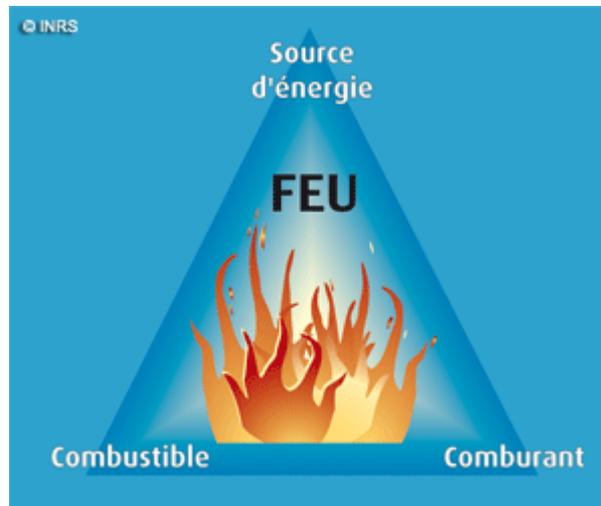


# Analyse de risque incendie sur un ERP



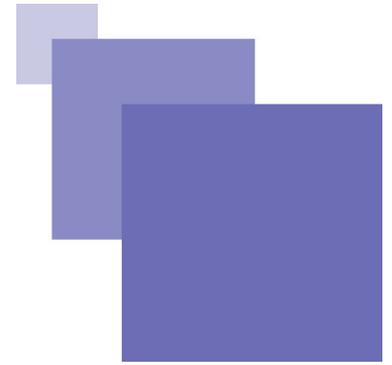
COORDONNATEUR : H. NIANDOU

AUTEUR : G. SAUCE

# Table des matières

<b>Objectifs</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>I - Analyse de risque incendie sur un ERP</b>	<b>9</b>
A. Les concepts de l'analyse de risques.....	9
B. Le système.....	13
1. L'aléa "Incendie".....	13
2. Le patrimoine : Etablissement Recevant du Public.....	19
3. Les enjeux.....	24
C. L'approche réglementaire.....	24
1. Les mesures de prévention.....	25
2. Les mesures de prévision.....	27
3. Etude de cas.....	27
D. Méthode d'analyse du risque incendie.....	39
1. Les principes de la méthode d'analyse.....	39
2. La modélisation du système "Incendie".....	63
3. Etude de cas.....	87
E. La gestion de crise.....	93
F. Le retour d'expérience.....	100
<b>Glossaire</b>	<b>103</b>

# Objectifs

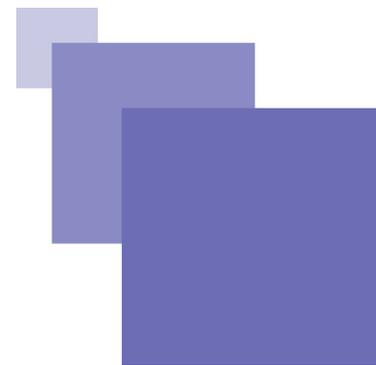


Le but de ce fil rouge est :

- de présenter une approche de prise en compte des risques dans le domaine des bâtiments,
- de mettre en parallèle une approche prescriptive (l'approche réglementaire) et une approche analytique (Ingénierie de la sécurité incendie),
- d'illustrer cette approche sur un exemple réel : un ERP universitaire.

Ce travail est basé sur le mémoire de doctorat de Julien Chorier réalisé sous la direction de Jean-Claude Mangin (Professeur des universités)

# Introduction



Vous pouvez télécharger la version polycopiée de ce module.

# Analyse de risque incendie sur un ERP

Les concepts de l'analyse de risques	9
Le système	13
L'approche réglementaire	24
Méthode d'analyse du risque incendie	39
La gestion de crise	93
Le retour d'expérience	100

Le but de ce fil rouge est :

- de présenter une approche de prise en compte des risques dans le domaine des bâtiments,
- de mettre en parallèle une approche prescriptive (l'approche réglementaire) et une approche analytique (Ingénierie de la sécurité incendie),
- d'illustrer cette approche sur un exemple réel : un ERP universitaire.

Ce travail est basé sur le mémoire de doctorat de Julien Chorier réalisé sous la direction de Jean-Claude Mangin (Professeur des universités)

« *"Diagnostic et évaluation des risques incendie d'une construction et de sa mise en sécurité"* - Thèse de doctorat Génie Civil - Julien Chorier - 8 février 2007 - Université de Savoie »

## A. Les concepts de l'analyse de risques



### Définition : Accident

Un accident est un événement ou succession d'événements imprévus ayant pour résultat une atteinte à l'intégrité physique des personnes ou des destructions de matériel (NF 71-011).

Suivant l'importance de l'incendie, on peut le qualifier d'accident majeur. Le passage d'un simple accident à un accident majeur peut tenir à peu de chose. Un départ de feu rapidement maîtrisé restera un accident, s'il se développe jusqu'à détruire entièrement un bâtiment causant la mort de plusieurs personnes, il devient un accident majeur.

Le but de l'analyse de risque est bien évidemment d'éviter la survenance de l'accident, mais surtout de proscrire l'accident majeur.



### Définition : ALARP

ALARP : ce principe utilisé pour définir un niveau de risque qui peut être

effectivement obtenu pour le système considéré et qui est acceptable par tous ceux qui peuvent être affectés par la menace sera à la base de la méthode quantitative. Effectivement la première tâche consistera à définir les objectifs que l'on se fixe. En revanche, cette notion n'est pas clairement exprimée dans l'approche réglementaire.



### Définition : L'aléa Incendie

L'aléa<sup>Ⓐ</sup> incendie peut être soit naturel<sup>Ⓐ</sup> dans le cas d'un incendie de forêt qui va attaquer un bâtiment, ou encore de la foudre qui tombera sur le bâtiment est enflammera la toiture par exemple.

Plus généralement, il s'agit d'un aléa technologique<sup>Ⓐ</sup>, déclenché par une défaillance d'un système interne, à savoir un arc électrique par exemple, la surchauffe d'un appareil, etc.



### Définition : Analyse de risque

Ce fil rouge se propose de présenter deux méthodes d'analyse de risque<sup>Ⓐ</sup> :

- Une première prescriptive basée sur l'approche réglementaire<sup>Ⓐ</sup>,
- une seconde quantitative<sup>Ⓐ</sup>, dont le but consistera à évaluer la performance du système par rapport aux objectifs (enjeux) visés.



### Définition : Danger

Le danger<sup>Ⓐ</sup> caractérise la source potentielle de dommage. Dans le cadre de cette étude, le danger semble clairement identifié : l'incendie. En fait, le phénomène est souvent plus complexe : le feu est la conséquence d'un danger primaire telle qu'une surchauffe d'un appareil électrique. Le vrai danger dans ce cas est alors l'appareil mal protégé ou l'installation électrique défaillante. C'est pour cela qu'une analyse de risque incendie s'intéresse aux sources potentielles d'incendie telles que les appareils de chauffage, les installations électriques, les produits chimiques, etc.



### Définition : Défaillance

La défaillance<sup>Ⓐ</sup> d'un équipement de sécurité est un facteur important dans une analyse de risque incendie. Il faut par exemple prévoir le cas où le système d'extinction automatique ne se déclenchera pas. C'est pour cela que cette analyse de risque repose sur plusieurs stratégies complémentaires : maîtriser le foyer, évacuer les personnes, etc.



### Définition : Dommage

Les dommages<sup>Ⓐ</sup> causés par un incendie peuvent être directs ou indirects. Par exemple Le feu a entièrement détruit le dernier étage d'un immeuble, et le ruissellement de l'eau utilisée par les services d'incendie et de secours a gravement endommagé les étages inférieurs.



### Définition : Enjeux

Les enjeux<sup>Ⓐ</sup> susceptibles de subir des dommages ou des préjudices sous l'effet d'un danger de type incendie concernent avant tout les personnes, mais ils sont aussi environnementaux, économiques et sociaux.



### Définition : Estimation des risques

Cette étape d'estimation des risques<sup>Ⓐ</sup> intervient dès l'identification des risques et vise à quantifier le système étudié, notamment les probabilités associées au départ de feu, à son intensité, puis celles associées aux conséquences de l'incendie. Par exemple dans le cas de la méthode quantitative présentée, la probabilité associée

au nombre de décès correspondant à un scénario de départ de feu sera estimée.



### Définition : Evaluation du risque

Dans le cas de la méthode proposée, chaque scénario de départ de feu donnera comme résultat la gravité des dégâts en terme de probabilité (tant de morts dans tel local avec une probabilité  $p$ ). L'étape d'évaluation du risque<sup>3</sup> consiste à analyser globalement tous ces scénarios pour en sortir une vision globale du risque incendie dans ce bâtiment. Cette évaluation permettra de proposer un plan d'actions afin d'aller vers une meilleure maîtrise des risques.



### Définition : Facteurs de risques

Globalement, les facteurs de risques<sup>3</sup> sont intégrés dans le modèle qui décrit le système étudié. Par exemple le système bâtiment sera modélisé à travers ses différents composants qui interviennent soit comme facteur aggravant (par exemple la contribution des matériaux au développement de l'incendie) ou comme facteur limitant (le système d'extinction automatique).



### Définition : Facteurs humains

La méthode quantitative exposée propose une prise en compte des facteurs humains<sup>3</sup> à travers la modélisation du comportement des occupants, des services de surveillance, et de l'intervention des secours. Bien sûr, il y a une grande incertitude quant aux probabilités attachées à ces comportements, mais justement, la méthode permettra d'en étudier l'impact sur la gravité des conséquences. En conséquence, l'analyse peut conduire à proposer des actions qui ne sont pas du tout technique mais qui concernent, par exemple, la formation des services de surveillance afin d'en augmenter l'efficacité.



### Définition : Fréquence

Ce concept de fréquence<sup>3</sup> est à la base de la méthode quantitative (méthode de Monte Carlo) qui propose comme résultat la fréquence d'apparition d'un événement par rapport à un très grand nombre de tirages, c'est à dire d'histoire de déroulement du scénario.



### Définition : Gestion du risque

La boucle complète de la gestion des risques<sup>3</sup> est développée dans cet exemple, depuis l'identification du risque jusqu'à l'optimisation du plan d'actions.



### Définition : Gravité

C'est l'objet de la méthode quantitative exposée que d'évaluer la gravité<sup>3</sup> d'un incendie, c'est à dire l'importance de ses conséquences. Notons que l'approche réglementaire ne permet absolument pas de quantifier la gravité d'un incendie, et de fait ne donne pas d'élément concret pour une gestion du risque incendie.



### Définition : Identification des risques

Dans l'exemple proposé, le travail d'identification du risque<sup>3</sup> est à moitié réalisé : un incendie.

Pour ce qui concerne l'approche réglementaire, cela suffit, car les préconisations qui en découlent intègrent implicitement les causes de départ de feu.

Par opposition, la méthode quantitative nécessite une analyse complémentaire pour identifier les causes et la localisation des départs de feu et donc pouvoir identifier complètement ce risque.



### Définition : Impact

L'impact<sup>☞</sup> de l'incendie se mesure par rapport aux enjeux que sont la perte de vie humaine, la perte de bien, l'arrêt d'activité et les conséquences sur l'environnement. L'approche réglementaire ne permet d'évaluer l'impact d'un incendie.



### Définition : Intensité

L'intensité<sup>☞</sup> de l'incendie est un facteur très important pour la quantification des conséquences. Le modèle quantitatif propose une représentation de l'incendie à travers trois variables qui qualifient son intensité (la température, les fumées et la localisation dans le bâtiment)



### Définition : Maîtrise des risques

La maîtrise des risques<sup>☞</sup> qui traduit la finalité de la mise en place d'une gestion des risques, n'est pas développée dans cet exemple.



### Définition : Parade

L'objet de l'approche réglementaire consiste à mettre en place des parades<sup>☞</sup> prédéfinies qui limiteront les risques d'incendie, soit en diminuant la probabilité d'occurrence de l'aléa (départ de feu), soit en limitant les risques de propagation (cloisonnement, moyens d'extinction), en limitant la gravité de l'enjeu sur les vies humaines (détection, alerte, évacuation).

L'approche quantitative de l'ingénierie de la sécurité incendie vise à quantifier l'efficacité de parades adaptées à des objectifs sur les enjeux que l'on se fixe.



### Définition : Prévention

La prévention<sup>☞</sup> est à la base de la réduction du risque incendie. La réglementation ERP propose des mesures passives pour éviter la survenue d'un incendie et en limiter sa propagation.



### Définition : Probabilité

Les probabilités<sup>☞</sup> sont à la base de l'analyse de risque. Elles sont cependant absentes lorsque l'on applique la réglementation.

En revanche, elles constituent un élément essentiel de l'approche quantitative. A chaque composant du système est associée une fonction de distribution,<sup>☞</sup> par exemple la résistance d'une porte Coupe Feu (CF) 2 heures peut faire l'objet d'une distribution gaussienne, qui tient compte du fait que la porte pourrait très bien ne résister qu'une heure et demi avec une probabilité de 0,02, mais aussi résister 3h avec une probabilité de 0,05.



### Définition : Réduction des risques

La réduction des risques<sup>☞</sup> est l'objectif premier de l'approche réglementaire ou de l'ingénierie de la sécurité incendie. Il s'agit de définir et de mettre en place des moyens qui permettront de réduire les risques, c'est à dire de préserver la vie des personnes, mais aussi de limiter les conséquences sur la perte des biens, la perte d'activité ou encore la préservation de l'environnement.



### Définition : Retour d'expérience

Le retour d'expérience<sup>☞</sup> constitue un élément clef dans l'approche réglementaire pour la limitation du risque incendie. Toutes les mesures imposées par la réglementation découlent assez directement des enseignements tirés de catastrophes passées



### Définition : Risque

Généralement le risque<sup>☹</sup> incendie est plutôt classé dans les risques technologiques<sup>☹</sup>, mais il peut aussi dans certains cas particuliers être considéré comme un risque naturel<sup>☹</sup>, par exemple, lorsqu'il survient à la suite d'un incendie de forêt.



### Définition : Scénario

L'approche quantitative repose sur des scénarios<sup>☹</sup> de départ de feu.



### Définition : Simulation de Monte-Carlo

La méthode de simulation de Monte-Carlo<sup>☹</sup> sera utilisée pour évaluer la probabilité de survenance de certains événements redoutés (mort d'un individu par exemple) pour un scénario donné de départ de feu. Chaque scénario sera joué un grand nombre de fois (plusieurs centaines de milliers) en tirant au hasard le comportement de chacun des sous systèmes en fonction des densités de probabilité associées (porte ouverte ou fermée, durée de résistance au feu de la structure, etc.). Chaque tirage conduira donc à une histoire unique et possible.



### Définition : Système

L'approche systémique est particulièrement adaptée à l'analyse de risque. C'est en tout cas celle retenue pour la méthode quantitative. Le système<sup>☹</sup> bâtiment sera décomposé en sous-systèmes en interaction (le système structurel, le système de détection, le système de secours, etc.), chacun pouvant avoir un comportement indépendant.



### Définition : Sécurité

Le mot est à la base de l'analyse du risque incendie : on parle communément de sécurité<sup>☹</sup> incendie.



