

LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX DE L'INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN) POUR LA RECHERCHE SUR L'INCENDIE

W. Le Saux, H. Pretrel, M. Coutin, M. Piller, P. Zavaleta & L. Audouin

*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Laboratoire d'Expérimentation des
Feux, Centre de Cadarache, Bât 346, 13115 St Paul Les Durance*

RESUME

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire possède des installations expérimentales à petites, moyennes et grandes échelles pour réaliser des recherches et études sur les incendies et les agressions thermiques. Les thématiques du laboratoire sont à l'heure actuelle orientées sur les feux en milieu confiné et ventilé, l'étude de la propagation des gaz chauds et des fumées, les incendies d'armoires électriques, le dysfonctionnement de matériels électriques, la caractérisation des fumées d'incendies et la dégradation thermique de matériaux. L'ensemble des essais réalisés dans les dispositifs de l'IRSN permettent de produire des bases de données expérimentales dont l'analyse et l'interprétation conduisent à développer et qualifier des modèles et des logiciels de calcul destinés à l'évaluation de la sûreté des installations nucléaires. L'article présente les différents dispositifs de l'IRSN et les thématiques de recherche illustrées par des exemples de programmes.

1 LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX POUR LES INCENDIES EN MILIEU OUVERT

Les essais en milieu ouvert concernent des conditions expérimentales aux cours desquelles les conditions limites de température et de concentration en oxygène sont celles du milieu ambiant pendant toute la durée du feu. Ce type d'essai peut être réalisé au sein de deux dispositifs expérimentaux du Laboratoire d'Expérimentation des Feux (LEF) dont une description sommaire est présentée ci-après : le dispositif CARINEA et la tour SATURNE.

1.1 Le dispositif CARINEA pour des essais à petite échelle

Le dispositif CARINEA (**C**ARactérisation pour l'**I**ncendie d'**E**chantillons **A**analytiques) permet la réalisation d'essais analytiques à petite échelle, en particulier dans le domaine du comportement des matériaux soumis à un stress thermique. Ce dispositif est composé de deux postes expérimentaux (cf. Figure 2) qui sont connectés au même réseau de ventilation. Chaque poste est équipé d'une hotte de 1,5 mètre de diamètre et du réseau d'extraction associé sous lesquels des dispositifs expérimentaux sont mis en place permettant d'étudier le dysfonctionnement d'équipements électriques. Le dispositif SIROCCO (cf. Figure 3) est une enceinte confinée et ventilée avec un débit d'air chaud régulé exposant ceux-ci à des températures ambiantes comprises entre 20 à 300°C et selon différentes rampes de chauffe. Un panneau radiant (cf. Figure 4) permet d'imposer à des matériaux des flux rayonnés variant de 5 kW/m² à 80 kW/m², et d'étudier leur dégradation thermique (état de surface, pyrolyse,

auto-inflammation, puissance du feu...) au cours du temps. Avant l'essai lui-même, des fluxmètres MEDTHERM donnent la mesure des flux de chaleur incidents radiatifs vers la cible caractérisant ainsi le stress thermique imposé à celle-ci. Des analyseurs de gaz (CO, CO₂, O₂), d'hydrocarbures totaux ainsi que des analyses par FTIR (analyse qualitative et quantitative de plus de 15 gaz) permettent l'analyse multi-gaz des fumées obtenues par la dégradation des matériaux. Enfin, des analyses en ligne ou séquentielles de la concentration massique et de la granulométrie des suies peuvent également être réalisées sur ce dispositif expérimental.



Figure 1 : La hotte de la tour SATURNE



Figure 2 : Les deux hottes du dispositif CARINEA



Figure 3 : Le dispositif SIROCCO



Figure 4 : Le panneau radian
sous une des deux hottes de CARINEA

1.2 La tour SATURNE pour des essais à moyenne échelle

Cette installation est destinée à l'étude de la combustion en atmosphère libre de foyers de moyenne échelle (par exemple, un feu d'armoire électrique ou de nappe liquide). Il est constitué d'une hotte et d'un système de mesure et de filtration des gaz produits par le feu (cf. Figure 1). Les capacités de la hotte et du réseau de ventilation associé (débit maximal de

