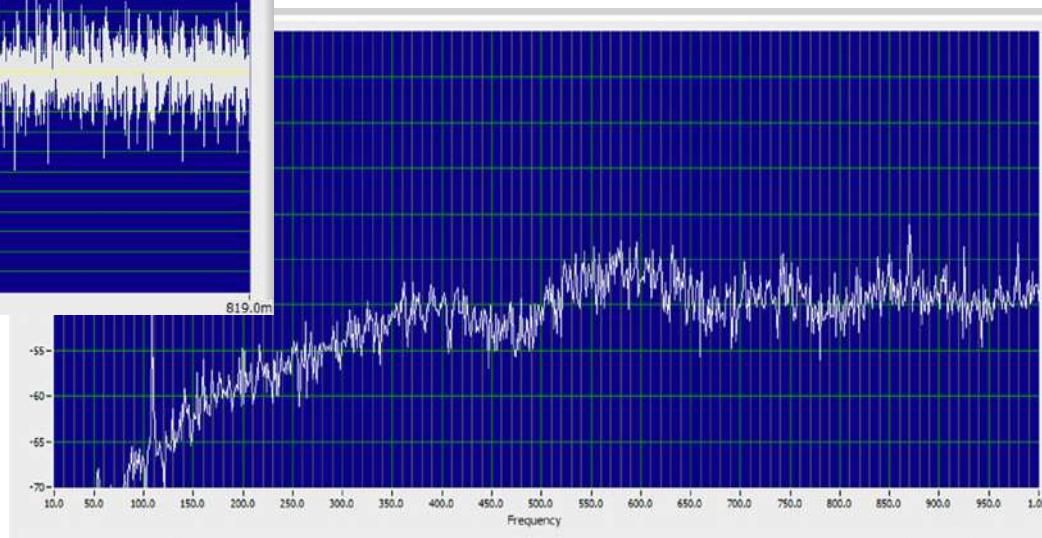
Signature sonore des transformateurs

Le son d'un transformateur en bon état à 40 kHz !

Ce que nous entendons lorsqu'il est trop tard!!