### Définition : Vulnérabilité

La vulnérabilité<sup>☹</sup> des ERP vis à vis des incendies est une notion importante voire essentielle pour la gestion du risque incendie, mais elle n'est absolument pas utilisée pour qualifier le niveau de risque encouru dans un ERP.

## B. Le système

### 1. L'aléa "Incendie"

#### a) Approche phénoménologique

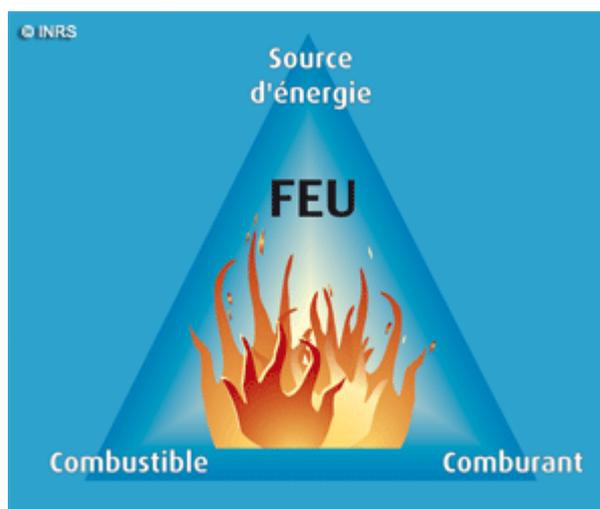
L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps ni dans l'espace. La combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, nécessitant une source d'énergie pour être initiée. Pour que « ça brûle », il faut donc du combustible, du comburant et une source d'énergie. C'est ce que l'on appelle le « triangle du feu ». Il s'agit d'un symbole souvent utilisé pour afficher les liens, nécessaires au feu, entre combustible, oxydant, et chaleur. Nous allons le rappeler et le commenter.

La figure suivante présente les trois sommets de ce triangle de Feu qui expriment les trois conditions à réunir simultanément pour qu'une combustion ait lieu :

- la « chaleur » (ou source d'énergie),
- le « combustible »,
- l'oxydant contenu dans « l'air » (ou comburant).

Les côtés sont des arcs biorientés. L'intérêt principal de ce schéma est de rappeler que le feu fonctionne si :

- Combustible et air sont présents et se rencontrent. L'arc entre « air » et « chaleur » comme celui entre « combustible » et « chaleur » rappellent ces conditions nécessaires au feu ;
- De la chaleur est produite ; une partie de la chaleur est retournée à un combustible condensé pour le transformer en gaz (pyrolyse et/ou vaporisation) réagissant avec l'oxygène dans une flamme (c'est la flèche : « chaleur » vers « combustible ») ;



*Triangle de Feu (INRS)*

Si l'on supprime « combustible » ou « air » (en bloquant des arrivées d'air), le feu cesse. Il en va de même si l'on refroidit le système (par exemple par arrosage). Si l'on empêche le rapprochement de l'air et du combustible gazeux en « fermant » les frontières de production de ce dernier par une couche imperméable (ce qui est un des modes d'action de produits ignifuges ou de produits d'extinction), le feu cesse également.

Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas le combustible qui brûle, mais les gaz qu'il dégage (gaz de pyrolyse). Par exemple, le feu consume une bûche de bois en brûlant petit à petit les gaz qu'il contient, vaporisés par l'échauffement de celui-ci. En règle générale, le feu chauffe le combustible, augmente sa température, donc augmente la quantité de gaz qui s'enflamme, etc. Ainsi, le combustible entretient sa combustion.

La propagation du feu peut se présenter sous trois formes : conduction, convection, rayonnement :

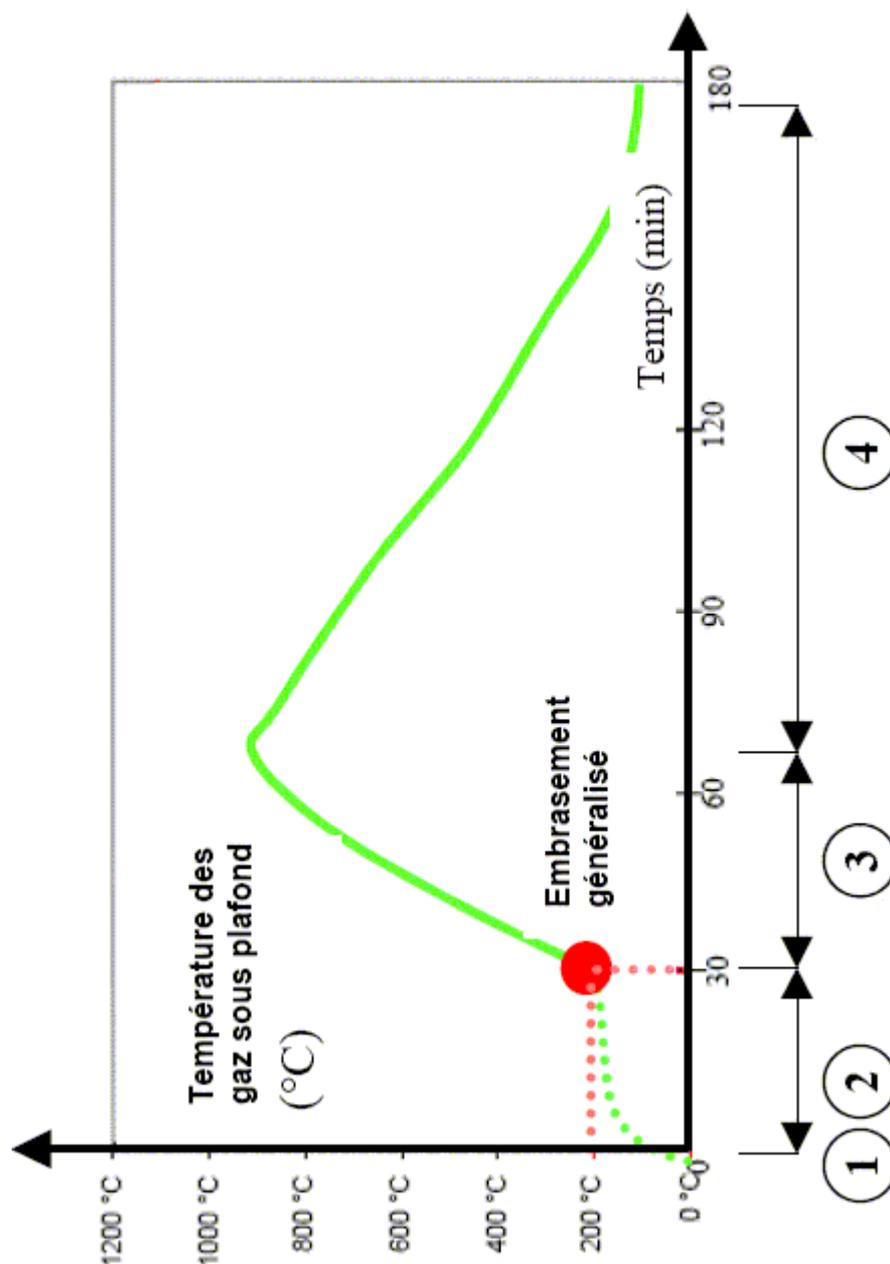
- La conduction : La chaleur se transmet le long d'un objet (une barre de métal par exemple) jusqu'à ce que sa température réussisse à enflammer un gaz situé loin de la source de chaleur.
- La convection : La chaleur émise par le foyer chauffe les gaz froids (air par exemple) qui deviennent plus légers. Chauds, cet air plus léger que l'air froid, a tendance à monter, remplacé par du nouvel air froid, et peut ainsi enflammer un gaz situé en hauteur par rapport à la flamme.
- Le rayonnement : La chaleur est en fait une onde électromagnétique appelée infrarouge. Cette onde peut mettre le feu, à distance, à un gaz situé

loin de la source de chaleur.

## b) Déroulement d'un incendie

Un incendie se développe en plusieurs phases au cours desquelles la température des gaz sous plafond va s'élever. En fonction de la puissance du foyer initial, de son environnement, il va s'étendre plus ou moins et finalement décliner.

Les quatre phases sont présentées dans le schéma suivant :



*Les phases du déroulement d'un incendie (J. Chorier)*

1. Éclosion  
La rencontre des éléments du triangle du feu, comme nous l'avons vu précédemment, va permettre à la combustion de s'amorcer. A ce stade, le dégagement de chaleur est modéré, les fumées peu abondantes.
2. Croissance  
La combustion produit de la chaleur (réaction exothermique), le feu entretient et accroît l'énergie d'activation. Si le combustible et le comburant

sont disponibles en quantités suffisantes, l'incendie s'étend de manière rapide. On estime que pour éteindre un feu sec naissant, il faut un verre d'eau durant la première minute, un seau d'eau au cours de la deuxième minute, une citerne d'eau au bout de la troisième minute. Dans le cas d'un feu clos (par exemple un feu d'habitation), on estime que la température de l'air atteint 600 °C au bout de cinq minutes ; Dans une cage d'escalier, elle peut atteindre 1 200 °C dans le même temps. Dans ces conditions, nous pouvons rapidement atteindre un embrasement généralisé.

### 3. Embrasement généralisé

Selon que le feu sera alimenté ou non en comburant, des phénomènes physiques différents apparaissent :

#### - Feu alimenté en comburant :

L'embrasement généralisé éclair (en anglais flashover) est une phase du développement d'un feu dans un local semi-clos. D'un seul coup, toute une pièce se met à brûler dans son intégralité. Ce n'est pas le feu qui progresse de proche en proche, mais tous les objets, et même l'atmosphère, qui s'embrasent brusquement. Il est très redouté des sapeurs-pompiers qui n'en ressortent jamais indemnes. La chaleur décompose les matériaux (bois, plastiques, tissus...) et produit des gaz inflammables, c'est la pyrolyse. Soit les gaz brûlent tout de suite et alimentent le feu (feu classique), soit ils s'accumulent dans une pièce.

Si l'air rentre régulièrement dans la pièce, on peut avoir, à partir d'un certain taux gaz/air, une inflammation de tout le gaz. Le feu occupe alors littéralement tout l'espace, c'est l'embrasement généralisé éclair.

#### - Feu carencé en comburant :

L'explosion de fumées (en anglais backdraft) est une explosion qui se produit lors d'un incendie, en l'absence de toute substance explosive ou de réservoir sous pression. Elle est très redoutée des sapeurs-pompiers. Si l'air ne rentre pas (lieu clos), on a une atmosphère qui ne contient que du gaz : le feu s'éteint (le gaz a besoin d'air pour brûler), mais la chaleur reste ; lorsque l'on ouvre la porte, l'air entre brusquement et le mélange gaz/air devient explosif, c'est l'explosion de fumées.

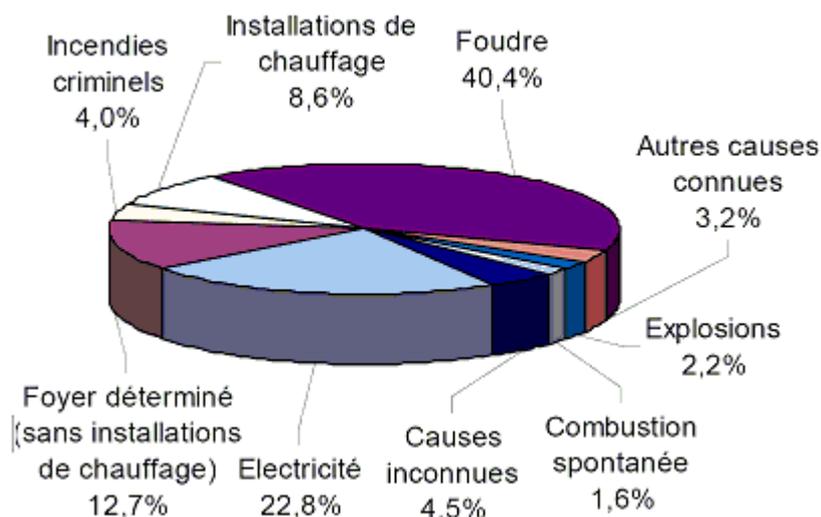
### 4. Déclin

La durée du feu dépend évidemment de la quantité des combustibles présents exposés au feu, mais aussi, et fortement, de la nature et des dimensions du premier foyer et de la répartition des combustibles, comme des contraintes imposées par le bâtiment (parois et ouvertures). La consommation en combustible des foyers les plus actifs réduit progressivement le débit de chaleur, la phase finale est l'extinction spontanée. L'activité de combustion peut perdurer sur des foyers lents sans flammes vives, tels des braises, ou en combustion lente d'éléments organiques enfermés dans des cavités mal ventilées. La lutte contre le feu a évidemment pour but d'accélérer le déclin du feu au moyen de l'arrosage, de l'isolement de combustibles, etc.

## c) Les causes de départ de feu

De nombreuses causes peuvent être à l'origine de la naissance d'un incendie. La plupart du temps, il s'agit de défauts de type court-circuit. Dans la Figure ci-dessous, on peut aussi remarquer que la foudre entraîne un très grand nombre de sinistres. (source Institut National de Recherche et de Sécurité - *INRS 2006*)<sup>1</sup>

1 - <http://www.inrs.fr/>



*Les principales causes d'incendie dans les bâtiments*

Les sources d'inflammation sont de natures variées :

- Thermique (surfaces chaudes, appareils de chauffage, flammes nues, travaux par point chaud...) : Une flamme nue constitue une source d'inflammation active. Les travaux par points chauds (soudage au chalumeau, oxycoupage...) sont une source majeure de sinistres dans l'industrie. Dans les habitations une grande partie des incendies se déclare dans la cuisine (un quart selon [protectionincendie.com, 2003]<sup>2</sup>) ;
- Electrique (étincelles, échauffement...) : La vétusté, des installations non réalisées dans les règles de l'art ou les surcharges électriques peuvent entraîner des échauffements à l'origine de bon nombre de départs d'incendie ;
- Electrostatique (décharges par étincelles, ...) : L'électricité statique est une cause indirecte d'incendies. En effet, elle peut provoquer des étincelles qui interviennent comme apport d'énergie d'activation ;
- Mécanique (étincelles, échauffement...) : Les échauffements et les étincelles d'origine mécanique, résultant de la friction, de choc et d'abrasion, ou de défaillances (roulements, paliers...) peuvent être à l'origine de températures parfois très élevées ;
- Climatique (foudre, soleil...) : Un impact de foudre peut constituer une source d'inflammation directe ou à distance en induisant des surtensions ou des échauffements dans les équipements. L'AEAI (Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Suisse) relève que 40% des sinistres sont dues à la foudre ;
- Chimique (réactions exothermiques, auto-échauffement, emballement de réaction...) ;
- Bactériologique : La fermentation bactérienne peut échauffer le milieu et le placer dans des conditions d'amorçage d'un auto-échauffement ;
- Cigarettes : L'extrémité d'une cigarette allumée atteint plus de 700 °C.

Il est toutefois nécessaire d'ajouter que, comme on l'a vu précédemment, il faut non seulement une source d'énergie, mais aussi de l'oxygène et la présence de produits combustibles pour déclarer un incendie.

#### d) Les typologies de foyer

« Les différentes typologies de foyer sont reprises des définitions données par M.

