

Réduction des risques incendies dans l'habitat - Partie B

Livrable D : Synthèse et valorisation



Reference
Version
Date
Page

Livrable D
1
16/06/2016
25

Auteurs

Tien NGUYEN
Damien MARQUIS
Thomas ROGAUME
Franck RICHARD
Cédric BOURDON
Georges FAVRE

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIÈRES	3
SIGLES ET ACRONYMES	4
INTRODUCTION	7
1 MODÉLISATION ET VALIDATION À PETITE ÉCHELLE	11
2 MODÉLISATION A GRANDE ECHELLE	14
3 SCENARI INCENDIE	17
4 VALORISATION	21
4.1 GUIDE DE BONNES PRATIQUES	21
4.2 DEMONSTRATEUR NUMERIQUE	21
4.2.1 Développement d'un outil simplifié	21
4.2.2 Présentation de l'outil	22
5 CONCLUSIONS	24
RÉFÉRENCES	25

SIGLES ET ACRONYMES

BBC	<i>Bâtiment basse consommation</i>
CFD	<i>Computational fluid dynamics</i>
CTA	<i>Centrale de traitement d'air</i>
ERP	<i>Etablissement recevant du public</i>
FDS	<i>Fire Dynamics Simulator</i>
IGH	<i>Immeuble de grande hauteur</i>
ISI	<i>Ingénierie de la sécurité incendie</i>
LNE	<i>Laboratoire national de métrologie et d'essais</i>
PU	<i>Polyuréthane</i>
PMMA	<i>Polyméthacrylate de méthyle</i>
PVC	<i>Polychlorure de vinyle</i>
RT	<i>Réglementation technique</i>
VMC	<i>Ventilation mécanique contrôlée</i>

Résumé : *Le projet « Réduction des risques incendies dans l'habitat » a pour objectif de caractériser les feux domestiques afin d'améliorer la sécurité incendie au sein des habitats. Pour répondre à cette problématique, le programme de recherche a été divisé en deux grandes parties :*

- **Partie A** - *étude statistique et caractérisation expérimentale de la dégradation thermique.*
- **Partie B** - *étude numérique et développement d'un guide méthodologique.*

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la partie B du programme de recherche et synthétise les principaux résultats et conclusions obtenus au cours du projet.

AVERTISSEMENT

Les résultats obtenus numériquement dans ce projet de recherche ne reproduisent pas forcément la réalité. Il convient de conserver à leur égard un regard critique, ces derniers dépendant fortement des hypothèses et de l'outil numérique considérés.

INTRODUCTION

L'incendie domestique est la première cause de mortalité liée au feu en France. Dans de nombreux cas, le feu se développe dans l'habitat par propagation sur les meubles rembourrés, les articles de literie, l'ameublement et l'équipement. Toutefois, ces différents matériaux ne subissent pas de contraintes réglementaires fortes (au contraire des produits de construction) et leur réaction au feu est souvent médiocre. Leur combustion s'accompagne de plus de la production de gaz opaques et toxiques, qui sont la cause la plus fréquente des incapacitations et des décès liés au feu.

Face au besoin très conséquent et croissant de renforcement de la sécurité incendie, deux approches sont possibles :

- ✓ La première, nommée descriptive consiste à respecter les obligations de moyens des règlements de sécurité. Toutefois, celles-ci sont basées sur des résultats empiriques, des consensus et généralisent les cas tandis que les habitats sont de plus en plus divers et évoluent fortement, notamment de par les choix architecturaux réalisés, les matériaux utilisés, les isolations et ventilations mises en œuvre (RT 2012 – BBC) et les ameublements. A noter que l'ameublement Français a également fortement évolué, allant de plus en plus vers une consommation coup de cœur de mobiliers à faibles coûts (syndrome « Ikea ») et de par les matériaux mis en œuvre. Face à ce constat, l'approche descriptive s'avère très insuffisante et inadaptée à l'évolution rapide des bâtiments et de l'ameublement.
- ✓ L'ingénierie de la sécurité incendie, très récente en France, permet alors de réaliser des études de sécurité beaucoup plus adéquates. Elle est la discipline d'application des principes de l'ingénierie, de règles et de jugements d'experts, fondés sur une quantification des phénomènes du feu, de ses effets, en prenant en compte le facteur humain, afin d'identifier et d'évaluer les risques et définir les mesures nécessaires de prévention, de protection et de prévision pour limiter les conséquences d'un incendie, protéger les vies humaines, l'environnement et les biens selon des objectifs de sécurité relatifs à l'ouvrage considéré. C'est cette approche qui a été retenue dans cette étude. Elle repose pour ce faire sur l'utilisation d'un outil numérique de simulation incendie.

Les codes de simulation des incendies actuellement les plus utilisés et les plus performants sont constamment enrichis par les acteurs internationaux de la recherche. Ils sont constitués de différents modèles, chacun ayant une fonction : description des écoulements, description des transferts thermiques, de la formation des polluants... L'un des principaux points faibles de ces codes réside dans le modèle dit de pyrolyse qui a pour enjeu de décrire la cinétique de décomposition thermique des matériaux solides. En effet, ces modèles sont encore aujourd'hui très sommaires et imprécis, tandis qu'ils ont un impact fort sur les résultats des simulations numériques. Permettant de décrire le terme source, ils influencent les calculs des délais et des températures d'inflammation, des hauteurs et températures de flamme, de vitesse de propagation de flamme, de volume de fumée générés, etc.

De nombreuses unités de recherche à l'échelle nationale et internationale sont actuellement impliquées dans l'étude des incendies, de leurs propriétés et dans

l'amélioration des codes de simulation incendies. Malheureusement, très peu travaillent sur la dégradation thermique des matériaux solides. Ces équipes ont, pour la plupart des cas, recourt à des lois simplistes et approximatives pour décrire ce phénomène physique. Dans ces modèles, les aspects mécaniques et thermiques des incendies sont privilégiés tandis que les aspects chimiques sont négligés ou traités de manière simpliste (réaction globale, cinétique à 1 ou 2 étapes). Cela pose un certain nombre de problèmes, notamment du fait que 90 % des décès lors d'un incendie sont liés à l'inhalation de gaz toxiques, tandis que cette approche ne permet pas de connaître la formation des polluants donc des espèces toxiques. Il apparaît alors que les aspects chimiques sont sous-estimés.

Actuellement, de nombreux combustibles fréquemment utilisés en matériaux de construction et d'ameublement n'ont pas été étudiés. Cela génère un fort manque pour la mise en place des simulations numériques : données inexistantes, incomplètes ou imprécises.