20000 m³/h) permettent d'étudier des foyers dont la puissance peut atteindre environ 2 MW. Son instrumentation permet notamment de déterminer des grandeurs caractéristiques d'un feu comme la puissance du foyer, les transferts thermiques du foyer vers le milieu environnant (par rayonnement notamment), la composition des gaz et la concentration des aérosols des fumées. La hotte et la conduite d'extraction des fumées sont équipées d'une instrumentation permettant de mesurer les concentrations des gaz (O₂, CO, CO₂, H₂O, HCl, et hydrocarbures totaux), le débit volumique des gaz dans la conduite, la pression, la température des gaz, l'opacité des fumées (opacimètre optique) et la concentration massique des suies (en ligne et par prélèvements séquentiels). Cette métrologie permet notamment de déterminer la puissance du foyer à partir de méthodes standards basées sur la consommation d'oxygène et/ou la production de CO₂. En ce qui concerne le foyer, l'instrumentation permet de suivre l'évolution de la masse du combustible pour quantifier le débit de perte de masse, la température des gaz dans la zone de flamme et du panache, la vitesse de gaz dans la flamme et le panache du foyer, la température de la surface du combustible. Pour certains types de combustible complexe (par exemple, une armoire électrique), des mesures par caméra infrarouge sont réalisées.

2 LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX A GRANDE ECHELLE POUR ETUDIER LES INCENDIES EN MILIEU CONFINE ET VENTILE

2.1 L'installation mono-local PLUTON

Cette installation, nommée PLUTON, est constituée d'une enceinte étanche en béton armé d'un volume de 400 m³ et d'un réseau de ventilation industriel de forte capacité (débit maximal de 18000 m³/h comprenant une branche principale et une branche de dilution). Sa gamme de tenue à la pression va de -25 à 250 hPa et son instrumentation (près de 450 voies de mesure) permettent de réaliser des expériences sur des feux de puissance importante (jusqu'à 5 MW environ) et pour différentes configurations de ventilation. Elle est composée de thermocouples pour mesurer les températures des gaz, des parois, de la zone de flamme, du panache et du combustible, de fluxmètres thermiques pour déterminer les transferts de chaleur aux parois, de transmetteurs de pression pour mesurer la pression des gaz dans les locaux et dans le réseau de ventilation, d'analyseurs de gaz pour déterminer en continu la concentration des gaz de combustion (O₂, CO, CO₂) et des gaz imbrûlés (hydrocarbures totaux), de batteries de filtres et d'analyseurs en ligne pour mesurer la concentration des suies.

2.2 L'installation multi-locaux DIVA

Cette installation, nommée DIVA (**D**ispositif **I**ncendie **V**entilation et **A**érocontamination), est dédiée à la réalisation d'essais sur les feux en configuration à plusieurs locaux confinés et ventilés. Le dispositif expérimental DIVA se compose de trois locaux de taille identique (L x l x h = 6 x 5 x 4 m³), chacun d'entre eux pouvant donner sur un couloir latéral commun de 15.6 m de long et de 2.5 m de large (cf. Figure 5). Un quatrième local, surplombant un des locaux et la partie du couloir attenante, permet de traiter la propagation du feu et des fumées vers les étages supérieurs. Les locaux peuvent communiquer entre eux par des portes (0.8 m x 2.1 m) et par un réseau de ventilation. Les principales caractéristiques du dispositif DIVA sont les suivantes : matériau de construction en béton armé, pression admissible dans les locaux allant de -100 hPa à +520 hPa, portes des locaux étanches, coupe-feu et anti-souffle en acier, fuites contrôlées possible entre locaux via des orifices ou les portes. L'installation DIVA est reliée à un réseau de ventilation de type industriel et est constitué de trois circuits distincts connectés à chacun des locaux : le circuit de soufflage, le circuit d'extraction et le circuit d'extraction de secours. Son réseau de ventilation permet de traiter des configurations

représentatives des installations rencontrées en milieu nucléaire, aussi bien des laboratoires et usines que des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP). Cette installation permet notamment l'étude de la propagation des fumées entre les locaux par différents modes : à travers les fuites (calibrées) entre les compartiments, via le réseau de ventilation, par des ouvertures via les chemins de câbles et tout autre configuration spécifique (cf. Figure 5). Ce dispositif peut être doté d'une instrumentation conséquente pouvant déployer jusqu'à 800 voies de mesures. On retrouve dans le caisson PLUTON le même type d'instrumentation que dans l'installation DIVA (thermocouples, fluxmètres thermiques, transmetteurs de pression, analyseurs de gaz, etc.).