2 - <http://www.protectionincendie.com/statistiques-incendie.html>

*Curtat - Physique du feu pour l'ingénieur - Edition du CSTB - Paris, 2002 »*

La grande diversité des sinistres selon leur nature, leur évolution dans l'espace et au cours du temps et leur gravité ne permet pas d'établir un classement représentable sur un seul axe à l'aide d'un seul paramètre ! Il est peu probable qu'une personne donnée observe plusieurs fois ce qu'on pourrait définir comme le même feu. De plus, les actions de lutte et de secours n'offrent certainement pas des conditions favorables au travail d'observation et d'analyse scientifique ; il est difficile de tirer des sinistres réels des renseignements quantitatifs en termes de grandeurs physiques, voire des informations détaillées sur les événements qui s'y déroulent. On peut cependant définir des types de feu selon la nature du foyer (liée à l'activité poursuivie dans le bâtiment), l'importance des dégâts, la nature des causes de démarrage, la vitesse d'évolution des phénomènes dans l'espace et, à un endroit donné, au cours du temps...

Dans ce paragraphe, nous allons présenter, sous la forme d'une typologie simple, plusieurs exemples de situations différant par l'étendue ou la puissance du feu ainsi que par son degré de confinement et par la nature des dangers. La liste suivante fournit donc des catégories de feux et d'incendies aux frontières très approximatives. -

- Premier foyer
  - Un feu de corbeille à papiers a une puissance qui atteint quelques kilowatts ou dizaines de kilowatts; il peut être éteint assez facilement. Un meuble rembourré à proximité de la corbeille pourra être allumé sous l'action du rayonnement de la flamme du premier foyer et donner naissance à un foyer plus puissant (des centaines de kilowatts).
  - Dans une cuisine, un feu de friteuse, peu puissant en termes de débit de chaleur (quelques kilowatts), peut par exemple se communiquer à un meuble haut (des dizaines ou centaines de kilowatts).

Pour ces foyers relativement modestes, les conséquences du feu restent limitées tant que le feu ne s'étend pas à des foyers plus puissants, bien que la production de gaz toxiques d'un petit foyer puisse présenter un danger plus grand que le danger thermique, à cause du transport de ces gaz loin de leur source. La distance entre la flamme et un foyer de ce type et des foyers secondaires potentiels joue évidemment un rôle important sur la possibilité d'extension spatiale du feu.

- Foyer puissant dans un local

Un feu de literie ou de canapé rembourré peut devenir très puissant (plus d'un mégawatt), durer sous une phase intense pendant une dizaine de minutes, et dégager beaucoup de chaleur et de fumée toxique à température élevée. Il peut causer des décès.
- Feu généralisé dans un local

Un feu venant initialement d'une friteuse ou d'un lit peut se généraliser à tous les combustibles exposés d'un local (mobilier, revêtements en parois...), et pourra s'étendre à tout un appartement et, éventuellement, au-delà de celui-ci dans tout un bâtiment. Le feu d'un lit, puissant, pourra s'étendre plus rapidement que le feu d'une friteuse. Un feu généralisé peut emplir presque tout le volume libre du local de gaz chauds et de flammes. Ce type de feu peut causer quelques victimes dans le local initial et également dans d'autres locaux, en communication aéraulique, par la fumée.
- Incendie dans un bâtiment

Pour des dimensions plus importantes, comme celles d'un grand ERP (établissement recevant du public), l'incendie pourra concerner des centaines de mètres carrés, enfumer plusieurs niveaux, nécessiter des moyens importants de lutte et causer plusieurs victimes. Le contrôle de la



une déclaration officielle de la finalité d'un bâtiment (habitation, de commerce, de bureaux, école, etc.) de l'usage qui correspond à l'utilisation effective du bâtiment. Le descriptif de l'activité réelle doit en général être assez précis, notamment pour les usages industriels à risque (présence de produits chimiques par exemple, stock de produits inflammables comme des vêtements).

Il s'agit aussi de qualifier et de quantifier le nombre de personnes occupant à titre temporaire ou permanent ce bâtiment : adultes, enfants, personnes âgées, animaux, effectif salarié, visiteurs, etc.

- La description spatiale

Ces informations concernent les dimensions du bâtiment, le nombre d'étages, les surfaces ( SHON, utiles, etc.) , la distribution spatiale des espaces internes, et plus particulièrement, les circulations (accès et sorties).

- La description technique

Il s'agit de la composition du bâtiment au niveau de la structure porteuse (nature matériaux, degré de résistance au feu), de l'enveloppe ( murs et menuiseries extérieurs) des cloisonnements intérieurs.

## b) Les Établissements Recevant du Public

### Définition

---

Le terme **établissement recevant du public (ERP)** désigne tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non ". Ainsi, constituent des établissements recevant du public les salles des fêtes, les écoles, les magasins, les hôtels, les équipements sportifs, les hôpitaux, les chapiteaux, les établissements du culte, les maisons de retraites. Les ERP relèvent de législations particulières. Selon la législation française, parmi les principales obligations, ces établissements doivent être accessibles aux handicapés (places de stationnement, portes suffisamment larges, rampes d'accès, ascenseurs, toilettes handicapés...), et les propriétaires doivent mettre en œuvre des mesures de prévention contre l'incendie et facilitant l'évacuation du public, tout en évitant la panique.

Principales réglementations :

- Code de la construction et de l'habitation : *Version consolidée au 4 juillet 2008.*<sup>3</sup>

En droit français, le code de la construction et de l'habitation est le code qui regroupe les dispositions législatives et réglementaires relatives à la construction, à la promotion immobilière, aux logements sociaux et à d'autres questions relatives à l'immobilier.

- Arrêté du 25 juin 1980 modifié et complété portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public - Articles 1, 2 et 3

### Classement

---

Les ERP sont classés suivant leur activité et leur capacité, le premier étant fonction d'une typologie, le second donnant lieu à une catégorie.

- Le type

L'activité, ou « type », est désignée par une lettre définie par l'article GN 1 du règlement de sécurité incendie dans les ERP.

« *Règlement de sécurité incendie dans les ERP (approuvé par arrêté du 25*

3 - <http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074096&dateTexte=20080711>

juin 1980 et modifié) - Livre 1 Dispositions applicables à tous les établissements recevant du public - Chapitre unique - Articles GN1 à GN14 »

**a) Etablissements installés dans un bâtiment :**

- J Structure d'accueil pour personnes âgées et personnes handicapées ;
- L Salles d'auditions, de conférences, de réunions, de spectacles ou à usage multiple ;
- M Magasins de vente, centres commerciaux ;
- N Restaurants et débits de boissons ;
- O Hôtels et pensions de famille ;
- P Salles de danse et salles de jeux ;
- R Etablissements d'enseignement, colonies de vacances ;
- S Bibliothèques, centre de documentation ;
- T Salles d'exposition ;
- U Etablissements sanitaires ;
- V Etablissements de culte ;
- W Administrations, banques, bureaux ;
- X Etablissements sportifs couverts ;
- Y Musées ;

**b) Etablissements spéciaux :**

- PA Etablissements de plein air ;
- CTS Chapiteaux, tentes et structures ;
- SG Structures gonflables ;
- PS Parcs de stationnement couverts ;
- GA Gare ;
- OA Hôtels-restaurants d'altitude ;
- EF Etablissements flottants ;
- REF Refuges de montagne

• La catégorie

Les établissements sont, en outre, quel que soit leur type, classés en catégories, d'après l'effectif du public et du personnel. L'effectif du public est déterminé, suivant le cas, d'après le nombre de places assises, la surface réservée au public, la déclaration contrôlée du chef de l'établissement ou d'après l'ensemble de ces indications. Les règles de calcul à appliquer sont précisées, suivant la nature de chaque établissement, par le règlement de sécurité. Pour l'application des règles de sécurité, il y a lieu de majorer l'effectif du public de celui du personnel n'occupant pas des locaux indépendants qui posséderaient leurs propres dégagements. Les catégories sont les suivantes :

- 1re catégorie : au-dessus de 1 500 personnes ;
- 2e catégorie : de 701 à 1 500 personnes ;
- 3e catégorie : de 301 à 700 personnes ;
- 4e catégorie : 300 personnes et au-dessous, à l'exception des établissements compris dans la 5e catégorie ;
- 5e catégorie : établissements faisant l'objet de l'article R. 123-14 dans lesquels l'effectif du public n'atteint pas le chiffre minimum fixé par le règlement de sécurité pour chaque type d'exploitation.

**c) Etude de cas**



**Exemple : Description du bâtiment**

Le bâtiment à la base de l'étude est le bâtiment Chartreuse

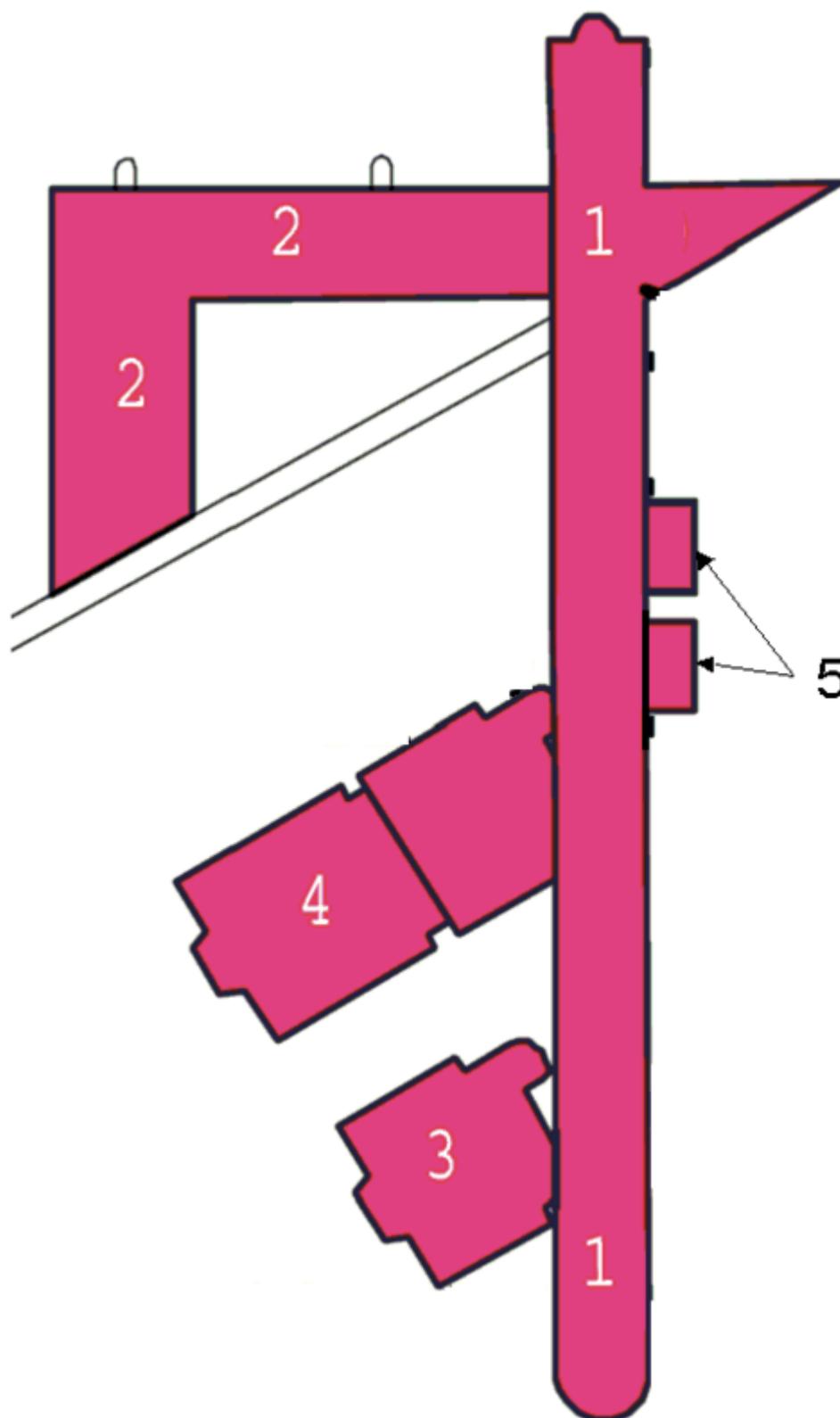
La vue aérienne ci dessous montre une image d'ensemble.



Le schéma ci-dessus détaille la composition de cet ERP. En fait, cet établissement, selon la réglementation ERP, est composé de six bâtiments :

1. Belledone  
1 niveau, 3850 m<sup>2</sup> SHON
2. Chartreuse  
3 niveaux, 4640 m<sup>2</sup> SHON
3. Mont-Cenis  
2 niveaux, 1050 m<sup>2</sup> SHON
4. Iseran  
2 niveaux , 2870 m<sup>2</sup> SHON
5. Revard et Nivolet  
2 amphithéâtres de 225 m<sup>2</sup> SHON chacun positionnés sous le bâtiment Belledonne

Les quatre premiers bâtiments contiennent des bureaux, des salles de cours et des laboratoires



*Vision schématique de l'ERP*

Le classement de cet ERP est le suivant :

- Type R : établissement d'enseignement, colonies de vacances.
- Catégorie : seconde catégorie , ce qui signifie que l'effectif est inférieur à 1499 personnes.

En fait cet établissement est vraiment à la limite supérieure de la seconde

catégorie. La répartition de son effectif est la suivante, pour un total 1498 personnes :

- Public : 1398 personnes
- Personnel : 150 personnes

### 3. Les enjeux

Quatre enjeux essentiels peuvent être identifiés dans le cas d'un risque de type incendie, vis à vis :

- des personnes  
Le but premier est de préserver la vie des personnes, dans les bâtiments soumis à un incendie, que ce soit du personnel, des clients ou des visiteurs. Il s'agit aussi de protéger l'intervention des secouristes.  
Cet enjeu peut se chiffrer en perte de vies humaines.
- de l'environnement  
Il s'agit de préserver l'environnement, par exemple éviter un incendie de forêt, une pollution consécutive à un incendie, etc. Cet enjeu, facile à percevoir, s'avère déjà plus délicat à chiffrer.
- des activités  
Un incendie entraîne souvent une perte partielle ou totale d'activité ; L'enjeu est alors économique pour l'organisation qui est concernée, il peut aussi être social, par exemple dans le cas d'une école.
- des biens  
L'enjeu sur les biens est évident, lorsqu'un bâtiment est détruit totalement ou partiellement. Cet enjeu peut se chiffrer assez facilement par une évaluation d'un bien immobilier ordinaire, mais, lorsque les biens représentent une valeur historique, que ce soit l'ouvrage lui-même ou son contenu (cas d'un musée par exemple), alors cette valeur du bien peut ne pas être estimable.



#### Exemple : Etude de cas

L'enjeu qui sera développé dans cette étude de cas concerne essentiellement la préservation des vies humaines.

Par rapport à cet enjeu, l'objectif sera de zéro mort en cas d'incendie.

Les autres enjeux n'ont pas été abordés, le principe de prise en compte serait le même, et donc cela ne changerait en rien la méthode exposée.

## C. L'approche réglementaire

L'approche réglementaire est une approche prescriptive qui propose la mise en place de solutions type.

Ces solutions sont définies en fonction du type et de la catégorie de l'ERP.

Ainsi, en préalable, la réglementation définit ce qu'est un ERP (cf. Système : Les ERP), les notions de classement et d'implantation.