Analyse temporelle

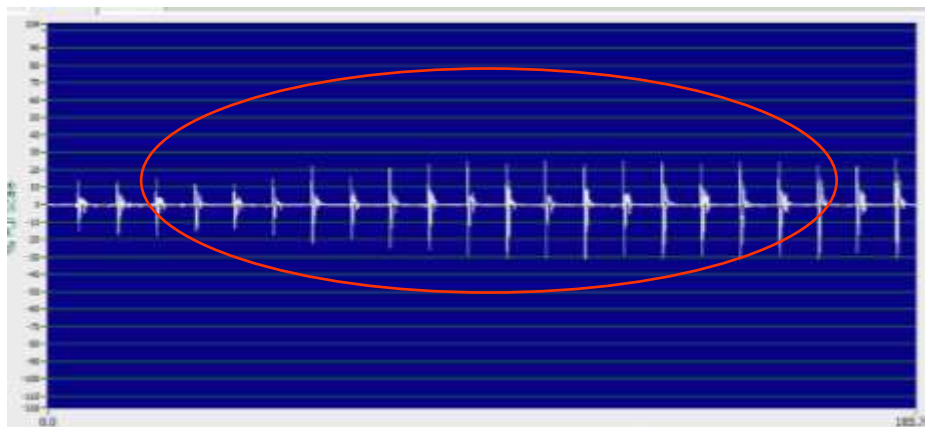


Analyse temporelle

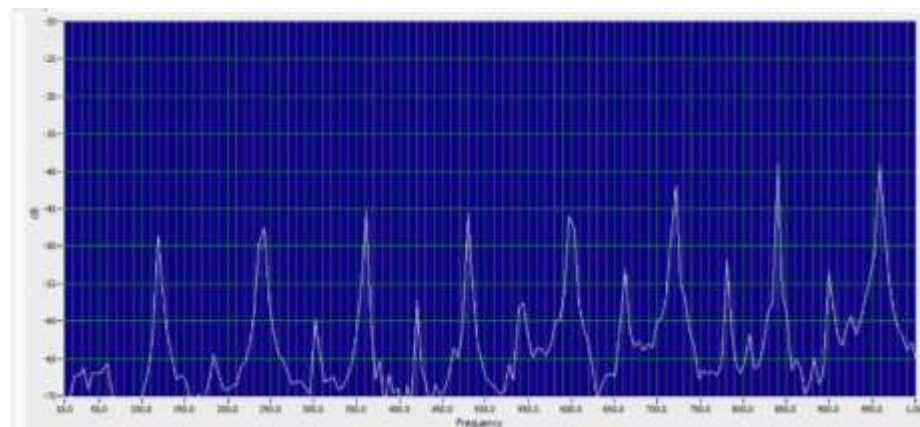


Signature sonore des transformateurs

Transformateur avec des composants desserrés



Analyse temporelle



Analyse spectrale

Peigne de raies dans le domaine temporel, correspondant à un défaut de choc périodique.

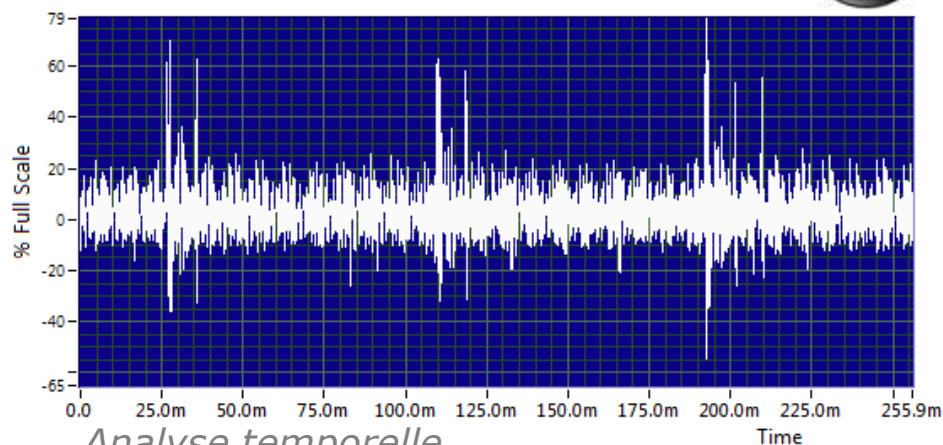
Peigne de raies sur le spectre à 120 Hz.