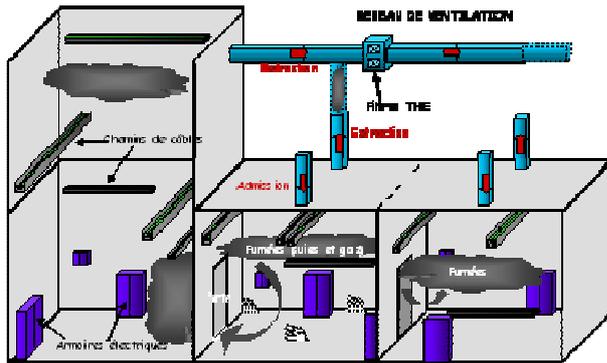


Figure 5 : Le dispositif multi-locaux DIVA

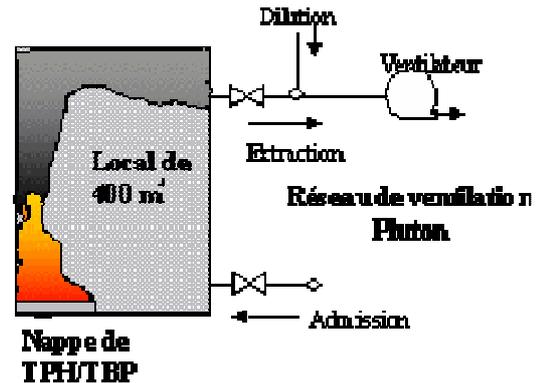


Figure 6 : Le dispositif PLUTON

3 QUELQUES EXEMPLES DE CAMPAGNES D'ESSAIS

3.1 Feux d'armoires électriques

Le dispositif SATURNE a été utilisé pour réaliser des programmes expérimentaux dont l'objectif était d'améliorer les connaissances concernant les feux d'armoires électriques et d'élaborer un modèle empirique décrivant ce type de feux. La complexité des feux d'armoires électriques a conduit à une approche en deux étapes ; une première partie à caractère analytique totalisant une trentaine d'essais ; une seconde partie avec la réalisation de deux essais utilisant des armoires réelles. Pour les essais analytiques, l'enveloppe de l'armoire électrique est simulée par une boîte en acier, et les composants électriques par des carreaux de plexiglas, de PVC ou de polyéthylène. Pour les essais avec armoires réelles, les essais mettaient en œuvre des armoires électriques de relaying, composées de matériels tels que des relais, des borniers, des goulottes, des disjoncteurs et de la filerie de type C1. L'interprétation physique qui a été réalisée a porté essentiellement sur l'évolution de la puissance du foyer et sur la thermique de l'armoire (cf. Figure 7 et [1]). La suite de ces travaux consistait à réaliser des essais complémentaires sur d'autres types d'armoires électriques réelles [2] dans SATURNE, puis en étudiant la combustion de celles-ci en milieu confiné dans le dispositif DIVA. Dans le dispositif CARINEA, le comportement au stress thermique de chaque élément composant les armoires électriques (bornier,...) a été étudié pour compléter les essais précédents.

3.2 Feux de combustible liquide dans un local confiné et ventilé

Le dispositif PLUTON a été utilisé dédié à l'étude du comportement d'un feu de nappe (solvant TPH/TBP et éthanol) dans un seul local confiné et ventilé et de ses conséquences sur l'installation avec et sans conduite de la ventilation (cf. Figure 8). Une campagne de 16 essais

a été réalisée et les résultats ont permis d'améliorer les connaissances sur les feux de nappe liquide dans ce type de configuration, de quantifier les grandeurs physiques caractérisant le système étudié (pression, température, flux de chaleur, débit de la ventilation, etc.). Une étude spécifique de l'influence de la conduite de la ventilation sur l'évolution de l'incendie a été menée en testant deux scénarios : fermeture (après l'inflammation de la nappe et selon une séquence pré-établie) de l'admission seule et fermeture de l'admission et de l'extraction. Les résultats expérimentaux ont en particulier montré que la conduite de la ventilation peut induire des variations importantes de la pression des gaz dans le local ([3], [4]).



Figure 7 : Armoire électrique avant, pendant et après combustion



Figure 8 : Nappe en feu lors d'essai dans PLUTON et photographie du dispositif expérimental

3.3 Feux de combustible liquide dans une installation multi-locaux confinée et ventilée

Le dispositif DIVA a permis de réaliser des feux de combustible liquide (huile, TPH) en multi-compartiments dont le but était d'apporter des éléments de réponse aux préoccupations de sûreté relatives aux conséquences d'un feu dans un local sur les locaux voisins et sur la ventilation (cf. Figure 9) [6]. Les foyers liquides utilisés lors de ces essais ont été testés préalablement sous la hotte SATURNE afin d'en connaître leurs caractéristiques en atmosphère libre. Les différentes campagnes d'essais visaient à étudier le couplage entre l'incendie et la ventilation et s'intéressaient notamment au comportement de la pression des gaz en divers points de l'installation ainsi qu'à la propagation de la chaleur et des fumées au

sein du dispositif. Elle a également permis d'évaluer l'influence sur le système d'éléments de sectorisation de l'industrie nucléaire tels que des clapets coupe-feu (CCF) fusibles à seuil de température (70°C) (cf. Figure 9, [5])