Ces dispositions prescriptives ont été élaborées à partir du retour d'expérience basé sur l'analyse d'accidents majeurs, survenus en France ou dans le monde.

Le *Chapitre III du Code de la Construction et de d'habitation*<sup>4</sup> définit ces solutions. Notons que l'approche réglementaire est décrite sous une forme « juridique » et nécessite une interprétation pour être appliquée, ce qui n'en facilite pas toujours la mise en oeuvre, notamment pour des cas particuliers.

Elle est basée sur :

- **La prévention**

Ce sont des mesures passives pour éviter la survenue d'un incendie et limiter sa propagation, qui concernent la stabilité de l'ouvrage, la technologie de construction, l'organisation fonctionnelle, des restrictions sur l'activité, le contrôle de l'état ;

- **La prévision**

Ce sont des mesures actives prises au cas où un sinistre surviendrait qui portent sur la détection, l'alerte, l'évacuation, la lutte contre l'incendie .

## 1. Les mesures de prévention

Les mesures passives ont pour but d'éviter la survenue d'un incendie et d'en limiter la propagation. Parmi les principales, citons les mesures suivantes :

- La prise en compte de la stabilité au feu du bâtiment, afin qu'il ne s'effondre pas pendant l'évacuation des personnes, ni pendant l'intervention des sapeurs pompiers ; Les éléments de structure tels que poutres, poteaux ou murs doivent satisfaire à des critères de résistance au feu ;
- La performance de réaction au feu des matériaux utilisés pour la construction et la décoration ;
- La disposition de portes et de cloisons coupe-feu afin de ralentir la progression d'un éventuel incendie au sein du bâtiment et vers les bâtiments voisins ;
- Le stockage de matériaux inflammables, explosifs ou toxiques est normalement interdit ;
- Toutes les installations techniques (locaux techniques, appareils spécifiques, installations électriques, ...) doivent être régulièrement vérifiées, entretenues et subir des visites techniques de conformité par des organismes de contrôle agréés.



### Complément : La résistance au feu

Résistance : c'est le temps pendant lequel, les éléments de construction jouent le rôle qui leur est dévolu.

Les éléments de structure tels que poutres, poteaux ou murs doivent satisfaire à des critères de résistance au feu. La résistance au feu correspond à la durée pendant laquelle les éléments de construction continuent à remplir leurs fonctions malgré l'action d'un incendie.

La résistance au feu comporte trois classements qui sont à la fois distincts et progressifs :

- Stabilité au feu - SF - La capacité portante caractérise la résistance mécanique d'un élément de construction face à l'action de l'incendie.
- Le degré Pare Flamme - PF - ou l'étanchéité au feu caractérise la capacité à résister à une exposition au feu sur le côté exposé sans transmission de flammes ou de gaz chauds pouvant entraîner l'allumage du côté non exposé.
- Le degré Coupe-Feu - CF - caractérise l'étanchéité à la chaleur, c'est à dire

4 - [http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=D0C97429249E4A03000FAFCD4D545A44.tpdjo06v\\_2?iSectionTA=LEGISCTA000006158994&cidTexte=LEGITEXT000006074096&dateTexte=20080721](http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=D0C97429249E4A03000FAFCD4D545A44.tpdjo06v_2?iSectionTA=LEGISCTA000006158994&cidTexte=LEGITEXT000006074096&dateTexte=20080721)

la capacité à résister au feu sur le côté exposé sans transfert de chaleur important du côté non exposé.

Le degré de résistance s'exprime par un temps compris entre 1/4 h et 6 heures. En fonction des bâtiments qui sont classés en familles, les exigences de stabilité au feu sont différentes.



#### Complément : La réaction au feu

---

Réaction : c'est l'élément qui peut apporter le matériau à la naissance et au développement de l'incendie.

Les Euroclasses de réaction au feu :



CLASSEMENT EUROCLASSES	Classement actuel
<input type="checkbox"/> A1 incombustibles PCS $\leq$ 2MJ/kg (478 kcal/kg)	➤ M0
<input type="checkbox"/> A2 faiblement combustibles PCS $\leq$ 3MJ/kg (718 kcal/kg) ou 4 MJ/m <sup>2</sup> (957 kcal/m <sup>2</sup> )	➤ M0
<input type="checkbox"/> B combustibles non inflammables	➤ M1
<input type="checkbox"/> C combustibles peu inflammables	➤ M2 et M3
<input type="checkbox"/> D combustibles facilement inflammables	➤ M4
<input type="checkbox"/> E combustibles	
<input type="checkbox"/> F non classés	➤ Non classé

*Classement des matériaux pour la réaction au feu*

## 2. Les mesures de prévision

Les mesures actives sont prévues pour le cas où un sinistre surviendrait, citons les

principales :

- L'établissement doit comporter un système d'alarme d'importance appropriée au risque, complété le cas échéant par des systèmes de sécurité incendie (SSI)
- L'éclairage doit être électrique :
  - Il doit y avoir au moins deux circuits normaux séparés par salle pouvant accueillir plus de 50 personnes, chaque circuit permettant d'éclairer toute la salle (cela évite une extinction accidentelle de toutes les lumières) ; ils doivent être allumés en présence du public (en dehors des théâtres et cinémas) ;
  - Il peut être imposé un éclairage de secours (anti-panique) permettant d'éclairer la salle en cas de défaillance électrique (ampoules sur alimentation indépendante espacées au maximum d'une distance égale à la hauteur du plafond, et assurant un éclairage de 5 lumen par m<sup>2</sup>) et balisant le cheminement vers les sorties de secours ; cet éclairage doit pouvoir tenir une heure ;
- Le bâtiment doit disposer de sorties de secours suffisantes en nombre et en largeur, signalisées et balisées, bien réparties. Lorsque l'effectif dépasse 50 personnes les portes doivent s'ouvrir dans le sens d'évacuation ;
- Les locaux techniques doivent être isolés afin d'éviter la propagation d'un incendie qui pourrait y survenir, et d'éviter que la fumée empêche l'évacuation (il faut notamment limiter au maximum les ouvertures et les gaines traversantes),
- Le bâtiment peut devoir disposer de dispositifs de surveillance, de détection et de moyens de lutte contre l'incendie (extincteurs, extincteurs automatique à eau, colonnes sèches et humides, robinet d'incendie armé). Dans les établissements commerciaux supérieurs à 3 000 m<sup>2</sup>, une protection incendie type gicleur conforme à la norme NF EN 12845 est obligatoire sur l'ensemble du site.
- Il doit y avoir des moyens d'alerte (téléphone fixe, téléphone d'alerte à surveillance automatique de ligne (tasal), c'est une ligne directe reliant un site à risque et le standard des sapeurs-pompiers)
- En cas de SSI automatique, le SSI déclenche l'alarme, ferme les portes coupe-feu, déverrouille les sorties, ferme les clapets coupe-feu dans les conduits, met en marche le désenfumage dans le niveau sinistré ;
- Les locaux et les dégagements peuvent devoir être désenfumés (désenfumage par tirage naturel ou mécanique)
- Le bâtiment doit être accessible aux secours, ce qui impose dans certains cas de disposer de voies suffisamment larges pour un fourgon d'incendie (voie engin), ou pour les bâtiments d'une certaine hauteur de voies assez larges pour le passage de la grande échelle (voie échelle) ;
- Dans les petits établissements, le personnel doit être formé aux mesures de prévention et de lutte contre l'incendie ;
- Dans les grands établissements, un service de sécurité incendie est obligatoire.

### 3. Etude de cas

L'étude de cas a déjà été introduite dans les parties précédentes :

- L'aléa Incendie
- Le patrimoine ERP
- Les enjeux

Ce développement de l'exemple portera sur l'approche réglementaire de la Sécurité Incendie.



#### Attention : Avertissement

Les citations concernant la réglementation ne sont pas exhaustives et servent surtout à illustrer l'ensemble de l'étude de cas.



#### Exemple : La technologie

##### **La technologie du bâtiment contribue aux mesures de prévention.**

« Art. R\*. 123-5.- Les matériaux et les éléments de construction employés tant pour les bâtiments et locaux que pour les aménagements intérieurs doivent présenter, en ce qui concerne leur comportement au feu, des qualités de réaction et de résistance appropriées aux risques courus. La qualité de ces matériaux et éléments fait l'objet d'essais et de vérifications en rapport avec l'utilisation à laquelle ces matériaux et éléments sont destinés. Les constructeurs, propriétaires, installateurs et exploitants sont tenus de s'assurer que ces essais et vérifications ont eu lieu. »

« Art. R\*. 123-6.- L'aménagement des locaux, la distribution des différentes pièces et éventuellement leur isolement doivent assurer une protection suffisante, compte tenu des risques courus, aussi bien des personnes fréquentant l'établissement que de celles qui occupent des locaux voisins. »

La structure du bâtiment doit être stable au feu 1h, et le plancher Coupe Feu 1h.

La structure en béton armée des bâtiments respecte cette condition.

Les cloisons de séparation (de type plaque de plâtre) sont de degré coupe-feu une heure et les portes (en bois) sont de degré pare-flamme 1/2 heure.



#### Exemple : Les dégagements

##### **Les dégagements font partie des mesures de prévision qui permettront en cas d'incendie de faciliter l'évacuation des personnes.**

« L'article Art. R\*. 123-7 fait référence à la nécessité d'avoir des dégagements praticables. »

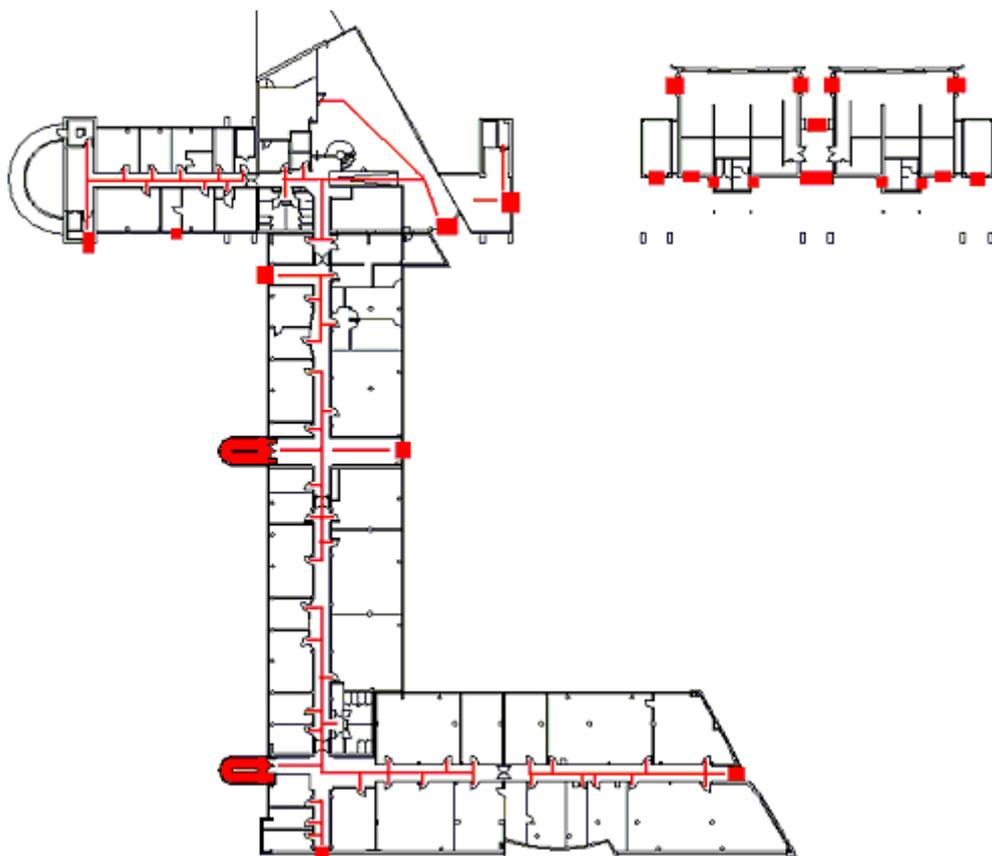
« Pour l'accès au bâtiment par les cages d'escaliers et autres issues, on applique l'article Art. R\*. 123-4. »

Au RDC, quelle que soit la position de la personne dans le bâtiment la distance maximale d'évacuation ne doit pas excéder 30m ou 50m s'il existe plusieurs sorties.

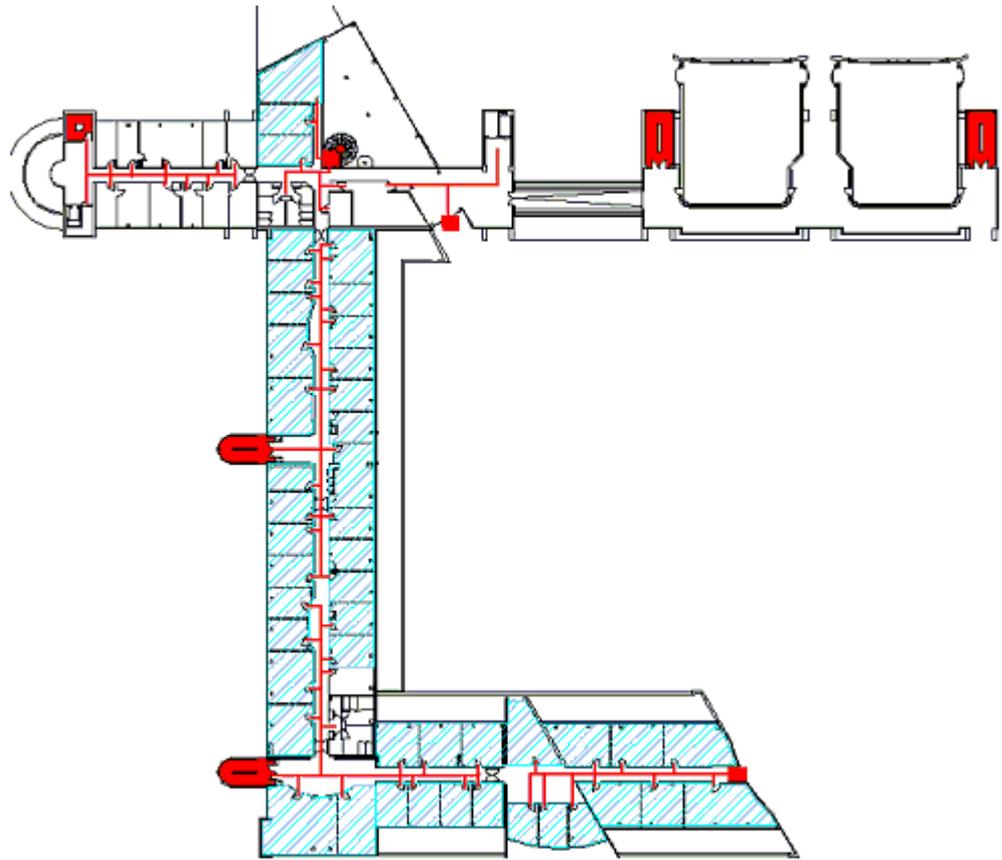
Aux étages, la distance maximale à parcourir pour atteindre un escalier est de 30m également mais elle est réévaluée à 40m si la cage d'escaliers est protégée.

Les trois plans suivants présentent les dégagements dans le bâtiment Chartreuse.