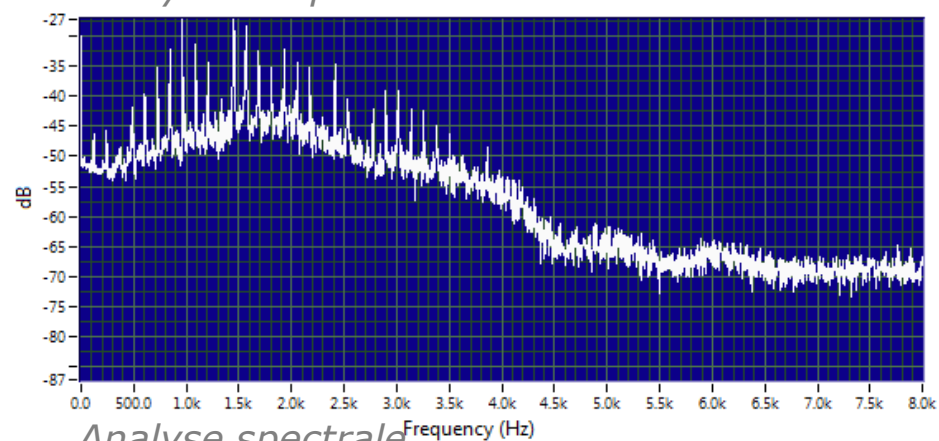


Signature sonore des transformateurs

Transformateur à huile avec décharge partielle



Analyse temporelle



Analyse spectrale



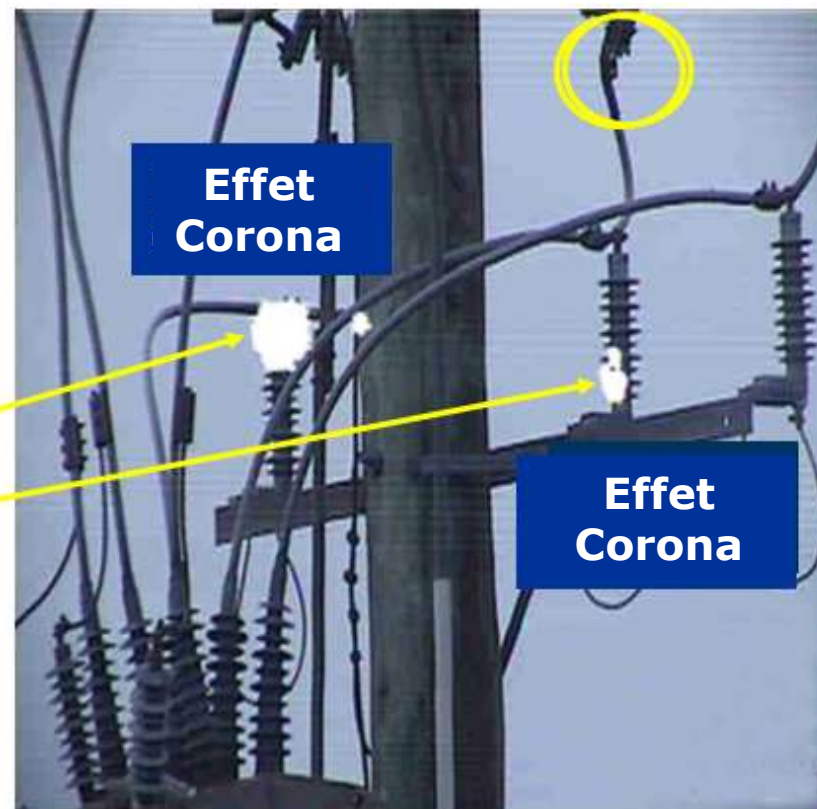
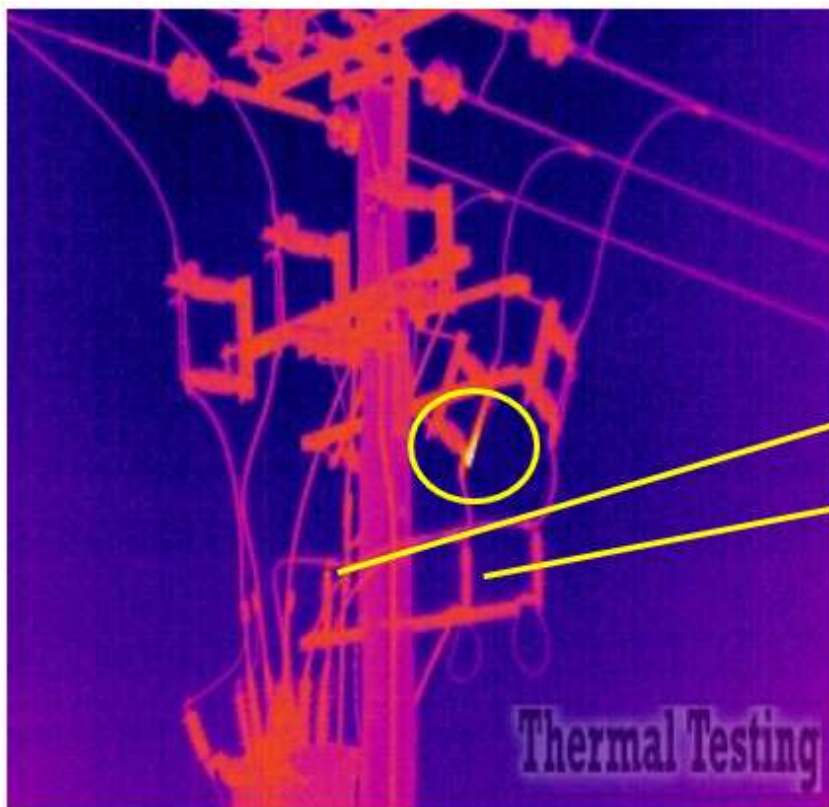
Complémentarité détection par ultrasons / thermographie infrarouge