Au vu de ces différents points, il apparaît ainsi indispensable d'améliorer les connaissances actuelles des processus physiques et chimiques de la dégradation thermique des matériaux, notamment ceux rencontrés au sein des matériaux de construction de l'habitat et de l'ameublement. C'est un des enjeux de ce programme.

L'objectif du projet est de caractériser au mieux les feux domestiques en terme de dégagement de chaleur, mais aussi d'espèces gazeuses afin d'améliorer la sécurité incendie au sein des habitats par l'emploi de matériaux plus sûrs et la préconisation de solutions architecturales ainsi que d'équipements de sécurité.

Pour cela le programme, tout en tenant compte de l'évolution des caractéristiques des logements de par les évolutions des règlements thermiques (RT 2012 et maisons BBC), vise à :

- ✓ Identifier les principaux matériaux rencontrés dans l'habitat.
- ✓ Déterminer les propriétés thermiques et la réaction au feu des principaux matériaux rencontrés au sein de l'habitat.
- ✓ Tester le comportement de ces matériaux en cas de sinistre, d'un point de vue du comportement physique mais également de la toxicité des émissions gazeuses.
- ✓ Améliorer les codes de simulation numérique permettant la modélisation des scénarios de feu, notamment les modèles dits de pyrolyse.
- ✓ Simuler numériquement les logements types formant l'habitat domestique moyen afin de caractériser le développement des sinistres et d'établir une référence servant de comparaison.
- ✓ Déterminer pour chaque grande famille de logements types, des préconisations architecturales, d'équipements d'ameublements, permettant de réduire le développement du feu, favorisant l'évacuation des fumées et permettant la sauvegarde des biens et des personnes. Les résultats des simulations numériques alors réalisées seront comparés à ceux précédemment obtenus pour les logements types.

Pour répondre à cette problématique, le programme de recherche « *Réduction des risques incendie dans l'habitat* » a été divisé en deux grandes parties :

- ✓ Partie A : étude statistique et caractérisation expérimentale de la dégradation thermique.
- ✓ Partie B : étude numérique et développement d'un guide méthodologique.

La partie A du projet a permis pour les principaux matériaux rencontrés dans les logements types, de déterminer leurs propriétés d'inflammabilité, de combustibilité ainsi que leur toxicité mais également de développer et de valider des modèles de pyrolyse pertinents et performants. L'étude a été menée sur cinq produits : une mousse polyuréthane (PU), un polyméthacrylate de méthyle (PMMA), deux contreplaqués en bois et un bois résineux (sapin). Ces résultats sont présentés dans un rapport de synthèse remis à la Fondation MAIF [1]. La partie A du programme de recherche s'est caractérisée par trois grandes avancées :

- ✓ Premièrement, l'analyse de statistiques d'incendies a permis de préparer les scénarios à étudier dans les travaux ultérieurs.
- ✓ Deuxièmement, la méthodologie développée et les outils logiciels mis en œuvre se sont montrés robustes pour déterminer les paramètres cinétiques caractérisant la décomposition des matériaux en fonction de la température.
- ✓ Troisièmement, l'application de ces techniques à de nombreux matériaux permet de disposer d'une base de données représentative pour les travaux ultérieurs.

La première partie de ce programme de recherche (Partie A) a ainsi permis d'établir les bases techniques et les données d'entrée nécessaires à la poursuite des travaux.

Sur la base des scénarios retenus, la seconde partie (partie B) permet d'appliquer les techniques de l'Ingénierie de la Sécurité Incendie à des configurations d'habitation. Les données et modèles obtenus dans la partie A du projet, ont été incorporés au sein d'un code de calcul *Fire Dynamics Simulator* (FDS). Cet outil numérique utilise une approche de type Large Eddy Simulation permettant un traitement innovant de la mécanique des fluides et une bonne description des champs de vitesse et des écoulements (entraînements d'air, flux induits...).

Le caractère innovant de cette partie du projet repose scientifiquement sur différents aspects :

- ✓ L'incorporation au sein de FDS d'un modèle de pyrolyse plus complet et plus performant que l'actuel, à travers une cinétique de dégradation à plusieurs étapes et l'introduction de nouveaux matériaux. Actuellement, la librairie de FDS est très limitée.
- ✓ L'étude et la prise en compte de chaque étape d'un incendie : allumage, inflammation, progression, grossissement du feu, combustion établie, vitesse de propagation du front de flamme, vitesse de perte de masse...

Cette partie B est également innovante d'un point de vue de ses apports de connaissances et de ses retombées :

- ✓ En effet, tandis que le code de la construction ne génère que très peu d'obligations concernant la sécurité incendie, un nombre très limité de travaux a été consacré par le passé à l'étude des incendies au sein des habitats domestiques.

- ✓ De plus, ce projet vise à l'identification et à la préconisation de solutions sécuritaires aussi bien concernant les choix architecturaux que les produits d'ameublements. Il conduit ainsi à une vision globale de mesures de prévention et de protection.

A partir de cette étude, les solutions adéquates conduisant à une baisse de la sinistralité et de la victimologie ont été identifiées et ont conduit à la réalisation d'un guide « préventif » de bonnes pratiques et d'un démonstrateur numérique.

Le présent rapport synthétise les résultats et conclusions obtenus au cours de la partie B du projet.

1 MODELISATION ET VALIDATION A PETITE ECHELLE

La modélisation du développement d'un incendie au sein d'une habitation est relativement délicate et nécessite le recours à une approche multi-échelle à complexité et échelle croissante.

L'expérience montre que cette extrapolation de l'échelle « matière » à l'échelle réelle d'une habitation pose de nombreux problèmes sans passer au préalable par des étapes intermédiaires. En effet, il apparaît très difficile d'extrapoler les résultats obtenus à l'échelle matière à des scénarios d'incendie faisant intervenir diverses sollicitations et interactions qui sont mises en jeu lors d'incendies. De plus, certains aspects ne sont pas pris en compte, comme l'effet de joint rencontré lors de l'utilisation réelle des matériaux ou l'interaction entre matériaux.

Afin de remédier à ces problèmes, il est nécessaire de travailler et d'étudier la combustion des matériaux solides à l'échelle du « produit ». Cette approche permet alors une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu au sein de feux réels et d'apporter un regard macroscopique à nos données, avant une application à échelle réelle. Cette étape de travail n'est pas alors qu'une simple substitution mais elle permet de valider par augmentation successive de taille, les constantes cinétiques déterminées.