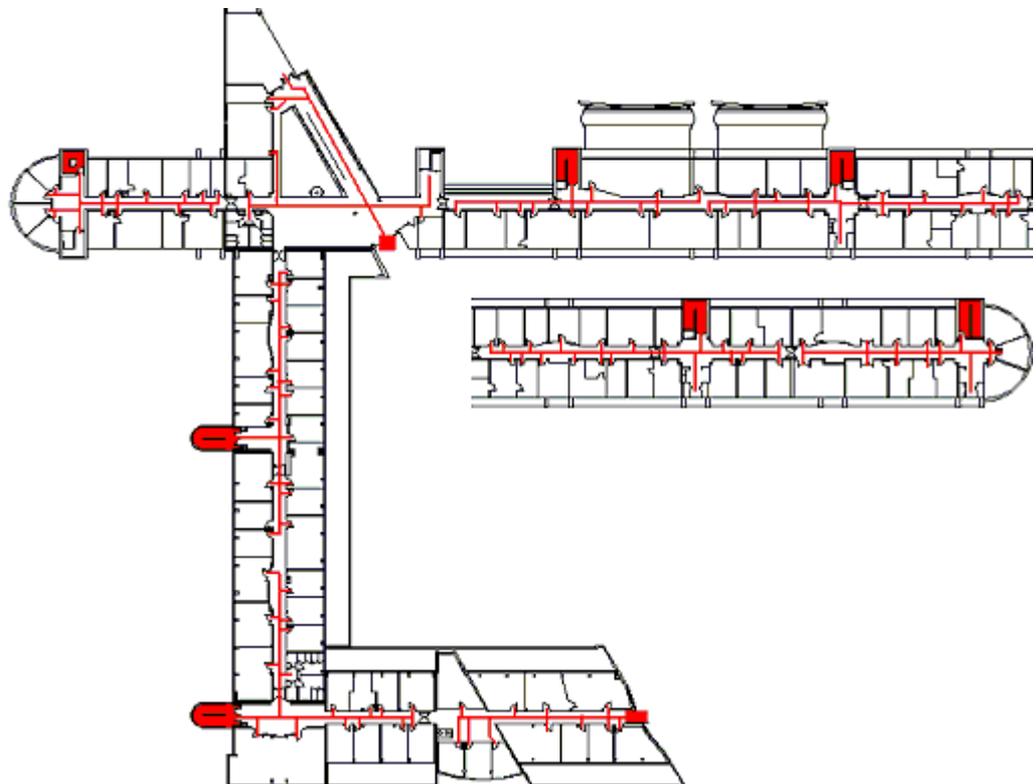
Les évacuations sont marquées en rouge (particulièrement les cages d'escaliers autonomes). Ainsi que les chemins d'évacuation appropriés. On remarque que pour le RDC, les conditions de distance inférieures à 30m répondent bien à la réglementation.



Dégagement RdC Chartreuse



Dégagement Chartreuse 1er étage



Dégagement Chartreuse 2ème étage



### Exemple : Le désenfumage et la ventilation

**Le désenfumage fait partie des mesures de prévision, qui permettent de garantir des conditions satisfaisantes d'évacuation ou de survie dans les locaux.**

« Art. R\*. 123-4.- Les bâtiments et les locaux où sont installés les établissements recevant du public doivent être construits de manière à permettre l'évacuation rapide et en bon ordre de la totalité des occupants. »

« Art. R\*. 123-7.- Les sorties et les dégagements intérieurs qui y conduisent doivent être aménagés et répartis de telle façon qu'ils permettent l'évacuation rapide et sûre des personnes. Leur nombre et leur largeur doivent être proportionnés au nombre de personnes appelées à les utiliser. Tout établissement doit disposer de deux sorties au moins. »

Le principe de désenfumage est de type naturel, c'est-à-dire que chaque local de l'ERP possède une ouverture vers l'extérieur.

Ici, sur le bâtiment Chartreuse-Belledonne, tous les locaux donnent sur une façade, aucun n'est cloisonné à l'intérieur du bâtiment, rendant ainsi le désenfumage naturel. Tous ces éléments font que le bâtiment est réglementaire.

En temps normal, si un incendie se déclare un occupant doit avoir la capacité d'ouvrir une fenêtre par exemple dans n'importe quel local où il se situerait. En ce qui concerne les cages d'escaliers au nombre de sept, deux de celles-ci sont extérieures (façade ouest du bâtiment Chartreuse) et cinq sont internes au bâtiment Belledonne. La circulation d'air obligatoire est assurée par des ouvertures au deuxième étage (exutoires en façade) et les portes du rez-de-chaussée : c'est la méthode du balayage naturel.

Seul l'accueil, immense atrium sur les trois niveaux, possède des ouvertures de désenfumage en toiture.



### Exemple : Electricité

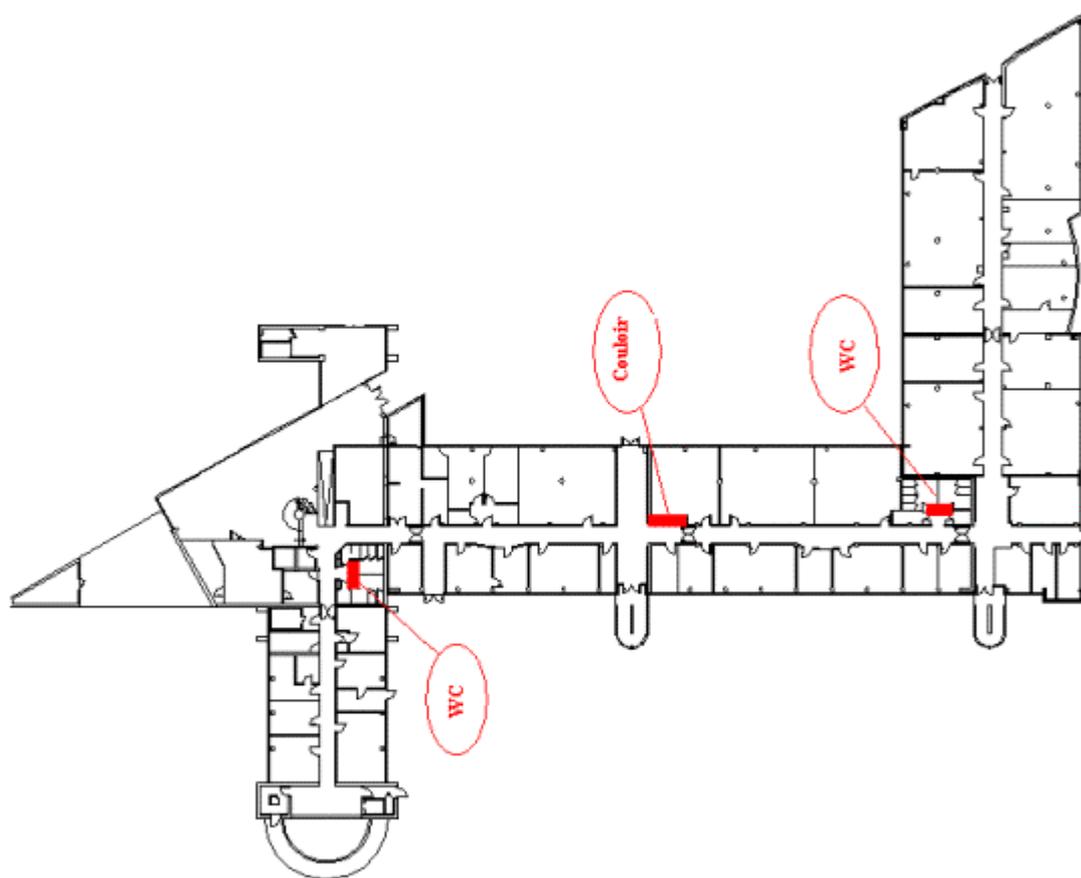
**Les contraintes sur l'électricité font partie des mesures de prévention.**

Rappelons que les départs de feu sont majoritairement causés par des dysfonctionnements électriques.

« Art. R\*. 123-10.- Les ascenseurs et monte-charge, les installations d'électricité, de gaz, de chauffage et de ventilation, ainsi que les équipements techniques particuliers à certains types d'établissements doivent présenter des garanties de sécurité et de bon fonctionnement. »

Les armoires électriques sont localisées principalement aux niveaux des sanitaires et non loin de l'escalier central dans le couloir principal du bâtiment Chartreuse. Elles sont mises en présence à proximité d'extincteurs à dioxyde de carbone.

Les installations électriques sont entretenues et maintenues en bon état de fonctionnement. Les défauts et les défauts d'isolement sont réparés dès leur constatation. Dans tout l'établissement recevant du public (ici Chartreuse et Belledonne), la présence physique d'une personne qualifiée est requise pendant la présence du public pour, conformément aux consignes données, assurer l'exploitation et l'entretien quotidien.



Localisation des armoires électriques RdC Chartreuse



### Exemple : Eclairage

**L'éclairage des locaux fait partie des mesures de prévision, qui permettent de faciliter l'évacuation.**

« L'article Art. R\*. 123-8 donne les règles générales à appliquer pour l'éclairage et le Art. R\*. 123-48 spécifie en partie les visites de sécurité qu'il faut prévoir pour la mise en conformité de l'éclairage et de l'électricité en matière de sécurité incendie entre autres. On applique également l'article Art. R\*. 123-10 pour les installations électriques et les appareils d'éclairage. »

En ce qui concerne l'éclairage, celui-ci est composé de :

- l'éclairage normal qui est alimenté par la source normale,
- l'éclairage de sécurité qui est alimenté par une source de sécurité en cas de disparition de la source normale,
- l'éclairage de remplacement : tout ou partie de l'éclairage normal alimenté par la source de remplacement

Conformément à la réglementation, l'éclairage est électrique. Les lampes d'éclairage normal et les lampes d'éclairage de sécurité sont implantées dans des luminaires distincts. Ceux qui sont placés dans les passages ne font pas obstacle à la circulation. Dans ce cas, les éclairages sont tous incorporés dans les faux-plafonds de tous les couloirs. Les appareils d'éclairage ne sont donc pas encastrés dans les plafonds suspendus qui sont pris en compte pour le calcul de la résistance au feu des planchers attenants. Les appareils d'éclairage fixes ou suspendus (ce qui est une obligation soit dit en passant) dans les bureaux, salles de cours et laboratoires sont reliés aux éléments stables de la construction.

De manière générale, Les locaux et dégagements des trois niveaux, les objets faisant obstacle à la circulation (portes coupe-feu en couloirs...), les marches des différents escaliers en particulier l'escalier du hall ou gradins dans les amphithéâtres Revard et Nivolet, les portes et sorties en façades ou sur la passerelle, les indications de balisage installés dans les couloirs des trois niveaux doivent être et sont éclairés. Dans les amphithéâtres Revard et Nivolet, l'installation d'éclairage normal est conçue de telle façon que la défaillance d'un élément constitutif n'a pas pour effet de priver intégralement ces locaux d'éclairage normal. En outre, un tel local ne peut pas être plongé dans l'obscurité totale à partir de dispositifs de commande accessibles au public ou aux personnes non autorisées.

Dans tous les locaux, l'éclairage normal est réalisé avec des lampes à décharge d'un type tel que leur amorçage n'excède pas un temps supérieur à 15 secondes.

Notons que les différents éclairages peuvent avoir plusieurs états :

- état de repos des blocs autonomes de l'éclairage de sécurité : état d'un bloc autonome qui a été éteint intentionnellement lorsque l'alimentation normale est interrompue et qui, dans le cas du retour de celle-ci, revient automatiquement à l'état de veille ;
- état de veille : état dans lequel les sources d'éclairage de sécurité sont prêtes à intervenir en cas d'interruption de l'alimentation de l'éclairage normal ;
- état de fonctionnement en sécurité : état dans lequel l'éclairage de sécurité fonctionne, alimenté par sa source de sécurité ;
- état d'arrêt : état dans lequel le système d'éclairage de sécurité est mis hors service volontairement.



### Exemple : Chauffage - climatisation

#### **Les contraintes sur les installations de chauffage et de climatisation font partie des mesures de prévention.**

« Art. R\*. 123-10.- Les ascenseurs et monte-charge, les installations d'électricité, de gaz, de chauffage et de ventilation, ainsi que les équipements techniques particuliers à certains types d'établissements doivent présenter des garanties de sécurité et de bon fonctionnement. »

Le chauffage de l'ERP est réalisé en grande partie par la chaufferie centrale du site universitaire du Bourget du Lac qui est située dans un autre bâtiment de l'Université.

Ainsi en ce qui concerne le chauffage de l'établissement, seules les installations (appareils et conduites) sont considérées ici. Cette particularité réduit nettement les contraintes en matière de sécurité incendie relative au système de chauffage. Ainsi,

aucune exigence de réaction au feu n'est exigée pour les systèmes de canalisations à base de tubes en matériau de synthèse incorporées (encastrées, engravées ou enrobées, avec ou sans fourreau) dans les dalles. De même aucune exigence n'est demandée pour les piquages et les liaisons d'alimentation des collecteurs destinés à alimenter les émetteurs de chaleur du local ou encore dans les planchers chauffants (installés dans certains locaux du rez-de-chaussée du bâtiment Chartreuse).

Aucune exigence de réaction au feu n'est exigée pour les systèmes de canalisations à base de tubes en matériau de synthèse disposés dans les gaines techniques de résistance au feu identique à celle des parois traversées avec un minimum de 30 minutes.



### Exemple : Risques spéciaux

**Les contraintes sur les risques spéciaux font partie des mesures de prévention.**

« Art. R\*. 123-9.- *Le stockage, la distribution et l'emploi de produits explosifs ou toxiques, de tous liquides particulièrement inflammables et de liquides inflammables classés en 1re catégorie en exécution de la loi no 76-663 du 16 juillet 1976 relative aux installations classées sont interdits dans les locaux et dégagements accessibles au public, sauf dispositions contraires précisées dans le règlement de sécurité.* »

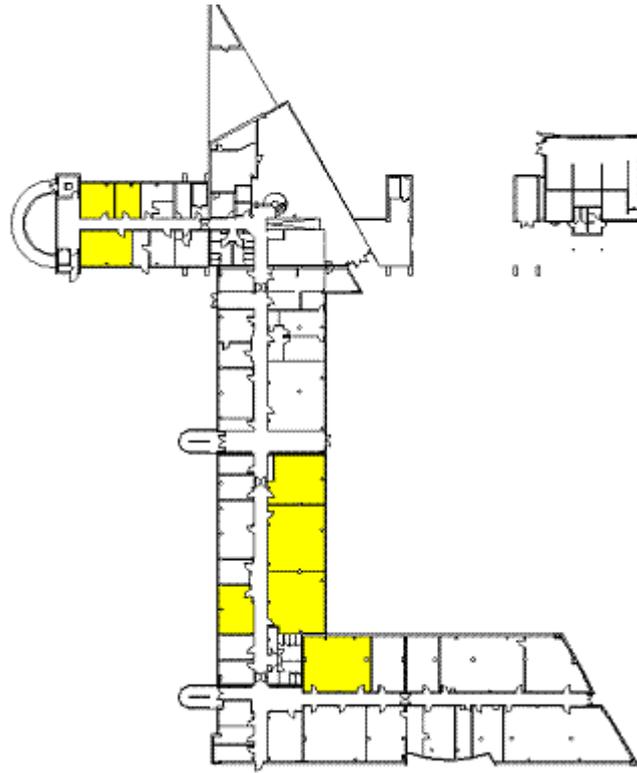
Dans le bâtiment sont situés plusieurs zones de laboratoires utilisant des sources radioactives, des éléments bactériologiques et des gaz spéciaux tels l'hydrogène, l'azote, l'hélium, l'oxygène,...