Les caméras IR détectent des défaut liés à l'intensité électrique, qui génèrent des augmentations de température

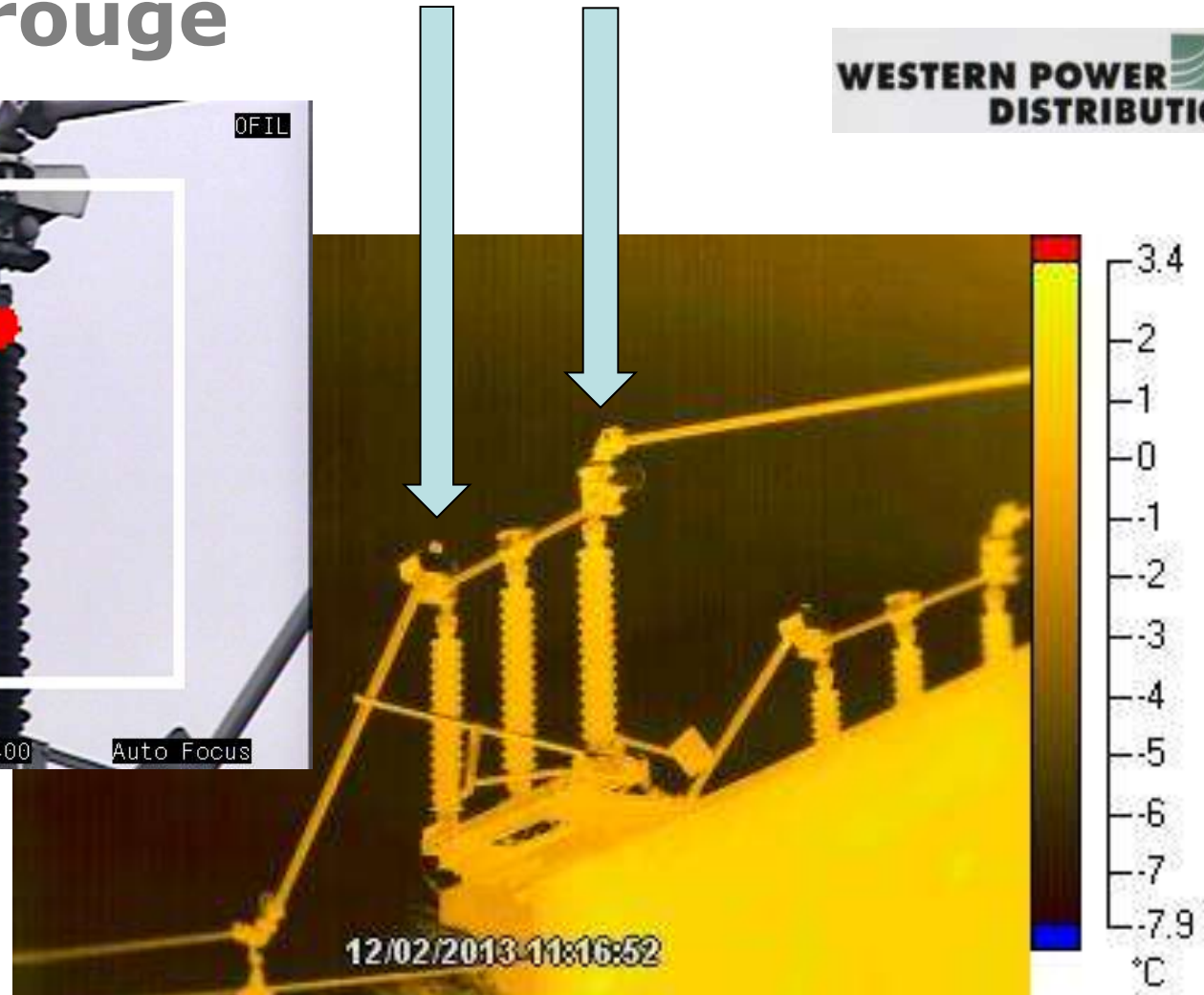