L'objectif de cette phase du projet consiste à modéliser numériquement les essais à petite échelle réalisés dans la partie A du projet. Pour ce faire, l'étude a été réalisée en 2 étapes :

- ✓ L'implémentation des constantes cinétiques préalablement déterminées à l'aide du modèle des algorithmes génétiques au sein du modèle de pyrolyse de FDS. Cette partie a permis de caler et de valider les données, puis de passer de l'échelle « matière » à l'échelle « produit ».
- ✓ La modélisation à l'échelle « produit » de la combustion des solides étudiés pour des cas types de sinistre. Les résultats obtenus lors de cette étude numérique ont été comparés aux essais réalisés à moyenne échelle, à l'aide du cône calorimètre intermédiaire.

L'utilisation du code de calcul FDS permet une optimisation et une validation des paramètres cinétiques déduits à l'échelle matière, notamment en tenant compte du flux d'énergie libérée et de la vitesse de propagation de flamme, paramètres non pris en compte à l'échelle matière.

L'analyse a ainsi été menée sur les différents produits caractérisés dans la partie A du projet à savoir : une mousse polyuréthane (PU), un polyméthacrylate de méthyle (PMMA), deux contreplaqués en bois et un bois résineux (sapin).

Des exemples de résultats sont illustrés sur la Figure 1.

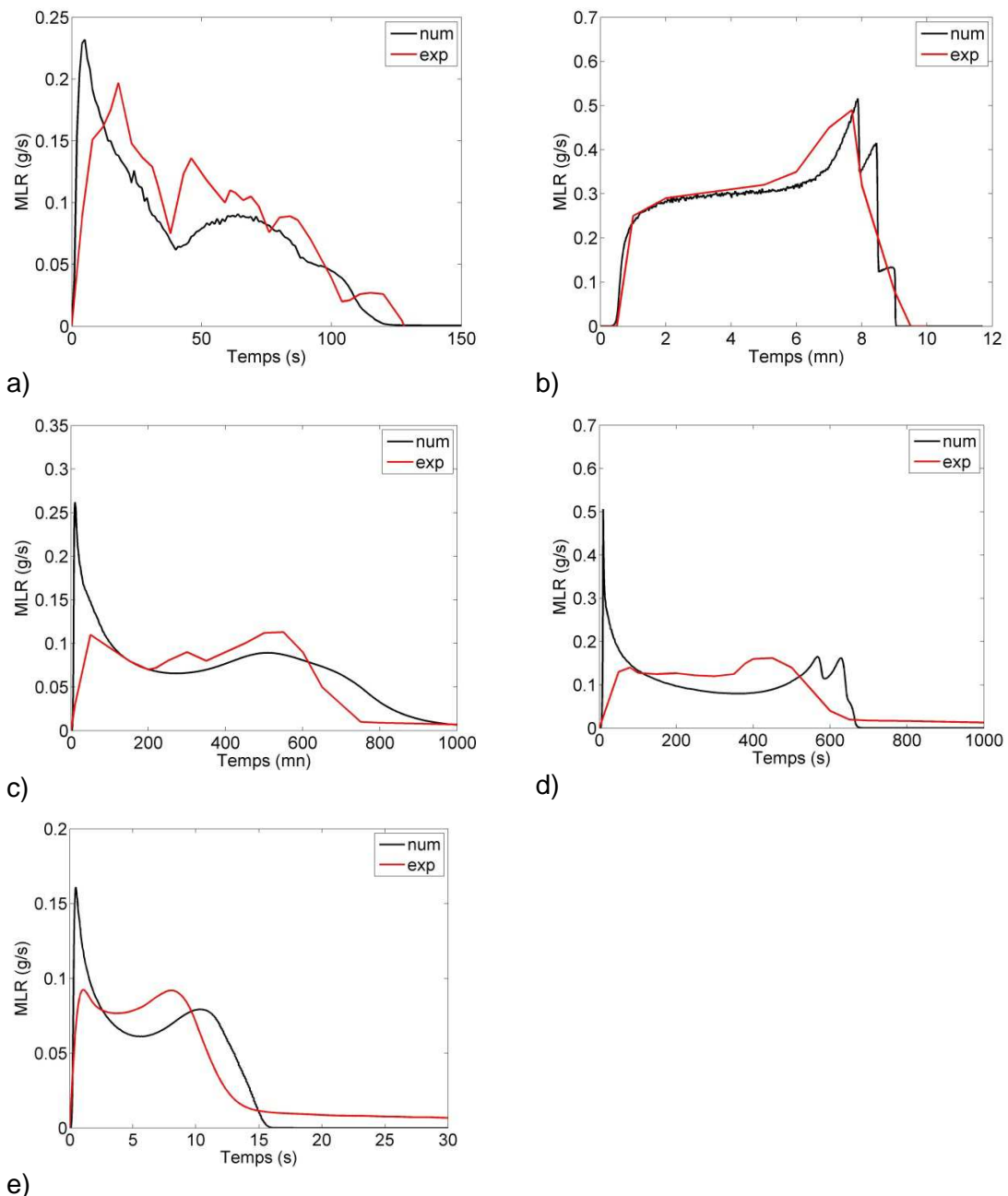


Figure 1 : Comparaison entre les prédictions numériques et les résultats expérimentaux obtenus à petite échelle. Evolution de la vitesse de perte de masse. A) Mousse PU pour un éclairement énergétique de 50 kW/m^2 b) PMMA à 60 kW/m^2 c) bois Contreplaqué à 60 kW/m^2 M1 d) bois Contreplaqué M3 à 50 kW/m^2 et e) Sapin à 50 kW/m^2

Les résultats numériques obtenus à l'échelle du produit paraissent, dans l'ensemble, acceptables pour le type d'application faite avec ce genre d'outil numérique, i.e., des simulations destinées à avoir une vision plutôt globale des problèmes à grande échelle en un temps raisonnable. A l'issue de cette analyse, il ressort que les modèles de pyrolyse définis à l'échelle de la matière doivent parfois nécessiter quelques modifications pour prédire le comportement au feu des produits à l'échelle matériau.

En émettant des hypothèses simplificatrices, les mécanismes réactionnels et les propriétés définis dans la partie A du projet pour les différents produits sont capables de prédire les bilans d'énergie et de masses mesurés expérimentalement, indépendamment de l'éclairement énergétique. L'erreur induite, résulte des différentes hypothèses formulées par le code de calcul FDS.

Il est important de souligner que ces matériaux étudiés se situent à la limite des capacités des codes de calcul actuels.