Ces laboratoires sont principalement situés sur la face ouest du bâtiment et leur alimentation en gaz est assurée par des conduites en façade reliées à leur alimentation respective depuis un local externe à cet ERP et situé à plus de 8 m. Ces arrivées de gaz sont toutes équipées de PDG (prises de gaz) et certaines arrivées sont confinées.

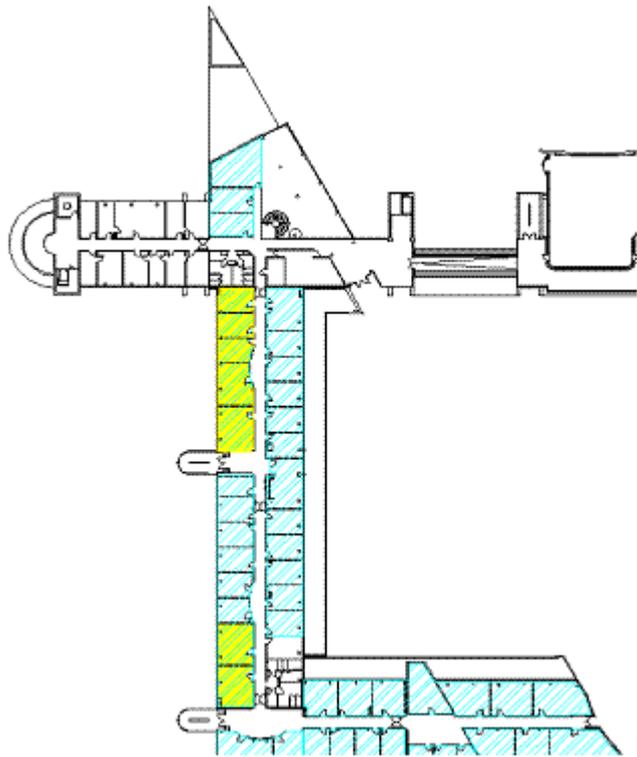
Des extincteurs à poudre sont soit disposés dans les laboratoires soit installés dans les circulations centrales du bâtiment.

En outre, en ce qui concerne la source radioactive, celle-ci est confinée dans une enveloppe de plomb et n'est plus utilisée en raison des dispositions légales importantes.

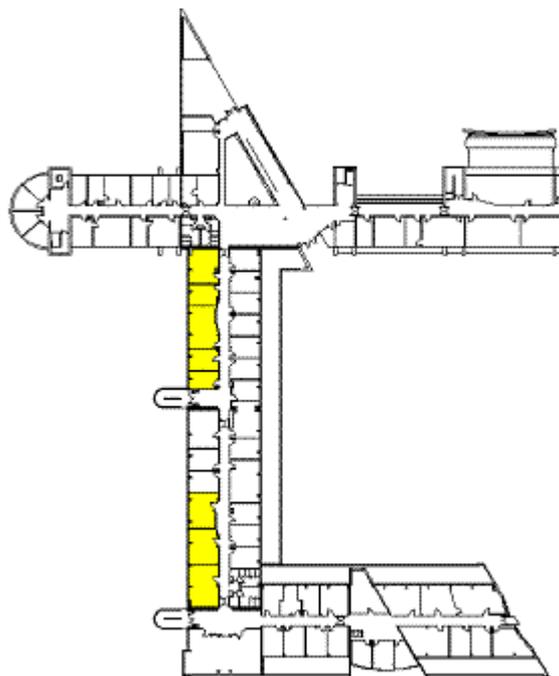
Les trois plans suivants permettent de localiser les locaux équipés de gaz spéciaux : acétylène, protoxyde d'azote, oxygène, azote, hydrogène, hélium, argon.



*Plan du RdC des locaux équipés en gaz spéciaux*



*Plan du 1er étage des locaux équipés en gaz spéciaux*



Plan du 2ème étage des locaux équipés en gaz spéciaux



### Exemple : Signalisation - affichage

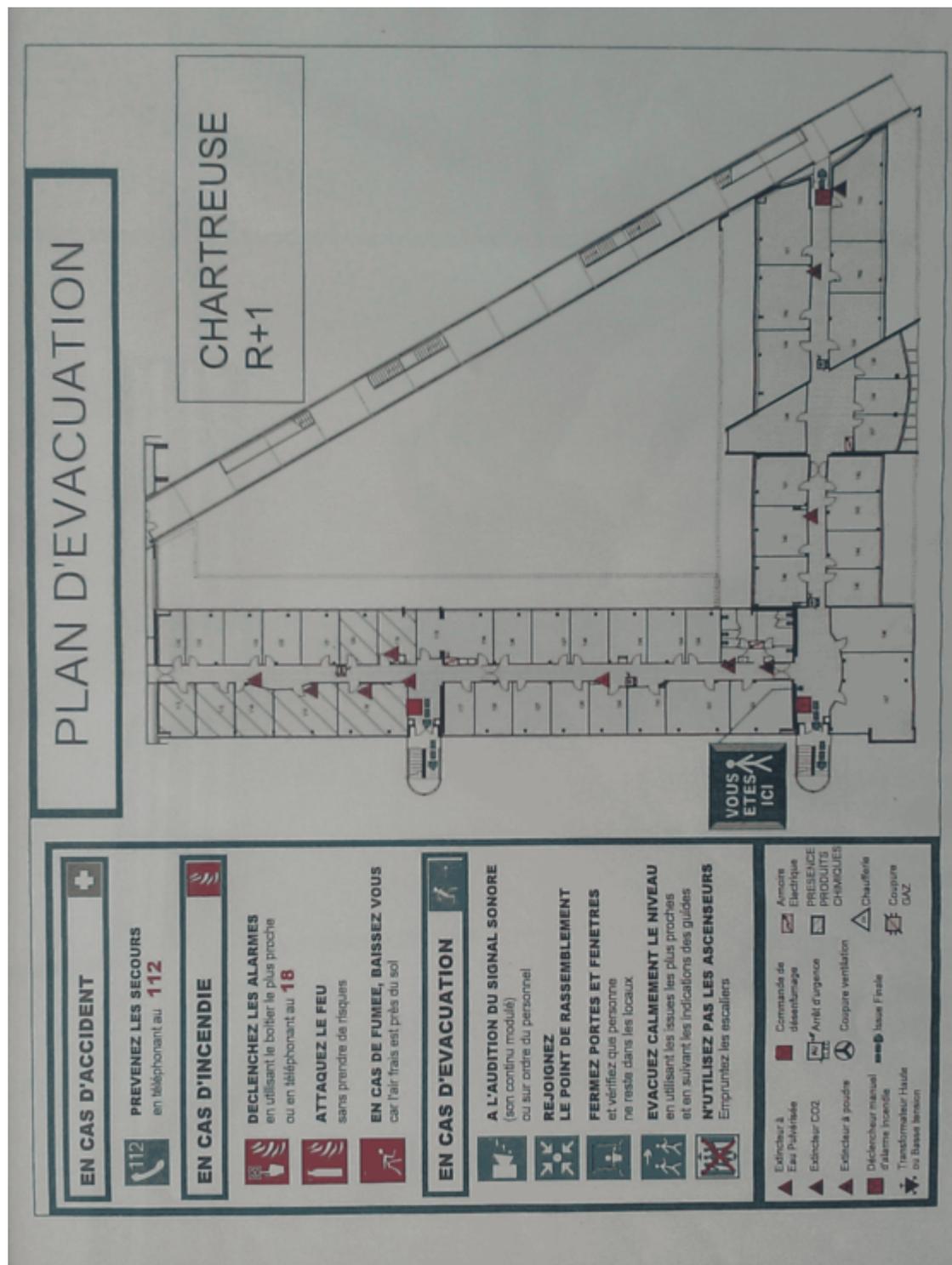
#### **Faciliter l'intervention des moyens de secours fait partie des mesures de prévision**

« L'article de la réglementation Art. R\*. 123-24 notifie l'obligation de produire des plans référençant les différents niveaux, la position des extincteurs, des armoires électriques, systèmes d'alarmes,... nécessaire à la bonne connaissance du bâtiment en cas d'incendie. »

Des plans schématiques, sous forme de pancartes inaltérables, sont apposés à chaque entrée du bâtiment Chartreuse pour faciliter l'intervention des sapeurs-pompier. Ils représentent le rez-de-chaussée, les deux étages ou l'étage courant de l'ERP. Ils sont, par contre, en plusieurs parties pour différencier les bâtiments Chartreuse et Belledonne même si ceux-ci représentent un seul et même ERP.

Doivent y figurer, outre les dégagements et les cloisonnements principaux, l'emplacement :

- des divers locaux techniques et autres locaux à risques particuliers : armoires électriques, laboratoires utilisant des gaz spéciaux,...
- des dispositifs et commandes de sécurité (dans les laboratoires en question)
- des organes de coupure des fluides,
- des organes de coupure des sources d'énergie ,
- des moyens d'extinction fixes et d'alarme dans les couloirs et le hall principal



Plan d'évacuation



### Exemple : Moyens de lutte contre l'incendie

#### Les moyens de lutte contre l'incendie relèvent des mesures de prévision

« Art. R\*. 123-11.- L'établissement doit être doté de dispositifs d'alarme et d'avertissement, d'un service de surveillance et de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques. »

Globalement le bâtiment ne possède pas de système automatique d'extinction des incendie, mais dispose d'extincteurs.

Chaque local doit clairement disposer d'extincteurs adaptés, en fonction des éléments potentiellement inflammables qu'il comporte. Ainsi, en fonction de chaque type de feux, on attribue une classe d'extincteurs spécifique ; le tableau suivant répertorie les différentes classes d'extincteurs que nous retrouverons dans cet ERP (sauf la classe D qui n'est pas utilisée)

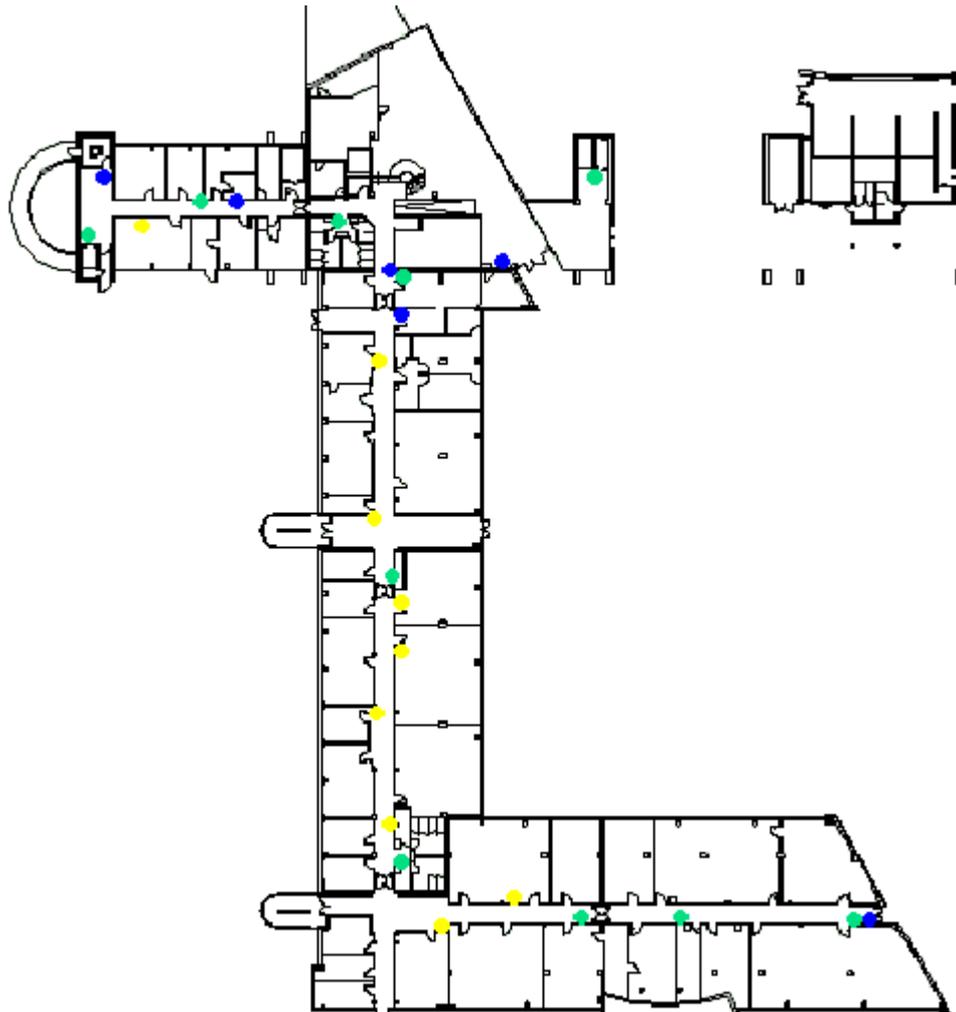
Type de feux		Type d'Extincteur		
<b>A</b>	Feux de matières solides (bois, cartons,...)	<b>EAU</b>	<b>POUDRES</b>	
<b>B</b>	Feux de liquides, solides liquéfiables (essence, huiles, paraffine, graisses,...)	<b>EAU+ADDITIF</b>	<b>POUDRES</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>C</b>	Feux de gaz (acétylène, gaz de ville, propane,...)		<b>POUDRES</b>	
<b>D</b>	Feux de métaux (magnésium, aluminium,...)		<b>POUDRES spéciales</b>	

*Classes d'extincteur*

Pour cet ERP, considérons l'exemple du rez-de-chaussée :

A ce niveau figurent des laboratoires en partie centrale du bâtiment, après vérification du type de chaque extincteur présent dans le bâtiment, le constat montre bien que le couloir et certaines salles-laboratoires soient équipés d'extincteurs de type "Poudres" repérés en jaune, du côté de l'ascenseur, par exemple, l'extincteur est de type "CO2" et dans le reste des locaux tels que les bureaux administratifs ou les salles de cours, il s'agit d'extincteurs de type "Eau pulvérisée + additifs". De manière générale, la réglementation est suivie et adaptée aux locaux potentiellement vulnérables aux incendies.

Le plan du rez-de-chaussée ci-dessous répertorie tous les extincteurs installés ainsi que leur type (jaune pour poudres, vert pour dioxyde de carbone et bleu pour eau pulvérisée + additifs).



Position et type des extincteurs au RDC Chartreuse



### Exemple : Alarmes - détection

#### **Détecter les départs de feu et alerter les occupants font partie des mesures de prévision**

« Art. R\*. 123-11.- L'établissement doit être doté de dispositifs d'alarme et d'avertissement, d'un service de surveillance et de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques. »

Le Système de Sécurité Incendie (SSI) d'un ERP est constitué de l'ensemble des matériels servant à collecter toutes les informations liées à la seule sécurité incendie, à les traiter et à effectuer les fonctions nécessaires à la mise en sécurité de l'établissement. La mise en sécurité peut comporter :

- le compartimentage
- l'évacuation des personnes (signal, gestion d'issues, éclairage)
- le désenfumage
- l'extinction automatique (sprinklage)
- la mise à l'arrêt de certaines installations techniques

Les SSI sont classés en 5 catégories par ordre de sévérité décroissante, appelés A, B, C, D et E.