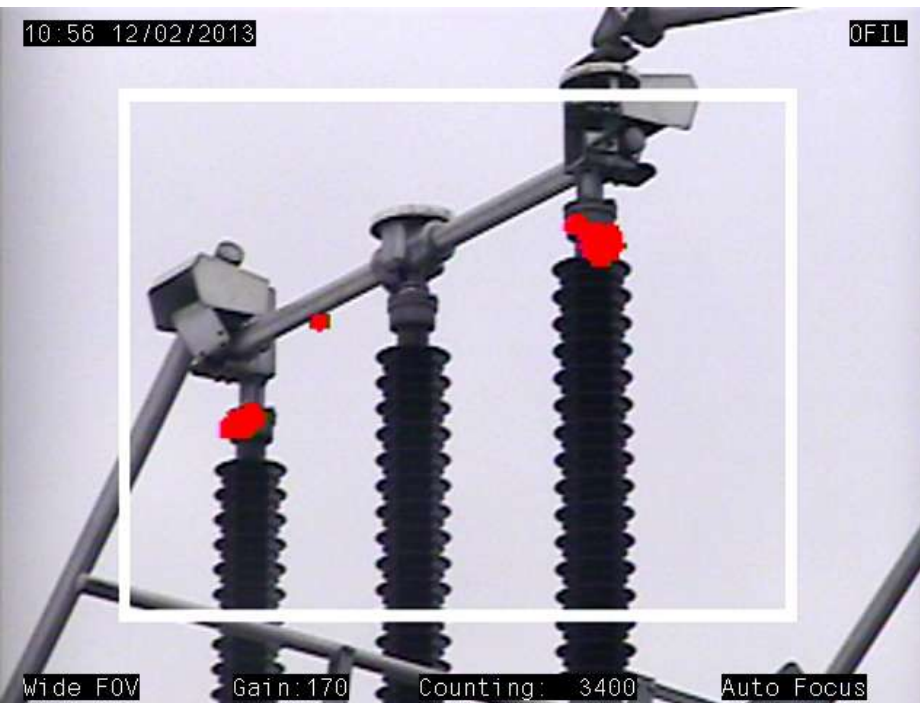
Les détecteurs ultrasonores détectent des défauts liés à la tension électrique, qui génèrent des défauts de type partielle décharge et effet Corona



