



Fiche n° 32

ANALYSES EN LABORATOIRE D'APPAREILLAGES ET D'ORGANES ELECTRIQUES DANS LE CADRE DE LA RECHERCHE DES CAUSES D'INCENDIES

Une partie de l'activité de notre laboratoire consiste à procéder à des examens et analyses d'appareillages électriques, dans le prolongement de nos investigations sur site ou pour le compte de confrères, et ce dans le cadre d'expertises amiables contradictoires, de procédures d'arbitrages ou d'expertises judiciaires civiles ou pénales. Ces expertises font appels à des technologies de pointe telles que la microscopie optique 3D (dite par empilement d'images), la microscopie électronique à balayage couplée à une sonde EDX (MEB-EDX) pour les analyses morphologiques et chimiques élémentaires, la diffraction des rayons X (DRX) pour l'identification de solides cristallisés en mélange ou encore la spectrométrie infrarouge (IRFT).

Cette fiche d'information aborde :

- le problème de la réactivité et des mesures conservatoires qui participe à la qualité des investigations en laboratoire,
- les techniques et technologies d'analyses utilisées en laboratoire pour approfondir les études sur les appareillages ou organes électriques et électroniques (organes des installations électriques de bâtiments et de véhicules, récepteurs électriques branchés ou sur batteries, PCB¹) suspectés d'être à l'origine d'incendies,
- l'utilité de ces analyses,
- une perspective de travaux de recherche sur l'analyse des dommages d'origine électrique.

¹ PCB : Printed Circuit Board

Rappel sur la répartition statistique des incendies d'origine électrique

Concernant les bâtiments, dans une précédente fiche présentant une étude portant sur plus de 4500 incendies de bâtiments traités par notre laboratoire, les incendies électriques représentaient **23%** des cas d'incendies de cause certaine et constituaient donc la 1^{ère} cause accidentelle des incendies de bâtiments (la 2^{ème} cause des incendies pris dans leur globalité après l'incendie volontaire).

Concernant les véhicules et engins, une étude portant sur 1400 incendies impliquant un ou plusieurs véhicules ou engins, traités par notre laboratoire entre 2012 et 2019 montre que, en prenant uniquement les 70% de cas certains, **48%** sont d'origine accidentelle impliquant le produit (défaut constructeur) ou un intervenant. Parmi ces 48%, les 2/3 mettent en jeu un organe électrique ou électronique du véhicule.

L'analyse en laboratoire

Mesures conservatoires et nécessité d'agir vite

D'une manière générale, une étude technique sur les causes d'un incendie nécessite que les lieux du sinistre (bâtiment + éventuellement le ou les véhicules ou engins ou véhicules seuls) ne soient pas trop modifiés. Une étude conduite en laboratoire aura d'autant plus de chance d'aboutir à un résultat formel que le ou les prélèvements sont réalisés rapidement, dans les règles de l'art et en tenant compte des contraintes et des analyses qui devront être réalisées.

Concernant les mesures conservatoires, l'incendie détruit certes beaucoup mais ce sont souvent les déblais et les dégradations post incendie nécessaires ou superflus qui s'avèrent les plus dommageables (déblais nécessaires réalisés par les pompiers pour éviter une reprise de l'incendie, enlèvement des décombres en décharge ou jetés dans l'habacle d'un véhicule, prélèvements d'organes électriques par les agents d'ErDF, évacuation de décombres par l'occupant, corrosion post incendie des équipements etc.).

En outre, lorsqu'un appareil ou organe électrique est identifié comme origine possible ou certaine, il doit faire l'objet de mesures conservatoires adéquates dans l'éventualité d'examen ultérieurs.



L'erreur classique trop souvent rencontrée est l'absence ou l'insuffisance de mesures conservatoires couplée à des travaux d'expertises approfondis entrepris dans le cadre d'expertises judiciaires civiles débutant plusieurs mois voire plusieurs années après les faits, notamment sur des appareillages équipant un bâtiment ou un véhicule (trop souvent mal conservé en casse automobile sans protection) qui ont fini par s'oxyder très profondément et complètement car laissés aux intempéries et au travail du temps.