Ces validations ont démontré les capacités de l'outil numérique pour prédire avec plus ou moins de précision la réaction au feu de produits complexes. Ces prédictions numériques permettent de valider les modèles obtenus à l'échelle de la matière.

2 MODELISATION A GRANDE ECHELLE

L'étude à grande échelle a permis d'évaluer la capacité du code de calcul à prédire le développement du feu au sein d'un démonstrateur, en se basant principalement sur les données matériaux validées à petite échelle. L'intérêt est ici de confronter nos simulations à des essais expérimentaux réalisés à grande échelle par le LNE (dans le cadre d'un autre projet).

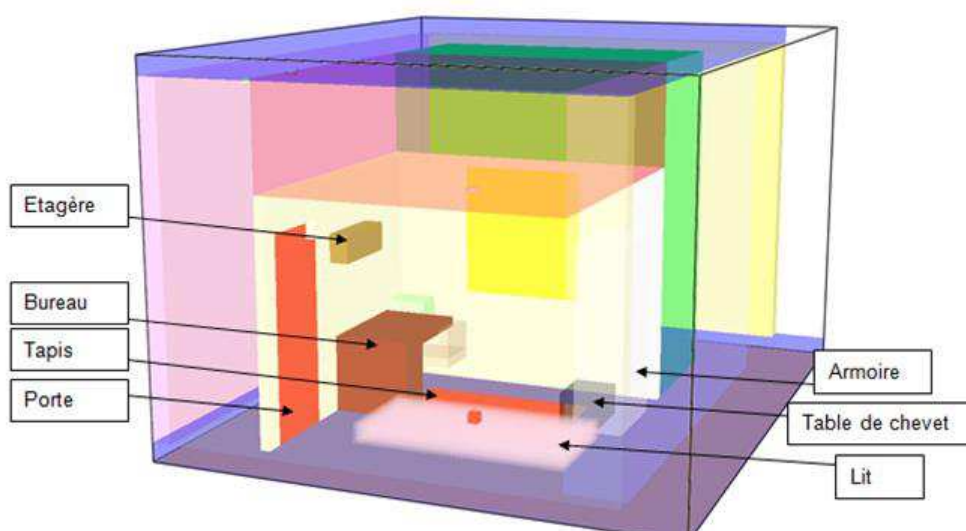


Figure 2 : Représentation numérique du démonstrateur à grande échelle

Cette partie du projet a été l'occasion d'étudier et de modéliser la croissance du feu à l'échelle d'un démonstrateur. Soulignons que l'étude ne recherchait pas à évaluer les risques sur les personnes.

Des exemples de résultats sont présentés sur la Figure 3 et la Figure 4

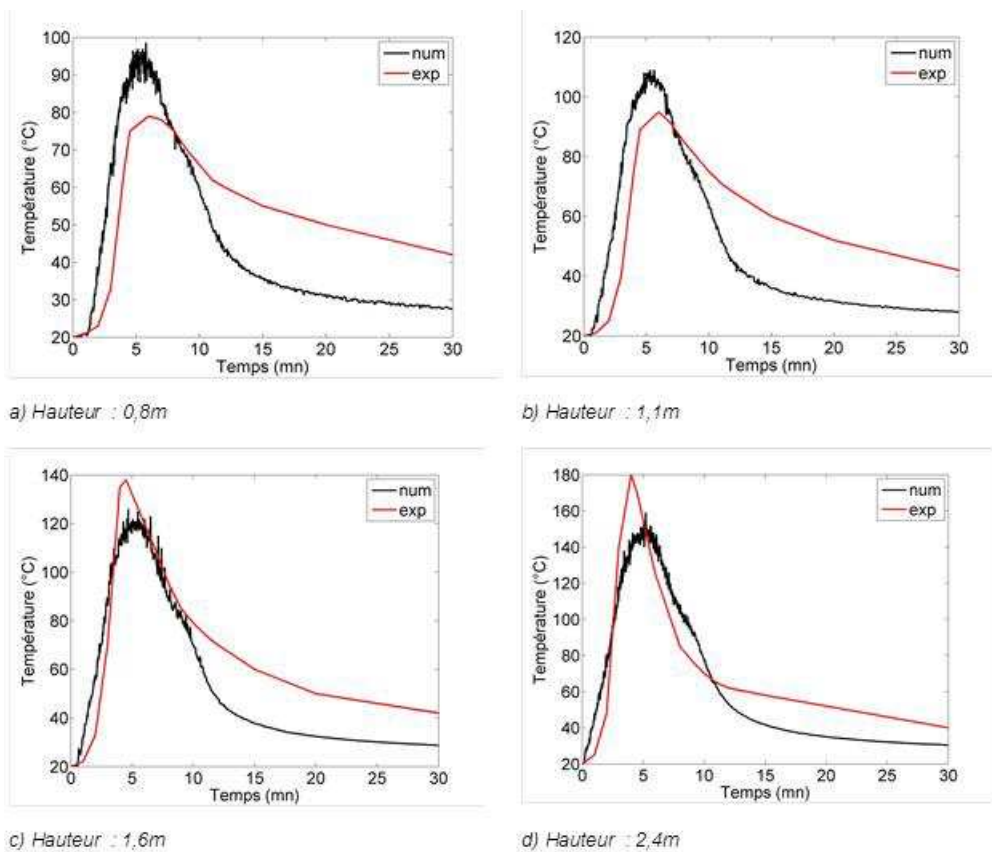


Figure 3 : Comparaison entre les prédictions numériques et les résultats expérimentaux obtenus à l'échelle du démonstrateur. Evolution des températures à différentes hauteurs

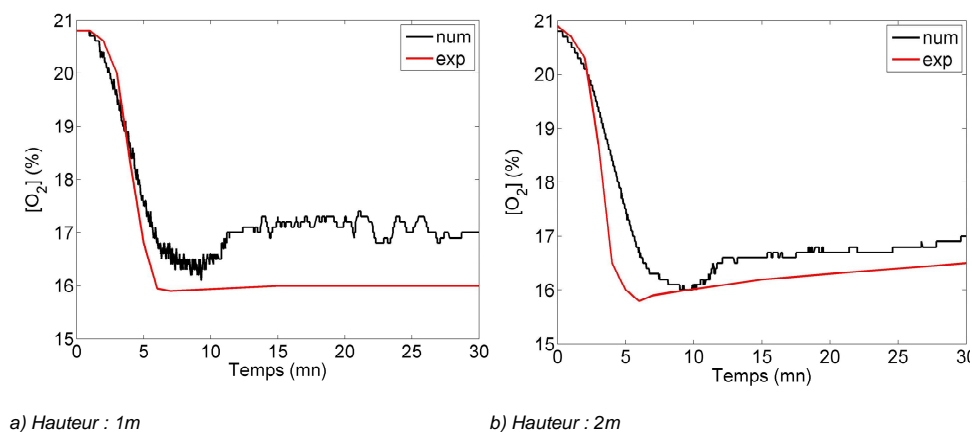


Figure 4 : Comparaison entre les prédictions numériques et les résultats expérimentaux obtenus à l'échelle du démonstrateur. Evolution de la concentration d'oxygène à différentes hauteurs