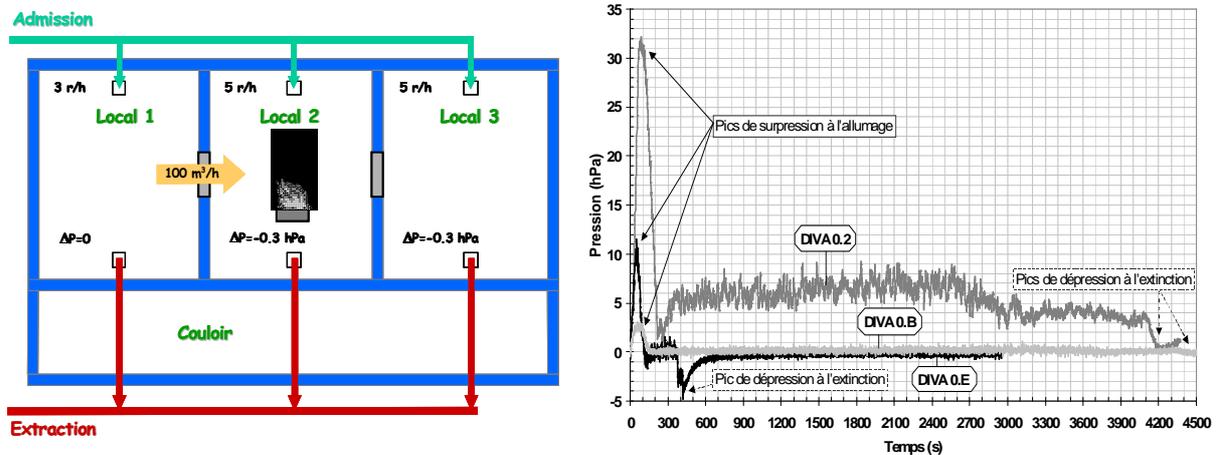


Figure 9 : Configurations des essais dans DIVA et exemple de résultats

4 CONCLUSION

A ce jour, l'IRSN dispose d'une plate-forme expérimentale incendie permettant de réaliser des feux à petite, moyenne et grande échelle, en milieu ouvert ou confiné, dans des dispositifs à un ou plusieurs locaux ventilés. Plus de 400 essais ont été réalisés lors de ces 20 dernières années, par une équipe d'une quinzaine de personnes. Les thèmes de recherche actuels sont orientés vers l'étude de la propagation des fumées, les incendies d'armoire électrique et la caractérisation des matériaux, et sont menés pour la plupart dans un cadre de coopération nationale et internationale.

5 REFERENCES

1. L. Rigollet, S. Melis, HRR of vertical combustibles inside a confinement : an analytical approach to the fire of electrical cabinets, 10th International Fire Science and Engineering Conference, 5-7 July, Edinburgh (RU), 2004
2. M. Coutin, Phenomenological description of actual electrical cabinet fires in a free atmosphere, Interflam, University of London, Royal Holloway College, UK, September 3-7, pp.725-730, 2007.
3. H. Prétel, W. Le Saux, Y. Pizzo and J.M. Such, Over-pressure peaks and low-pressure peaks during compartment fire tests in forced ventilated configuration, 10th International Fire Science and Engineering Conference, 5-7 July, Edinburgh (RU), 2004.
4. H. Prétel, J.M. Such, On the behavior of a pool fire in a confined and ventilated enclosure when ventilation strategies are applied, Nuclear Engineering and Design Journal, Volume 235, Issue 20, Pages 2125-2226, September 2005.
5. W. Le Saux, H. Prétel et J.M. Such, Etude expérimentale de scénarios d'incendie multi-locaux en milieu confiné et ventilé à partir de tests à grande échelle, 12^{ème} Journées Internationales de Thermique, 15-17 Nov 2005 Tanger.
6. W. Le Saux, H. Prétel et C. Lucchesi, Experimental study of the fire mass loss rate in confined and mechanically ventilated multi-rooms scenarios, IAFSS Symposium, Karlsruhe (Germany), 21-26 Sept 2008.