Concernant la rapidité d'exécution, les constatations techniques doivent idéalement être réalisées le plus rapidement possible. Les réunions d'expertise contradictoires peuvent être mises en place dans des délais très courts mais cette réactivité reste malheureusement marginale, les conventions (et non la loi), voulant que les réunions se tiennent au moins 21 jours après les convocations.

Pour ce qui est des examens en laboratoire, l'approche idéale est de les entreprendre rapidement dans le cadre des opérations d'expertises amiables et ce de façon contradictoire, c'est-à-dire en présence des experts de chaque partie. Concrètement, les examens techniques en laboratoire se font, en tout cas partiellement, en présence et sous le contrôle des parties. Cette approche, qui se révèle des plus constructives, peut également être facilement mise en place dans le cadre de procédures d'arbitrage ou d'expertises judiciaires civiles enclenchées rapidement après sinistre, les examens se faisant alors directement sous la direction du tiers expert (expert arbitre) ou de l'expert de justice. Le déroulement des opérations est alors souvent le suivant :

- en présence des parties :
 - réception, ouverture et présentation des échantillons,
 - identification des organes reçus et éventuellement si possible reconstitution des branchements et étages (notamment dans le cas d'un tableau électrique comprenant le distributeur et le privatif),
 - examen de tous les organes et recherche visuelle ou microscopique de zones de destructions singulières ou anormales,
- opérations plus longues, généralement réalisées par le laboratoire en l'absence des parties :
 - préparation des échantillons (isolement des zones à étudier), examen morphologique plus précis des zones singulièrement ou anormalement détruite précédemment identifiées,
 - autres préparations, examens morphologiques plus précis et analyses chimiques élémentaires (nature des métaux et/ou alliages mis en jeu etc.),
 - édition éventuelle d'un pré-rapport d'analyses,



Très forte oxydation et dézincification de contacts électriques en laiton (Cuivre+Zinc) prélevés dans une cabine d'engin forestier examiné sur site en forêt 14 mois après son incendie. Ces contacts susceptibles d'être à l'origine de l'incendie de cet engin sont devenus inexploitable (Microscopie optique classique X15).



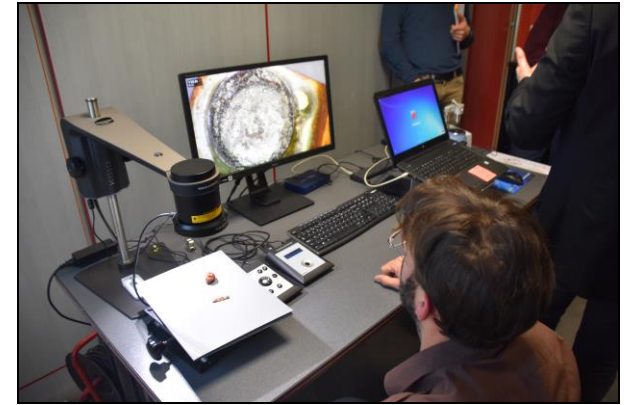
- à nouveau en présence des parties :
 - discussions sur les résultats d'analyses et examens, lors d'une seconde réunion d'expertise contradictoire ou par échanges d'observations,
 - édition du rapport d'analyse final.

Les techniques utilisées

Examen macroscopique puis par microscopie simple ou 3D. Ces examens permettent d'établir :

- si les appareillages ou organes électrique et/ou électronique sont détruits de façon homogène par le feu environnant,
- s'ils présentent au contraire un facies de destruction s'expliquant par une zone de surchauffe ponctuelle et interne (ils peuvent dans ce cas comporter une anomalie ou singularité de destruction et potentiellement constituer la cause de l'incendie),
- si un câble, un PCB ou une connexion électrique par exemple présentent des marques typiques d'un échauffement électrique par arcage ou effet Joule (cratérisation ponctuelle, projections de microbilles, bulles de dégazage etc.) ou plutôt des marques de fusions uniquement liées à la température de l'environnement, sans énergie électrique (gouttes et coulées gravitationnelles, rochage, suroxydation du cuivre sur une certaine longueur etc.).

Cette phase d'examen peut s'avérer partiellement destructive car nécessitant une préparation par nettoyage chimique avant analyses plus fines, un démontage partiel ou total du ou des objet(s) étudié(s) et très souvent des découpes fines (analyse dans l'épaisseur du matériau et isolement de la zone intéressante).