Le SSI est composé notamment de :

- un SDI : Système de détection incendie

La surveillance assurée par le service de sécurité peut être complétée ou remplacée par des installations de détection incendie. L'installation de détection automatique d'incendie doit déceler et signaler tout début d'incendie au plus vite et mettre en œuvre les éventuels équipements de sécurité asservis.

- un SMSI : Système de Mise en Sécurité Incendie

Le SMSI est constitué des équipements qui assurent les fonctions nécessaires à la mise en sécurité d'un ERP à partir soit des informations transmises par le SDI soit par des ordres provenant de commandes manuelles.

- un système d'alarme
  - Alarme générale : signal sonore prévenant les occupants qu'ils doivent évacuer les lieux. Elle peut être immédiate ou temporisée.
  - Alarme générale sélective : alarme générale limitée à l'information de certaines catégories de personnel, selon les dispositions particulières
  - Alarme restreinte : signal sonore et visuel différent du signal d'alarme général. Il avertit le personnel prévu d'un sinistre et de sa localisation. Cette alarme doit être exploitée : c'est à dire vérifier s'il y a ou non sinistre et dans ce cas déclencher les procédures de secours et l'alarme générale.

Les dispositions particulières à chaque type d'établissement précisent, le cas échéant, la catégorie du système de sécurité incendie exigé.

Les équipements d'alarme sont classés en 4 types par ordre de sévérité décroissante, appelés 1, 2a ou 2b, 3 et 4. Les dispositions particulières précisent le type d'alarme pour chaque type d'E.R.P. (type-catégorie) Seuls les types 1, 2a et 2b peuvent être temporisés. Un équipement de type 4 peut être constitué de tout dispositif sonore autonome (cloche sifflet...)

L'ERP étudié est placé sous la protection d'un SSI de catégorie A avec un équipement d'alarme de type 1. La catégorie A associé au type 1 est celle qui garantie le niveau de sécurité le plus élevé.

\* \*

\*

L'approche réglementaire a juste été ébauchée. Elle est très riche en connaissances issue du retour d'expérience. Elle s'avère particulièrement efficace à l'usage, et permet de mettre les moyens de secours dans une situation connue en cas de sinistre ; Chaque ouvrage étant traité de la même manière, l'efficacité s'en trouve certainement améliorée.

Le reproche que l'on peut justement faire est de ne pas prendre en compte suffisamment la spécificité de chacun des ouvrages. Elle s'avère ainsi inadaptée, souvent pénalisante, dans les cas de bâtiment sortant du standard classique d'organisation fonctionnelle. C'est aussi le cas de plus en plus courant des réhabilitations de bâtiment qui constituent autant de cas particuliers.

Enfin d'un point de vue prise de conscience et responsabilité, pour le maître d'ouvrage et le concepteur, elle masque la notion de prise de risque à travers l'application de solutions toutes faites. Le concepteur la perçoit souvent comme une contrainte, une "simple" réglementation à appliquer, plus que comme un vrai problème d'analyse de risques à résoudre, pour lequel il fera vraiment acte d'ingénierie, c'est à dire d'analyse, de réflexion et de production de solutions.

## D. Méthode d'analyse du risque incendie

Cette seconde partie du fil rouge développera une méthode d'analyse de risque incendie développée dans le cadre du PN ISI (Projet National Ingénierie de la sécurité incendie). Le lecteur pourra consulter le site web suivant pour approfondir les objectifs, la composition de ce groupe de travail ainsi que les principaux résultats. (Plaquette de présentation) (cf Plaquette de présentation du PN ISI)

Cette présentation est entièrement basée sur le mémoire de doctorat de Julien Chorier réalisé sous la direction de Jean-Claude Mangin (Professeur des universités)

« *"Diagnostic et évaluation des risques incendie d'une construction et de sa mise en sécurité"* - Thèse de doctorat Génie Civil - Julien Chorier - 8 février 2007 - Université de Savoie »

La méthode présentée relève complètement d'une analyse de risque depuis l'identification des aléas pouvant conduire à un incendie, jusqu'à la proposition de solutions.

Le panel de solutions envisageables ne se limite pas à la mise en place de dispositions techniques, mais peut concerner aussi la présence du personnel de surveillance, l'augmentation de son efficacité par des actions de formation par exemple.

Cela fait qu'il ne s'agit plus simplement d'une analyse de risque pour concevoir un ouvrage, mais aussi pour faire évoluer la prise en compte du risque incendie à n'importe quel stade de la vie de l'ouvrage, notamment, par exemple lorsque que les dispositions d'exploitation changent ou lorsque l'usager des bâtiments évolue.

La méthode est basée sur une démarche de type « MOSAR », La modélisation du système : réseau de PETRI, la simulation reposera sur la méthode de Monte-Carlo, qui peut être suivi d'une optimisation multicritère des solutions. Le Logiciel utilisé est : MOCA-RP : MOnTe CARLo avec Réseaux de Pétri, dont la version 12 a été développée par Total-Fina-Elf et la société IXI-GFI Consulting)

### 1. Les principes de la méthode d'analyse

#### a) Présentation générales des principales étapes

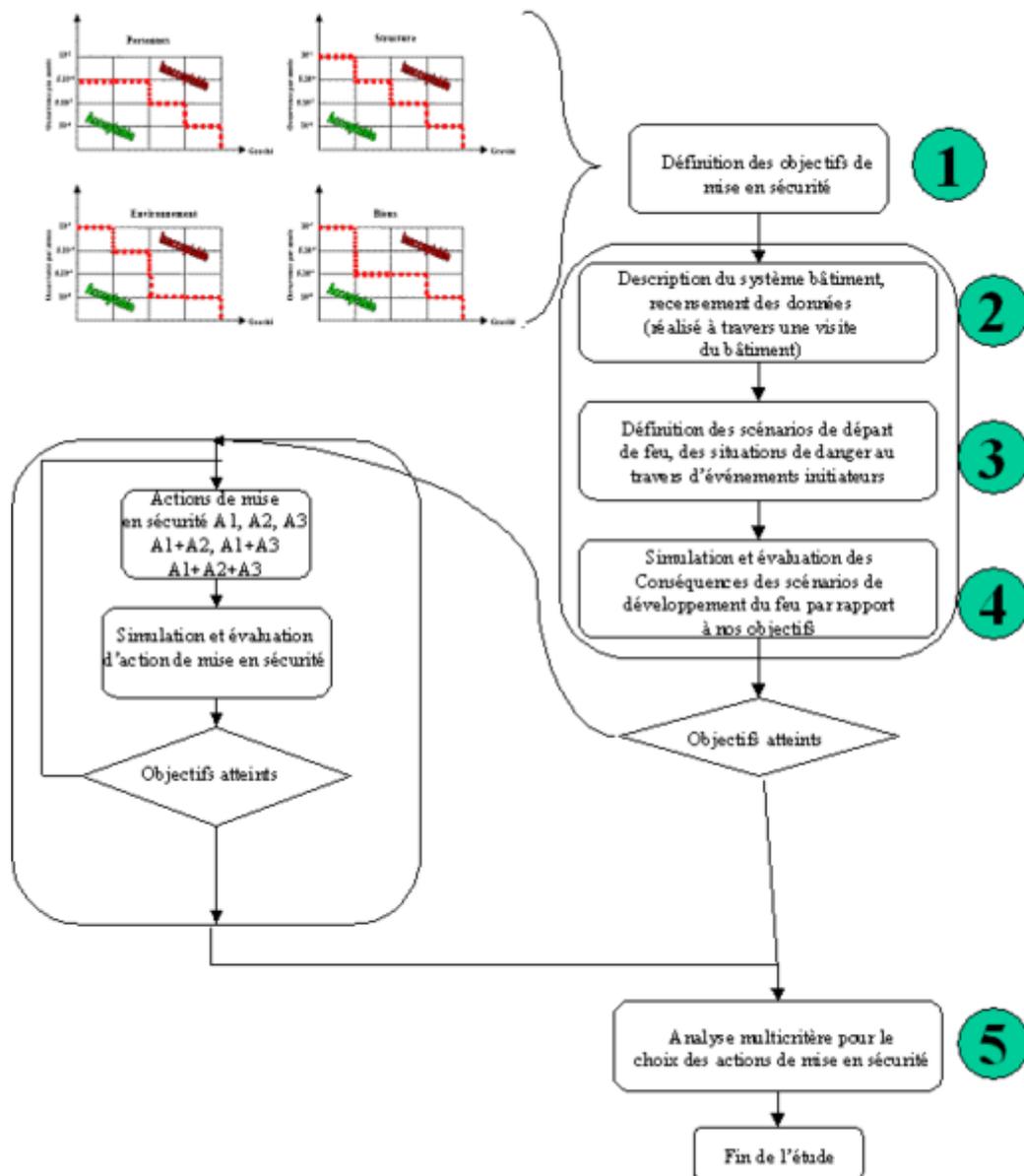
Le schéma suivant présente la démarche d'analyse proposée qui repose sur les cinq points suivants

1. La définition des objectifs de sécurité

La définition des objectifs de mise en sécurité pour les personnes, les biens, les structures, l'environnement est réalisé à travers la définition des grilles probabilité/gravité. Ces grilles sont élaborées par l'intermédiaire de deux niveaux de négociation :

- Le premier niveau de négociation concerne les axes de la grille. On définit d'une part les niveaux de gravité des événements et d'autre part leur probabilité. Pour notre étude, nous utilisons une échelle de probabilité à quatre niveaux qui représente la probabilité d'occurrence d'un événement sur une année. En ce qui concerne la gravité, une échelle qualitative est développée pour rendre compte des conséquences d'un sinistre sur chacun des quatre axes étudiés (les personnes, les biens, la structure et l'environnement). Ces deux axes formeront la grille « probabilité x gravité ».
- Le deuxième niveau de négociation consiste à situer ensuite dans chaque

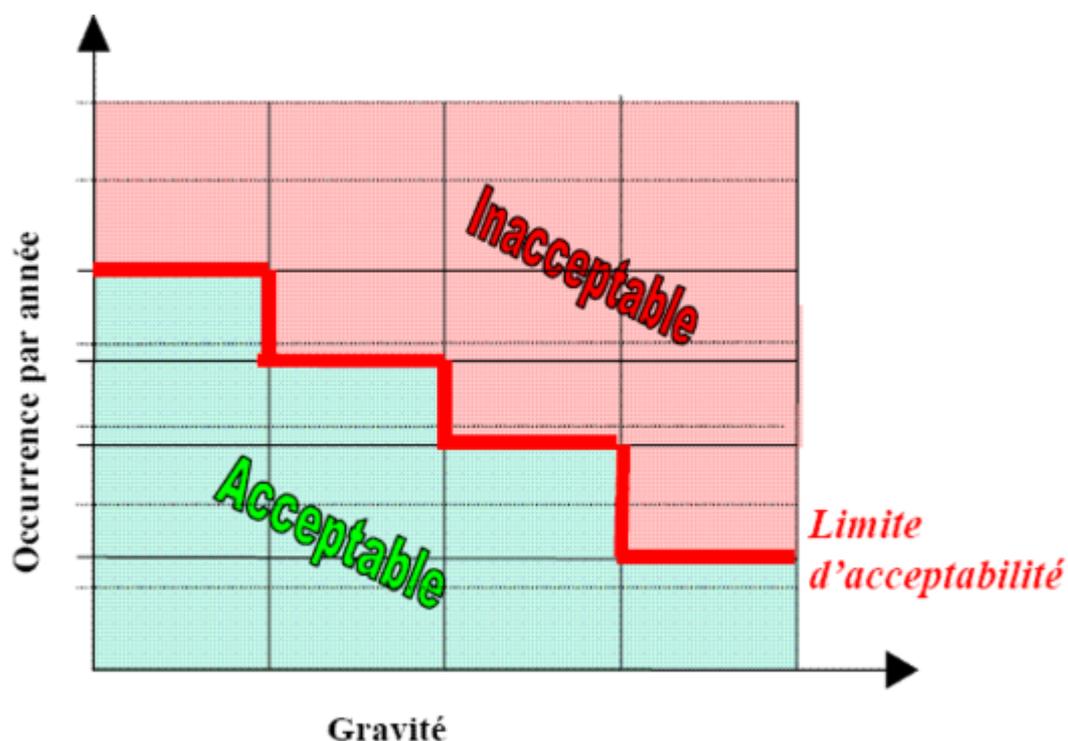
- grille la frontière entre le risque acceptable et le risque inacceptable. Cette limite est défini à priori sur un bâtiment à partir de statistique ;
2. La description du système "risque incendie / bâtiment"  
Cela est réalisé par une visite du bâtiment et un rapport d'expert. L'expert s'appuie sur un Guide d'Analyse De la Sécurité Incendie (GAPSI) pour recenser toutes les informations nécessaires à la définition des propriétés des différents sous-systèmes et du système bâtiment ;
  3. La définition des scénarios de départ de feu  
La définition des situations de danger à partir d'événements initiateurs résultant du rapport précédent. L'analyse des données recueillies et leur traitement dans le GAPSI permet de faire ressortir les scénarios de départ de feu les plus pertinents à étudier. Le scénario de départ de feu est défini par un lieu, un instant et une courbe d'évolution de la puissance du foyer ;
  4. La simulation et l'évaluation des conséquences  
Après avoir filtré les événements initiateurs, qui définissent les scénarios de départ de feu, les scénarios de développement du feu sont alors générés à l'aide d'un outil de modélisation par les réseaux de Petri (il s'agit du logiciel MOCA-RP développé par DASSAULT SYSTEMES pour le compte de la société TOTAL couplé à un code de propagation des fumées). Les conséquences de ceux-ci par rapport à nos objectifs sont évaluées. Les nombreuses simulations permettent de faire ressortir les probabilités d'occurrence de certains événements comme le décès d'occupant ou la ruine d'un local. Le bilan de ces simulations est inséré dans les différentes grilles probabilité/gravité ;
  5. L'optimisation  
Une comparaison des différentes actions rendant le niveau de sécurité acceptable est nécessaire en vue d'un choix répondant aux objectifs d'un gestionnaire. Le choix est multicritère prenant en compte par exemple les coûts d'investissement et de fonctionnement, la durée d'installation, les impacts environnementaux, l'efficacité de l'action ...



Méthode d'analyse

### b) 1 - Définition des objectifs de mise en sécurité

La définition du risque implique la connaissance d'une probabilité d'occurrence et d'une gravité. A travers notre étude, nous analysons un grand nombre de scénarios qu'il faut représenter de manière graphique pour avoir une visibilité globale du niveau de risque du bâtiment. La méthode utilisée pour représenter les différents scénarios est une grille « probabilité x gravité » dans laquelle une limite d'acceptabilité sert de frontière entre la zone de risque acceptable et la zone de risque inacceptable.



Une grille probabilité - gravité

La définition de ces grilles est réalisée en étroite collaboration avec le maître d'ouvrage ou le gestionnaire de patrimoine qui commande l'étude.