L'outil numérique a pu être exploité afin de mettre en évidence la capacité des codes à prédire le développement de l'incendie en milieu confiné sous ventilé. Ce type de feu est couramment rencontré dans l'habitat. Bien que le code ne reproduise pas finement les cinétiques, il permet de prédire les principales tendances qualitatives

observées expérimentalement. Les résultats numériques mettent en évidence les principales difficultés liées à la modélisation de la production des gaz de combustion. En effet, les modèles implémentés au sein du code FDS sont trop simplistes pour prédire avec précision ces phénomènes physiques.

Dans l'ensemble, les simulations numériques montrent que la détermination précise du taux de réaction d'un feu situé dans un milieu confiné constitue un problème très complexe. Même en supposant que l'on connaisse suffisamment les mécanismes les plus influents au cours de la combustion d'un solide, la simulation numérique détaillée du phénomène reste encore délicate, même avec la puissance informatique actuellement disponible.

Pour autant, les résultats obtenus sont encourageants, d'autant plus que le cas d'application se situe dans les limites actuelles du code de calcul (et des connaissances actuelles de la communauté scientifique).

Cette validation finale permet donc d'affirmer que les informations recueillies à petite échelle sont suffisantes pour prédire le développement d'un feu à grande échelle. Pour l'heure, on peut juger que les données implémentées dans le code de calcul permettent de prédire de manière acceptable le déroulement d'un feu dans des conditions sous ventilées, en particulier pendant sa phase de croissance. Cette approche sera suffisamment "sécuritaire" vis-à-vis des scénarii d'incendie dans une étude ingénierie de la sécurité incendie car elle a tendance à surévaluer les risques liés au feu.

3 SCENARII INCENDIE

L'Institut Pprime et le LNE ont étudié différentes configurations de bâtiments d'habitation, en s'inspirant d'accidents passés. Leurs démarches sont basées sur celles de l'Ingénierie Sécurité Incendie, à partir de cas tests de référence d'habitations rencontrées par la MAIF comme :

- ✓ Scénario A : Maison récente de 80 m²
- ✓ Scénario B : Maison récente de 100 m²
- ✓ Scénario C : Maison ancienne de 80 m² (similaire au scénario A mais système de ventilation et isolation différents)
- ✓ Scénario D : Appartement récent de 30 m²
- ✓ Scénario E : Appartement récent de 80 m²

Pour réaliser cette étude, il a été admis que :

- ✓ Dans le cas des maisons (scénarios A, B et C), les zones adjacentes (combles, toiture, cave, etc.) et milieux extérieurs ne sont pas modélisés.
- ✓ Dans le cas des appartements, les parties communes et appartements des tiers ne sont pas considérés.
- ✓ Les différents scénarios ont été définis à partir de l'analyse de risque réalisée dans la partie A du projet.
- ✓ Le départ de feu se situe à l'intérieur des logements étudiés.
- ✓ La position des foyers primaires a été définie de sorte à avoir un impact sur le temps de détection des détecteurs des fumées (DAAF) et le cheminement d'évacuation des personnes.
- ✓ Les mobiliers ont été choisis et modélisés dans l'esprit des habitations actuelles. Pour simplifier le problème, le mobilier est identique dans chaque chambre. Les éléments décoratifs, les appareils électriques (électroménager, TV, etc.) et les circuits d'alimentation (prises de courant, câbles, etc.) ne sont pas considérés dans cette étude.
- ✓ Les surfaces réelles de fuite sont modélisées à l'aide d'une surface apparente définie selon le scénario.
- ✓ Le bris de vitre et les ouvertures de porte sont définis en fonction des scénarios. Ces éléments sont modélisés suivant un volume ouvert ou totalement fermé.
- ✓ Les caractéristiques des matériaux combustibles utilisés sont issues du Livrable A - (Partie B) et correspondent à différents produits couramment rencontrés au sein des logements Français (étude statistique) [1] et concernés par les incendies. Ces matériaux ne sont pas ignifugés. En somme, ces produits sont moins sécuritaires.
- ✓ L'isolation des bâtiments a été définie pour respecter la réglementation thermique en fonction de la date de construction du logement. Ainsi, les scénarios (1, 2, 4 et 5) se basent sur les prescriptions de la RT2012 dont l'objectif est de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWhEP/(m².an) en moyenne. L'isolation utilisée pour le scénario 3 est représentative de celle mise en place dans une maison ancienne des années 1980. Dans ce cas de figure, les épaisseurs et les caractéristiques associées sont différentes.
- ✓ L'impact des conditions environnementales est négligé (température, hygrométrie et pression atmosphérique sont supposées constantes). Les

conséquences du vent, de la pluie et/ou de la neige ne sont pas prises en compte.

Dans l'ensemble, les résultats numériques obtenus lors de cette phase de l'étude mettent en évidence que le développement du feu dépend fortement :

- ✓ Des hypothèses des scénarios.
- ✓ Des hypothèses associées au foyer (cinétique, localisation, etc.).
- ✓ De la ventilation (porte ouverte, aération, absence de bris de vitre, etc.).
- ✓ Des mobiliers à proximité du foyer et de leurs localisations.
- ✓ Des hypothèses liées à la nature des produits combustibles.
- ✓ Des limites de l'outil numérique utilisé.

De manière générale, les simulations ont démontré que le développement de l'incendie dépend fortement de sa localisation, de la présence de mobiliers à proximité et, plus particulièrement, des conditions de ventilation internes et externes (ex : taille des ouvertures). Ainsi :

- ✓ Dans le cas d'un milieu « clos » (c.-à-d. portes et fenêtres fermées durant toute l'évacuation), le feu est limité par la quantité d'oxygène disponible au sein du volume. Ce scénario aboutit à une production importante de fumées et de gaz toxiques jusqu'à son extinction. Dans ce cas de figure, les mobiliers et la structure ne sont que légèrement impactés et les dégradations sont localisées à proximité du foyer.
- ✓ Dans le cas d'un milieu « ouvert » (c.-à-d. portes ou fenêtres ouvertes vers l'extérieur à proximité du foyer) et « semi-ouvert » (bris de fenêtre et petite ouverture vers l'extérieur à proximité du foyer), le développement du foyer est dépendant de la taille des ouvertures sur l'extérieur. Dans ce cas de figure, les risques de développement et de généralisation du feu à l'ensemble des mobiliers sont très importants. Ce type de scénario conduit à une destruction importante des biens et à un endommagement significatif de la structure.