Complémentarité détection par ultrasons / thermographie infrarouge

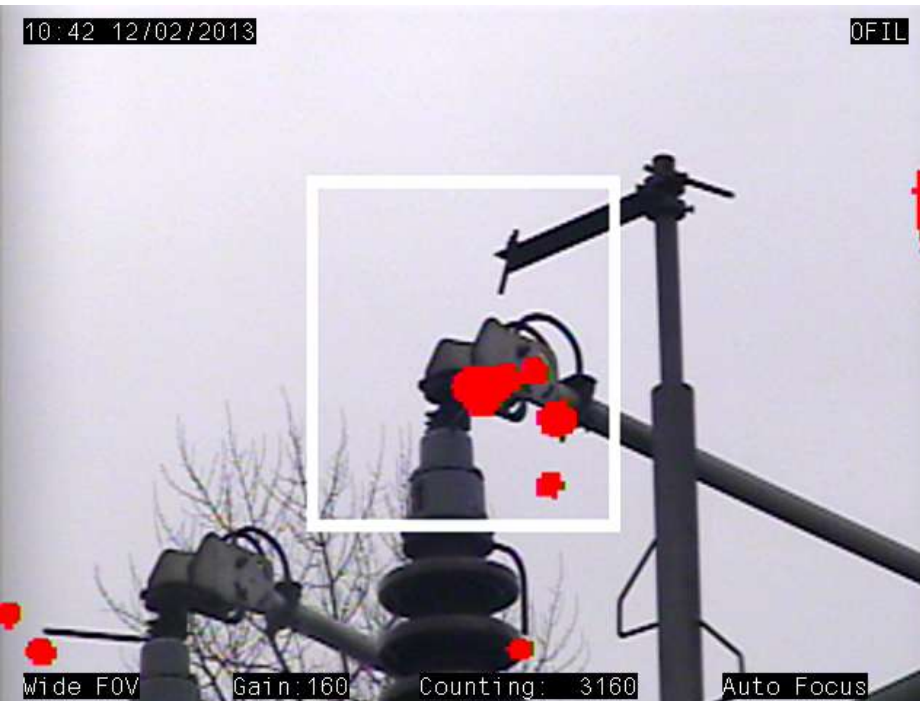


Complémentarité détection par ultrasons / thermographie infrarouge

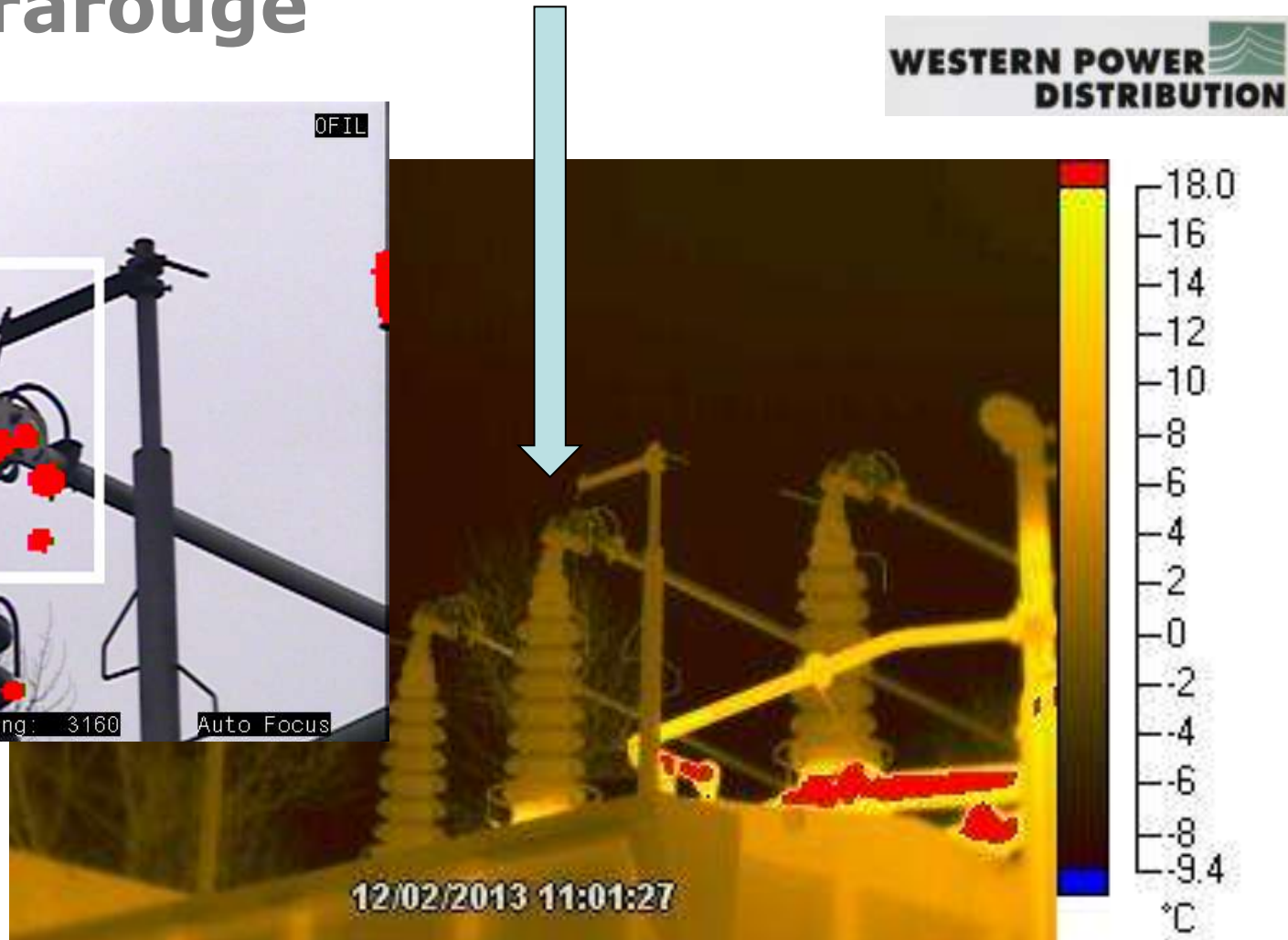


Fissure des isolateurs

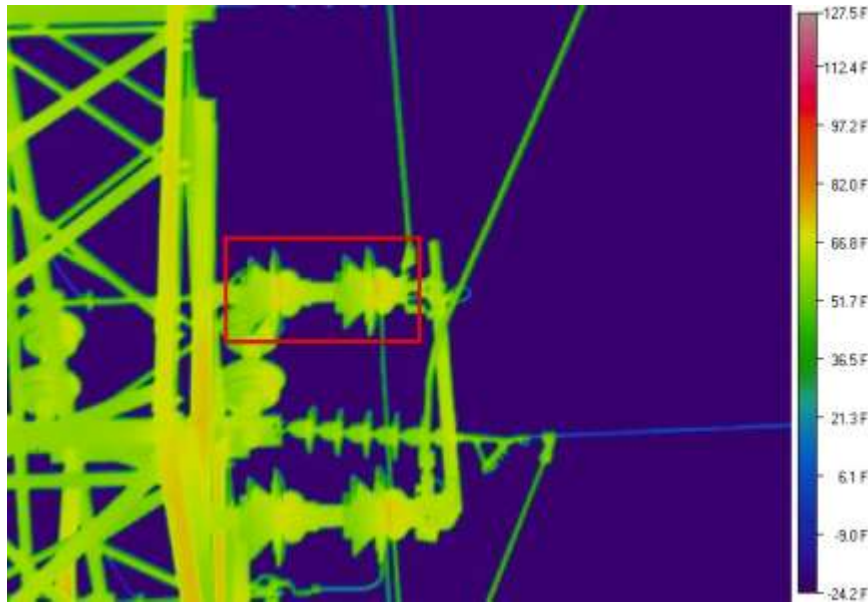
Complémentarité détection par ultrasons / thermographie infrarouge



Mauvaise connexion entre la barre et l'isolateur



Complémentarité détection par ultrasons / thermographie infrarouge



Aucun défaut détecté par
mesure
thermographie infrarouge



Effet Corona visible par mesure
ultra violet / ultrason

Thermographie Infrarouge Détection Ultrasonore *Questions*

dBVib CONSULTING
Montée de Malissol
38200 VIENNE
Tél. : 04-74-16-19-90
Fax : 04-74-16-19-99