Traces d'amorçages électriques sur pastilles de contact de batterie de condensateurs (microscope optique 3D x22).



Domages provoqués par des arcages répétés sur un contact d'armoire de commande de déligneuse. Origine de l'incendie d'une importante scierie (microscope optique 3D x11).

Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB/EDX) Cette technique est utilisée pour obtenir des informations morphologiques et chimiques élémentaires des dommages anormaux, ponctuels et singuliers identifiés précédemment par la première approche de l'étude.

La microscopie électronique à balayage couplée à une sonde EDX (MEB/EDX) a pour première vocation la visualisation d'images à très forts grossissements (x40 à x400000). Elle permet aussi de déterminer la composition chimique élémentaire d'une surface minérale, organique ou métallique.

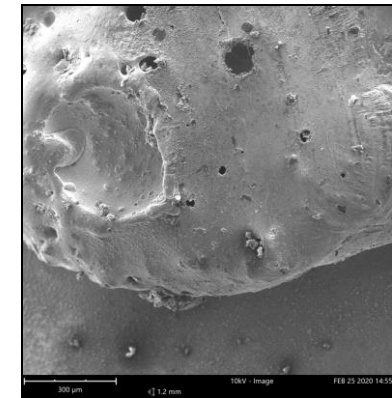
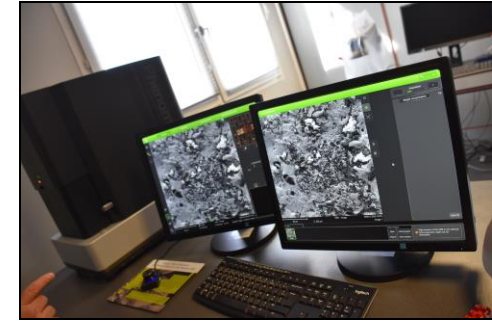
Cette analyse pourra donc dans sa première fonction :

- identifier le ou les métaux ou alliages mis en jeu au niveau de la zone de dommages singuliers identifiée précédemment,
- établir la température atteinte à cet endroit en cas de fusion et de la comparer aux températures habituellement atteintes dans un incendie,
- et donc permettre d'en déduire si cette fusion a éventuellement mis en jeu une énergie électrique.

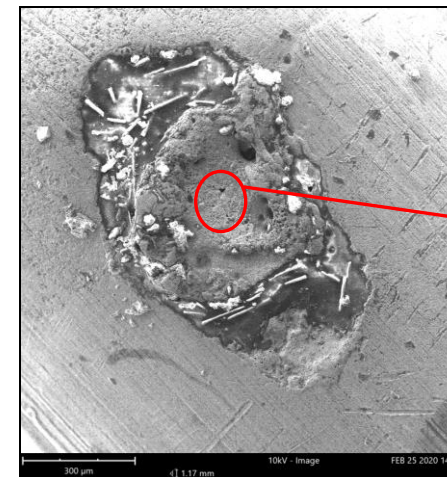
Cette méthode d'analyse est également parfaitement adaptée pour l'étude des traces de fusion de câbles électriques en cuivre. Elle permet en effet d'établir scientifiquement :

- si une zone de fusion d'un conducteur électrique en cuivre est liée à un surampérage par court-circuit, surcharge, arcages etc,
- ou au contraire si cette zone de fusion est liée uniquement à l'environnement thermique extérieur sans apport d'énergie électrique.

Analyse par diffraction des rayons X (DRX) La microscopie électronique à balayage peut être couplée à la diffraction des rayons X. Cette analyse peut être réalisée sur des matériaux solides sous forme de poudre ou bloc, mais uniquement à l'état cristallin. Il peut s'agir par exemple de matériaux de construction (plâtre, mortiers de chaux, roches diverses calcaires ou granitiques, schistes, etc.) qui viendraient polluer des organes électriques devant être analysés.



Etat de surface d'une pastille de contact de relais électrique de véhicule ayant subi un mauvais contact et un départ de feu (x200).



Morphologie globale d'une trace d'arc électrique sur un câble électrique de 1,5mm² raccordé à un interrupteur différentiel (image SED x200).

Fond du cratère de trace d'arc ci-dessus vu à plus fort grossissement (image SED x4500).