Au regard des résultats, les conditions de ventilation (l'apport d'oxygène) apparaissent comme le facteur prédominant au développement de l'incendie. La ventilation dépend principalement des critères associés au bris de vitre ou à l'ouverture de porte, à un instant particulier.

De plus, les simulations ne prennent pas en compte la tenue structurelle du bâtiment (ex : percement, effondrement, etc.) et qui peut affecter de façon non négligeable le développement du feu et sa généralisation à l'ensemble du bâtiment, ainsi que l'évacuation des occupants et l'intervention des secours.

Par ailleurs, les analyses menées sur les différentes configurations d'habitation mettent en évidence que :

- ✓ Les débits d'air apportés par les équipements (CTA + VMC) sont trop faibles pour contribuer à accroître la puissance du feu. Toutefois, ils peuvent orienter l'écoulement des fumées et le transport de certaines espèces toxiques. Des analyses plus approfondies sur le sujet semblent nécessaires pour confirmer ces observations.
- ✓ Les isolants quant à eux réduisent les pertes de chaleur au niveau de l'enveloppe du bâtiment et ont donc pour effets de contribuer à l'augmentation

des températures des gaz au sein du milieu. Une sur-isolation des cloisons et de l'enveloppe du bâtiment peut donc favoriser le développement du feu.

- ✓ Le développement du feu dépend fortement de la présence de combustible à proximité directe du terme source.
- ✓ Enfin, la configuration (position des murs et disposition et taille des ouvertures) et les caractéristiques des parois ont un impact sur l'écoulement. Ils limitent la taille des panaches, perturbent l'écoulement gazeux issu du foyer, refroidissent les gaz chauds et affectent le niveau de turbulence.

Concernant les critères d'évacuation, les études se sont portées sur les 3 principaux critères de performance associés aux objectifs de sécurité, généralement utilisés dans les études de l'Ingénierie de la Sécurité Incendie (ISI) et pour des applications type Etablissement Recevant du public (ERP) ou Immeuble de Grande Hauteur (IGH).

L'analyse menée sur ces paramètres démontre que :

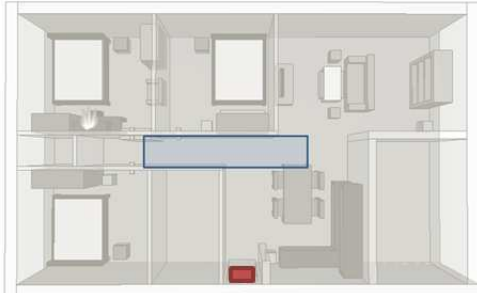
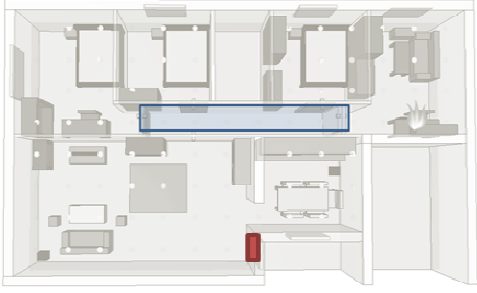
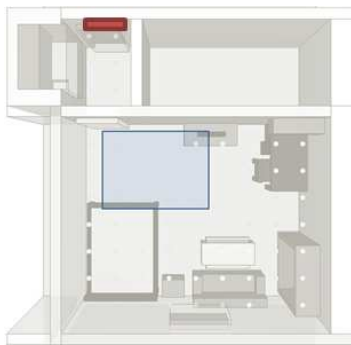
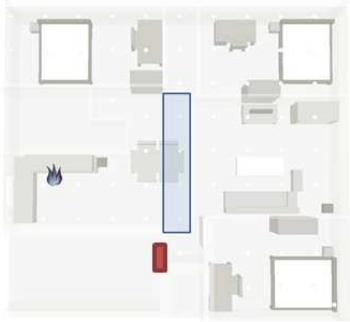
- ✓ La température apparaît comme le principal critère pouvant impacter très rapidement l'évacuation des personnes.
- ✓ Le flux radiatif affecte les individus plus tardivement.
- ✓ Le critère de visibilité ne semble pas pertinent. En effet, les distances à parcourir pour évacuer sont courtes et les locaux sont supposés être connus des habitants.

D'après cette étude, le risque de développement du feu peut-être réduit :

- ✓ En préconisant l'utilisation de mobiliers ignifugés pour limiter l'inflammation des produits combustibles.
- ✓ En spécifiant les risques d'inflammabilité des mobiliers et meubles rembourrés uniquement (par exemple : en admettant un code couleur suivant le même principe que la consommation d'énergie) ou en adaptant les Euroclasses à l'habitation.
- ✓ En sensibilisant les occupants aux risques incendie et aux bonnes pratiques à suivre (ex : évacuer et fermer les ouvertures).
- ✓ En adaptant le positionnement des DAAF aux risques potentiels ou en augmentant leur nombre.
- ✓ En employant des systèmes de détections complémentaires aux DAAF (par exemple les détecteurs de CO).
- ✓ En encourageant la présence de systèmes d'extinction adaptés (extincteur, sprinkler par exemple).

En complément de la phase d'évacuation, l'étude a été réalisée pour évaluer l'impact des temps de détection des DAAF en fonction de leur positionnement dans différents types de logement. Une répartition uniforme des détecteurs (tous les 1 m² ou 0,5 m²) a ainsi été modélisée afin de définir des zones de positionnement à privilégier en fonction des hypothèses et des configurations des logements. Cette méthodologie permet ainsi de réaliser une cartographie des différents seuils de détection. Le tableau ci-dessous synthétise la position à privilégier afin de trouver le meilleur compromis entre le temps de détection et le temps d'atteinte des critères de tenabilité sur les chemins d'évacuation.

Tableau 1 : Zone de positionnement des DAAF à privilégier

Maison	 <p>Porte d'entrée principale</p>	 <p>Zone de positionnement des DAAF privilégiée</p>
	Scénario 1 et 3	Scénario 2
Appartement		
	Scénario 4	Scénario 5

Dans le cas des maisons individuelles, une position adaptée des détecteurs peut permettre de réduire les temps de détection et par conséquent augmenter le temps disponible pour l'évacuation. Même si le chemin principal d'évacuation (ex : porte d'entrée) est compromis, les autres ouvertures (fenêtre ou porte-fenêtre) apparaissent comme la meilleure solution pour l'évacuation. Afin de limiter les risques, une solution consisterait, pour ce type de logement, à établir un plan d'évacuation avec les cheminements principaux et secondaires de mise en sécurité.

Contrairement aux maisons individuelles (de plain-pied), les feux d'appartement (situés par exemple au niveau n+2) apparaissent comme des configurations critiques en raison des cheminements d'évacuation limités (c.-à-d. uniquement la porte d'entrée) et l'impossibilité d'évacuer par les fenêtres en l'absence de secours. Un feu à proximité de la principale sortie d'évacuation est alors critique pour les occupants. Pour ce type de logement, les temps de détection des DAAF doivent être précoces afin de s'assurer que l'évacuation puisse être réalisée par l'unique sortie. Les impacts du feu sur les personnes pourraient être réduits en :

- Positionnant la cuisine le plus loin possible de la sortie principale.
- Positionnant l'espace de nuit à proximité d'un cheminement d'évacuation et donc de la sortie principale.
- Prévoyant une sortie de secours au niveau de l'espace de nuit (escalier de secours sur le même principe que ceux mis en place aux états unis par exemple).
- Ou en familiarisant les occupants à l'évacuation.

Cette étude a ainsi servi de base à l'élaboration du guide de bonnes pratiques.

4 VALORISATION

A l'issue du projet B, une publication scientifique est en cours de réalisation. Une communication plus large à destination du grand public est également en cours de réalisation au sein du LNE.

Enfin, un guide méthodologique et un démonstrateur numérique ont été développés.

4.1 Guide de bonnes pratiques

A partir des résultats précédents et de l'identification des mesures de prévention et de protection, le projet de recherche a donné lieu à la rédaction d'un guide à destination du grand public. Ce guide [2] donne des consignes de bonnes conduites à tenir :

- Dans le choix des matériaux utilisés en construction et en ameublement.
- Dans les choix architecturaux, les plans et aménagements des logements.
- Dans l'installation d'équipements de sécurité et leur installation.
- En cas d'évacuation.

4.2 Démonstrateur numérique

4.2.1 Développement d'un outil simplifié.

Une étude préliminaire a été réalisée pour estimer de façon simplifiée le niveau de dangerosité d'une habitation. L'objectif est d'évaluer le temps d'évacuation moyen d'un logement, donné sur la base de milliers scénarii incendie. En fonction du temps moyen, un niveau de dangerosité de l'habitation à l'aide d'un code couleur (vert, jaune orange ou rouge) peut alors être estimé. L'analyse a été réalisée sur plusieurs logements représentatifs.

Compte tenu du nombre de simulations à réaliser et des puissances informatiques actuelles, ce genre d'étude ne peut pas être réalisé à l'aide du logiciel FDS. Elle se base sur l'utilisation d'outils simplifiés, tel que le modèle à zones CFAST. Cet outil permet de prédire très rapidement l'évolution des températures en fonction de la configuration de l'habitation. Pour générer automatiquement et de façon aléatoire les données de milliers de scénarii incendie, un outil a été développé spécialement pour le projet à l'aide du logiciel MATLAB. Différents configurations ont ainsi pu être étudiées. Un exemple de résultats est illustré sur la Figure 5.

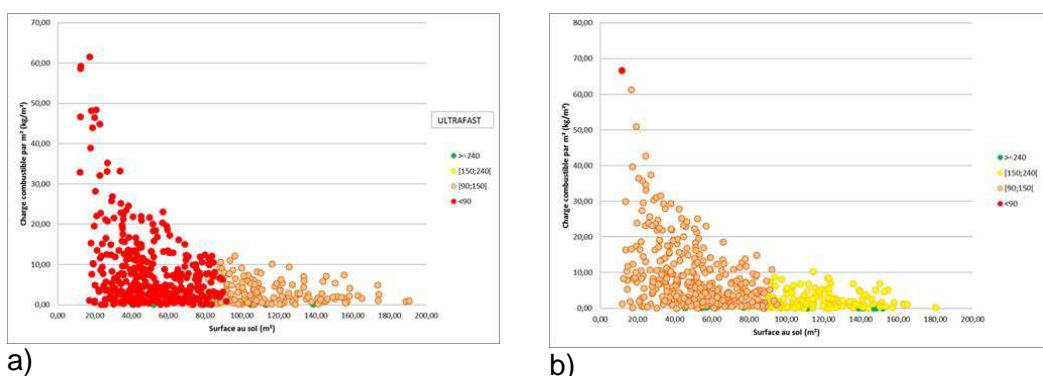


Figure 5 : Exemple d'estimation du risque au sein de l'habitat, évalué au travers de la charge combustible par m² rapportée à la surface au sol total de l'habitation. Les couleurs caractérisent le niveau de dangerosité (vert : risque réduit à rouge : risque très élevé) a) Etude pour un feu ultra rapide. b) Etude pour un feu rapide

Malheureusement les résultats numériques obtenus ne permettent pas de définir avec précision le niveau de dangerosité d'une habitation.

Compte tenu de la complexité d'interprétation, il a été décidé, en accord avec la Fondation MAIF, de réaliser un démonstrateur numérique simplifié sur la base des simulations FDS.

4.2.2 Présentation de l'outil

A partir des résultats précédents et de l'identification des mesures de prévention et de protection, le projet de recherche a donné lieu à la mise en œuvre d'un outil numérique de démonstration, en format HTML. Ce démonstrateur informatique a pour enjeu, pour chaque famille de logement, de permettre au grand public de simuler les caractéristiques de logements types et d'identifier des solutions sécuritaires vis-à-vis du risque incendie en permettant à chacun, soit :

- Pour celui possédant déjà un logement : d'identifier des règles (équipements, installations) de sécurité afin de renforcer la lutte contre ce risque.
- Pour celui rénovant ou construisant un nouveau logement : de faire un choix d'aménagement, d'identifier les solutions à mettre en œuvre.

Comme énoncé précédemment, ce démonstrateur numérique simplifié a été réalisé sur la base de simulations numériques obtenues via FDS. Une présentation de l'interface est illustrée sur la Figure 6.