Analyse par spectroscopie infrarouge L'analyse par spectroscopie Infrarouge à Transformée de FOURRIER (ou IRFT) est en règle générale utilisée pour la caractérisation de matériaux organiques (huiles, matériaux synthétiques divers tels que colles, plastiques, peintures etc.) voire quelques fois minéraux (plâtres, silice, sulfates, carbonates etc.). Ces matériaux sont, pour la grande majorité, de bons combustibles, voire pour certains, de très bons combustibles très facilement inflammables à l'état brut (polystyrène, polycarbonate, polyuréthane etc.). Ils participent quasiment systématiquement à la combustion et à la propagation du feu dans tous les incendies. Pour les plus courants et dont certains sont rencontrés dans les appareillages ou organes électriques, on peut citer :

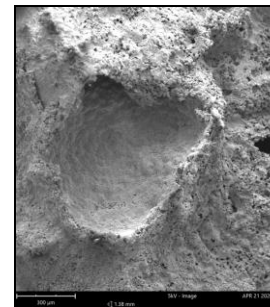
- le Polystyrène (PS): expansé (matériaux de construction, isolants divers etc.) ou non (ustensiles de camping, vaisselles en plastique transparent etc.),
- le Polyéthylène (PE): sacs divers et notamment de congélation, films plastiques (thermoformables), conteneurs divers tels que jerricans, bidons, fûts, gaines isolantes électriques,
- le Polypropylène (PP): conteneurs divers (réservoir à carburant notamment) de qualité alimentaire, pièces industrielles etc.
- le Polyuréthane (PU): expansé (matériau de construction, isolant thermique divers, bardages, mousses de rembourrage de literies, canapés sièges etc.) ou non (moule de construction, bâtiment, revêtement de sol etc.),
- le Polychlorure de vinyle (PVC) : gaine isolante électriques, canalisations etc.

Une analyse par spectroscopie infrarouge permettra par exemple :

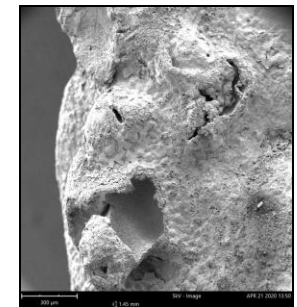
- de prouver et de confirmer que dans une zone particulièrement détruite, il existait tels ou tels matériaux synthétiques (dont on peut alors connaître la capacité calorifique) constitutifs ou en contact avec un appareil ou un appareillage électrique et expliquer un impact thermique,
- de préciser la nature de diverses huiles et graisses (huile minérale, huile végétale ou animale, graisse polyamide), colles ou peintures, anormalement présentes dans un appareillage ou appareil électrique. Rappelons à ce sujet que les colles peuvent servir à provoquer un incendie ou même à élaborer des systèmes de mise à feu à retardement couplés à des appareils électriques branchés sur minuteurs.



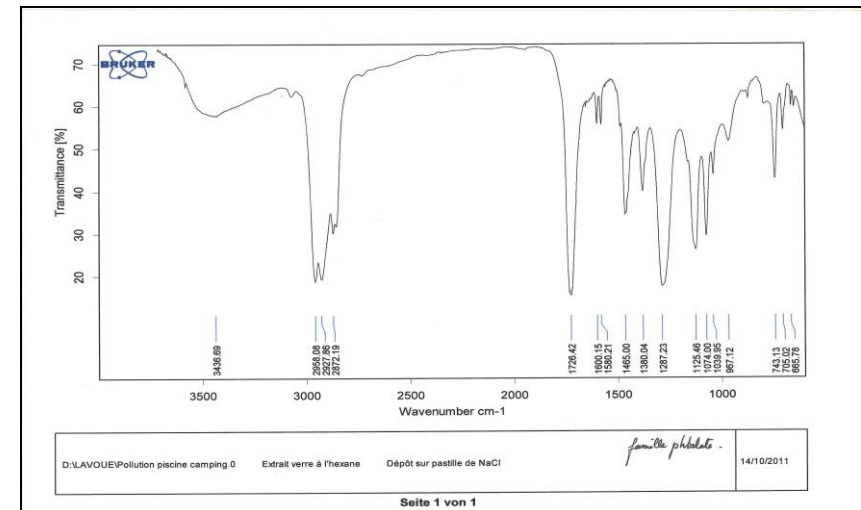
Microscopie optique



Cliché MEB



Cliché MEB



Spectre infrarouge

Les axes de recherche en matière « d'analyses électriques » dans le cadre d'un incendie

La question récurrente du dommage électrique interprété comme « cause ou conséquence de l'incendie » en fonction des intérêts particuliers est un débat qui mérite d'être approfondi, notamment par des travaux et des publications reconnus par tous les experts.