Ce simulateur permet de sélectionner trois logements types et de visualiser pour différents scénarios incendie, l'impact des ouvertures et des fermetures des portes sur le développement de l'incendie. Des vidéos de développement d'incendie ont ainsi été réalisées pour présenter les résultats numériques de FDS.



Soutenir la recherche
pour prévenir les risques

Simulateur de développement de feu dans l'habitat

Principe

Visualisez les risques de développement de feu dans des habitations types à partir de la définition d'un scénario d'incendie.

Avertissement
Les vidéos ne reproduisent pas forcément la réalité. Les résultats numériques présentés dépendent fortement des hypothèses et de l'outil numérique considérés.

Support

Vidéos réalisées à l'aide d'un logiciel scientifique spécialisé dans le domaine de la sécurité incendie (Fire Dynamics Simulator Version 5.5.3 et Smokeview).

Recommandation

En savoir plus
La visualisation du fichier PDF nécessite Acrobat Reader.

Visualiser le scénario

Lecture ◀ Nouvelle sélection

Définition du scénario d'incendie

Sélectionner les caractéristiques du scénario incendie

Logement	Départ du feu	Configuration
<input type="radio"/> Aucune sélection	<input type="radio"/> Chambre	<input type="radio"/> Ouverte
<input type="radio"/> 1-2 pièce(s)	<input type="radio"/> Salon	<input type="radio"/> Fermée
<input checked="" type="radio"/> 3-4 pièce(s)	<input checked="" type="radio"/> Cuisine	<input checked="" type="radio"/> Comparaison ouverte/fermée
<input type="radio"/> 5-6 pièce(s)	<input type="radio"/> Bureau	

En collaboration avec



Accueil

Figure 6 : Démonstrateur numérique en format HTML

5 CONCLUSIONS

La partie A du programme de recherche s'est caractérisée par trois grandes avancées :

- ✓ Premièrement, l'analyse de statistiques d'incendies a permis de préparer les scénarios à étudier dans les travaux ultérieurs.
- ✓ Deuxièmement, la méthodologie développée et les outils logiciels mis en œuvre se sont montrés robustes pour déterminer les paramètres cinétiques caractérisant la décomposition des matériaux en fonction de la température.
- ✓ Troisièmement, l'application de ces techniques à de nombreux matériaux permet de disposer d'une base de données représentative pour les travaux ultérieurs.

Finalement la partie A du projet a permis d'établir les bases techniques et les données d'entrée nécessaires à la poursuite des travaux.

Dans la partie B du projet, ces données d'entrée ont été utilisées et implémentées au sein d'un code de calcul pour prédire le comportement au feu des matériaux étudiés. Cette analyse a ainsi pu mettre en évidence les capacités du code de calcul pour prédire avec précision le comportement au feu de matériaux complexes à petite échelle.

L'étude à grande échelle a ensuite été réalisée et a permis d'évaluer la capacité du code de calcul à prédire le développement du feu au sein d'un démonstrateur, en se basant principalement sur les données matériaux validées à petite échelle. Cette validation finale a permis d'affirmer que les informations recueillies à petite échelle étaient suffisantes pour prédire le développement d'un feu à grande échelle. Elle a ainsi démontré que l'approche mise en place est suffisamment "sécuritaire" vis-à-vis des scénarii d'incendie dans une étude ingénierie de la sécurité incendie car elle a tendance à surévaluer les risques liés au feu.

Enfin la dernière phase du projet s'est intéressée à étudier différentes configurations de bâtiments d'habitation, en s'inspirant d'accidents passés. La démarche est basée sur celles de l'Ingénierie Sécurité Incendie, à partir de cas tests de référence d'habitations rencontrées par la MAIF. Cette phase de l'étude a ainsi permis :

- ✓ D'améliorer les codes de simulation numérique permettant la modélisation des scénarios de feu, notamment les modèles dits de pyrolyse.
- ✓ De simuler numériquement les logements types formant l'habitat domestique moyen afin de caractériser le développement des sinistres et d'établir une référence servant de comparaison.
- ✓ De déterminer pour chaque grande famille de logements types, des préconisations architecturales, d'équipements d'ameublements, permettant de réduire le développement du feu, favorisant l'évacuation des fumées et permettant la sauvegarde des biens et des personnes.
- ✓ De définir des préconisations sur la position des détecteurs de fumées dans des logements types.

Finalement, cette étude va contribuer à disposer des connaissances nécessaires dans le cadre de l'évolution de la réglementation de sécurité incendie appliquée aux ouvrages relevant de l'article R. 111-1 du Code de la construction et de l'habitation (Arrêté interministériel du 31 janvier 1986 modifié relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation (neufs)).

A partir des résultats précédents et de l'identification des mesures de prévention et de protection, le projet de recherche a donné lieu à la mise en œuvre d'un outil numérique de démonstration en format HTML et d'un guide de bonnes pratiques sous forme de plaquette.

A l'issue de ce travail, des points particuliers nécessiteraient des investigations complémentaires :

- ✓ L'impact de l'utilisation de nouveaux matériaux de constructions (biosourcés, superisolants, etc.) sur les risques incendies.
- ✓ Comment concilier les exigences de la réglementation incendie avec la RT2012.
- ✓ La problématique de l'isolation par l'extérieur sur les risques de propagations des flammes.
- ✓ La compréhension des phénomènes de bris de vitre et la modélisation.
- ✓ L'utilisation de vitrages sécurisés pouvant limiter le bris d'une fenêtre.
- ✓ L'impact des VMC sur le transport des toxiques et les risques de propagation de flamme à d'autres pièces non exposées.
- ✓ Les risques incendies inhérents aux conduits de cheminée (mise en œuvre, surchauffe, ramonage...).
- ✓ Les problèmes associés à la propagation de feu par les façades pour les logements collectifs.
- ✓ La problématique de stockage dans les parties communes des logements collectifs.
- ✓ L'utilisation du Big data pour traiter des problématiques incendies.
- ✓ La modélisation de l'évacuation des personnes dans le cas de logements collectifs.
- ✓ L'utilisation de systèmes d'extinction pour limiter les feux dans l'habitation.
- ✓ La formation des souscripteurs à la MAIF sur les risques incendies.

REFERENCES

¹ Batiot B. Rapport final Projet Réduction des risques incendies dans l'habitat domestique – Partie A

² Marquis D et al. Rapport Livrable C -: Guide de bonne pratique, Projet réduction des risques incendies dans l'habitat Partie B. Reference C-1. 8 p. 2016