Il n'existe pour l'heure aucune technique analytique permettant **à elle seule** de prouver ou de déterminer qu'un dommage provoqué par une énergie électrique, est la cause² ou la conséquence³ d'un incendie. Un collègue, dont nous avons l'honneur de faire partie, d'une quinzaine d'experts de justice incendie-explosion, de chercheurs du CNRS, et d'ingénieurs de laboratoires reconnus et ayant une expérience en la matière, se sont regroupés pour travailler sur les différents points suivants :

- recherche bibliographique (publications, thèses) concernant les travaux déjà réalisés sur les indices (détection, morphologie, analyse chimique élémentaire etc.) de dommages électriques survenus avant et pendant un incendie,
- recensement de tous les types de dommages d'origine électrique susceptibles d'être rencontrés (amorçage, arcage, court-circuit franc, surcharge etc.),
- constitution d'une bibliothèque commune de références analytiques (morphologie et analyses chimiques élémentaires) des grands types de dommages occasionnés par les différents types d'incidents d'origine électrique évoqués,
- création d'un glossaire des termes « techniques » afin d'uniformiser le langage des experts,
- mise en place d'un protocole de prise de prélèvement et d'identification d'organes ou d'appareillages électriques,
- in fine, lancement d'études ou thèses de recherche en matière d'analyses et interprétation des résultats de dommages par énergie électriques survenus avant et pendant un incendie pour vérifier s'il est possible ou non de déterminer par l'analyse en laboratoire si un dommage d'origine électrique est survenu avant ou pendant un incendie.

² Incident d'origine électrique qui donna naissance aux premières flammes dévorantes et reconnu comme LE départ de feu.

³ Incident d'origine électrique qui s'est produit après l'apparition des premières flammes dévorantes.

Conclusions

Les investigations techniques sur site permettent la plupart du temps de localiser le départ de feu d'un incendie et d'identifier sa cause mais une analyse visuelle simple sur site doit être de plus en plus souvent complétée par des investigations en laboratoire, notamment en vue d'établir formellement et de façon scientifique une cause d'origine électrique et les éventuelles responsabilités de constructeurs, fabricants, artisans, fournisseurs d'énergie ou autre. Les analyses d'appareillages et d'organes électriques en laboratoire peuvent souvent :

- apporter la preuve scientifique qui confirmera et affinera les constatations sur site,
- établir si une zone de fusion est d'origine électrique ou si elle est la conséquence de la température environnante atteinte par l'incendie,
- établir l'origine d'une surchauffe d'un appareil ou d'un organe électrique (dysfonctionnement intrinsèque d'un organe, mauvaise utilisation ou intervention par exemple),
- localiser dans un tableau électrique l'origine de la surchauffe électrique, au niveau de l'installation électrique du fournisseur d'énergie ou au niveau de l'installation privative,
- donc globalement de définir les recours à exercer ou à ne pas exercer, à subir ou à ne pas subir. Nous présenterons dans une prochaine fiche d'information quelques exemples de dommages électriques sur des organes usuels à l'origine d'un incendie ou détruits par ce dernier et les perspectives que de tels résultats peuvent offrir en matière de recours ou non.

Les chances d'aboutir à des conclusions analytiques précises seront d'autant plus importantes que :

- des mesures conservatoires adéquates et rigoureuses auront été prises,
- les examens en laboratoires auront été réalisés rapidement (d'où l'intérêt de procédures rapides dans un cadre amiable, d'arbitrage ou judiciaire (référé d'heure à heure),
- les examens en laboratoire auront été réalisés dans le prolongement d'investigations techniques de qualité sur site, d'où l'intérêt de réaliser au moins en partie les examens en laboratoire de façon contradictoire, c'est-à-dire en présence des experts étant intervenus sur site.

Le 6 mai 2020

Pascal OUDET

*Docteur en Chimie - Physique
Expert Incendie-Explosion / Pollution
Près la Cour d'Appel de Dijon*