L'incendie peut avoir des conséquences sur quatre cibles: les personnes, les biens, la structure, l'environnement mais aussi l'activité de l'entreprise, plusieurs grilles peuvent être élaborées

Deux niveaux de travail sont nécessaires pour élaborer ces grilles :

- Le premier niveau concerne les axes de la grille définis pour les abscisse par les niveaux de gravité des événements et pour les ordonnées par leur probabilité. Ces axes peuvent être quantitatifs ou qualitatifs pour la définition des occurrences, et quantitatifs pour la gravité. Globalement, il est suffisant d'utiliser une échelle de probabilité à quatre niveaux qui représente la probabilité d'occurrence d'un événement sur une année. En ce qui concerne la gravité, une échelle qualitative est développée pour rendre compte des conséquences d'un sinistre sur chacun des quatre axes étudiés (les personnes, les biens, la structure et l'environnement).

Niveau de probabilité	Probabilité d'occurrence par année
P1	$10^{-2}$
P2	$5.10^{-4}$
P3	$5.10^{-5}$
P4	$1,5.10^{-6}$

Valeurs quantitatives de probabilité d'occurrence par année

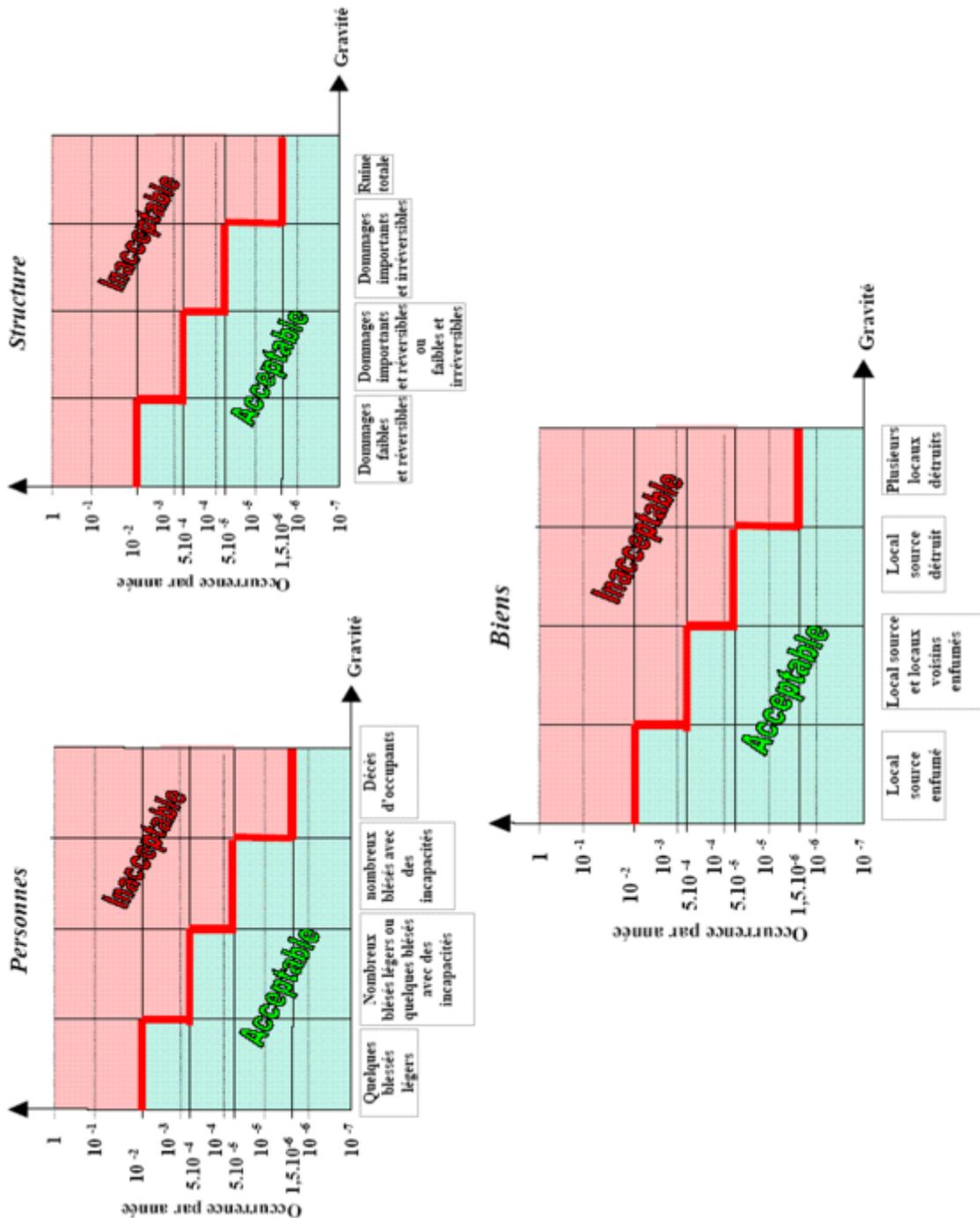
Classe	Niveau de probabilité	Description
1	Extrêmement rare	Probabilité de défaillance extrêmement faible
2	Très rare	Probabilité de défaillance très faible
3	Rare	Faible probabilité de défaillance
4	Possible	Possibilité de défaillance
5	Fréquent	Grande possibilité de défaillance
6	Très fréquent	Très grande possibilité de défaillance

Valeurs qualitatives de probabilité d'occurrence par année

Niveau de gravité	Description		
	Personnes	Structure	Biens
G1	Quelques blessés légers	Dommages faibles et réversibles	Local source enfumé
G2	Nombreux blésés légers ou quelques blésés avec des incapacités	Dommages importants et réversibles ou faibles et irréversibles	Local source et locaux voisins enfumés
G3	nombreux blésés avec des incapacités	Dommages importants et irréversibles	Local source détruit
G4	Décès d'occupants	Ruine totale	Plusieurs locaux détruits

*Valeurs qualitatives de gravité pour les personnes, la structure et les biens*

- Le deuxième niveau consiste à situer ensuite dans chaque grille la frontière entre le risque acceptable et le risque inacceptable. Cette limite est représentée en rouge sur les figures suivantes.



Exemple de grilles probabilité x Gravité

Les grilles proposées en exemple peuvent servir de base à une étude courante, cependant, ces tables doivent faire l'objet d'un compromis et d'une négociation entre les différents acteurs de l'étude risque, généralement le maître d'ouvrage, le bureau d'ingénierie et le législateur.

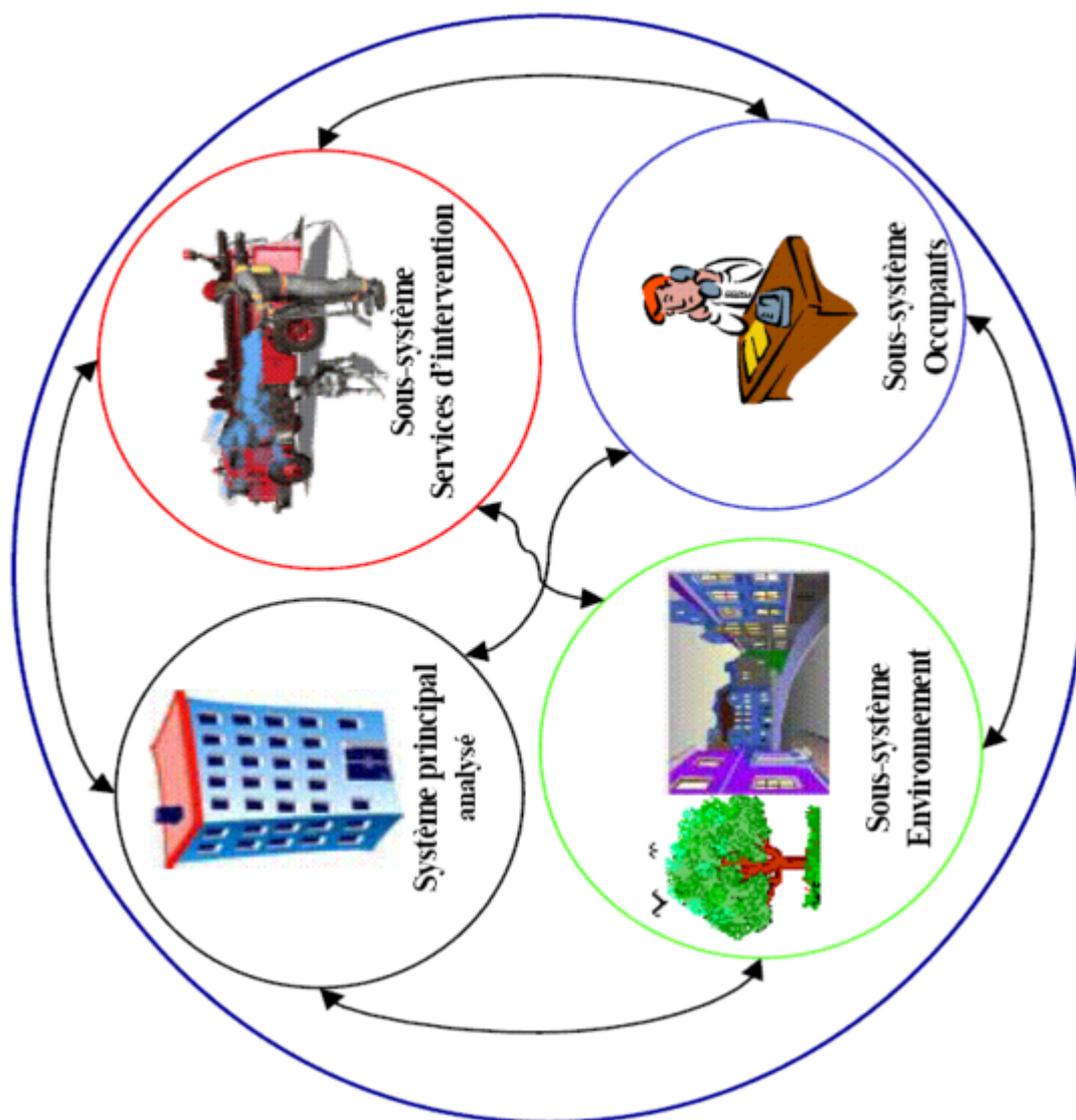
### c) 2 - Description du système "risque incendie / bâtiment"

L'approche systémique est à la base de la description du bâtiment vis à vis d'une finalité qui est le risque d'incendie.

Les différents sous-systèmes retenus pour cette approche sont représentés sur la

Figure suivantes. Ce sont :

- Le sous-système Bâtiment ;
- Le sous-système « occupants » ;
- Le sous-système « service d'intervention » ;
- Le sous-système « environnement ».



*Composition du système Risque incendie/Bâtiment*

## i - Le sous-système Principal Bâtiment

Ce sous-système Bâtiment se décompose en deux sous-systèmes en interaction qui permettent de définir la propagation des fumées (sous-système « propagation ») tout en suivant les effets des différents organes de sécurité (sous-système « alerte/détection/protection »).

### 1. Le sous-système Propagation

Le sous-système propagation est utilisé pour analyser l'évolution de l'incendie depuis son déclenchement jusqu'à la fin du scénario de développement du feu, qui pourra être soit un temps défini (on étudie le scénario de feu pendant 20 min par exemple), soit l'atteinte d'un événement (feu généralisé, décès multiples).

Pour faire cette étude, nous avons besoin des informations suivantes :

- lieu où s'est déclenché l'incendie ;
- caractéristiques du foyer (intensité, loi d'évolution) ;
- conditions de propagation d'un local à un autre.

Les conditions de propagation dépendent de l'état des éléments définissant les limites du local vers l'extérieur (murs et fenêtres) et vers les autres locaux (cloisons et portes). Les états initiaux des portes et fenêtres (ouvertes ou fermées) et l'évolution au cours du scénario doivent être connus. On définit donc des conditions de rupture ou de destruction des ouvrants liées aux conditions dans le local. Il faut aussi tenir compte de l'ouverture des ouvrants par les occupants, notamment en cas d'évacuation d'une pièce. Dans une première approche, les cloisons et les murs ayant des caractéristiques telles que leur tenue au feu est bien supérieure à celle des ouvrants, il faut s'intéresser avant tout aux seuils de rupture des ouvertures, fenêtres et portes pour ce qui concerne la survie des occupants.

Par exemple, ils peuvent être définis ainsi :

*« TZH correspond à la température de la zone haute. Dans notre modèle, nous définissons deux zones une zone basse, à température ambiante, et une zone haute à la température des gaz chauds. La limite entre les deux zones est ZD, hauteur de discontinuité. »*

- Fenêtres :  
TZH > 200°C<sup>1</sup> et ZD < Zlinteau lorsqu'il s'agit de simple vitrage, il y a rupture dans un délai de 1 à 5 minutes après que ce seuil soit atteint.  
Nous supposons qu'avec du double vitrage, le seuil est de 600°C.
- Portes :  
Seuil de début de pyrolyse à TZH > 250°C (et ZD < Zporte) ; la porte sera détruite entre 5 et 15 min (tir aléatoire sur la vitesse de destruction). Si l'ouverture (porte) a été détruite, elle ne pourra plus être fermée.

Pour l'étude de la ruine de l'ouvrage, il est alors nécessaire de prendre en compte les seuils de comportement des murs, cloisons et planchers.

### 2. Le sous-système Alerte/détection/protection

Le sous-système « alerte/détection/protection » permet de tenir compte des différents éléments de sécurité du bâtiment. Il peut s'agir :

- de la détection qui a pour objectif de déceler et signaler, le plus tôt possible, la naissance d'un incendie, afin de réduire le délai de mise en oeuvre de mesures adéquates de lutte contre l'incendie. Cette installation permet la mise en sécurité d'une zone, au niveau des fonctions suivantes :
  - Le compartimentage,
  - L'évacuation des occupants,
  - Le désenfumage,

- L'extinction automatique,
- La mise en arrêt de certaines installations techniques.
- de l'alarme qui est un avertissement donné au personnel (et au public dans certains cas), par un signal sonore et / ou visuel à l'intérieur de l'établissement. C'est en fait l'ordre d'évacuer rapidement le bâtiment. L'alarme peut être restreinte, dans ce cas, un signal sonore et visuel prévient le poste de sécurité (soit la direction ou le gardien, soit le personnel désigné à cet effet) lors de la naissance d'un sinistre. Elle peut aussi être générale et, dans ce cas, la diffusion du signal sonore est faite à tous les occupants du bâtiment ;
- de l'alerte qui est la retransmission vers les services de secours publics. Elle est transmise en général par le téléphone ;
- des moyens d'extinctions comme les Robinets d'Incendie Armés (RIA), les extincteurs, les sprinklers. Le déclenchement des sprinklers a lieu : -
  - quand la température de la zone haute dépasse les 68°C ;
  - avec une constante de temps comprise entre 80 et 120 secondes pour le type de sprinklers standard.

Les conséquences sur le système sont les suivantes : -

- lorsque les sprinklers se déclenchent dans le local du foyer, l'intensité de celui-ci est diminuée par l'énergie absorbée par l'eau. Une tête de sprinkler a un débit de 80 l/min. En tenant compte uniquement de la chaleur latente de l'eau (2200 KJ/kg), on aura une diminution de l'énergie produite dans le local source de 2 900 KJ/s par tête de sprinkler ;
- Si les sprinklers se déclenchent dans une autre zone, leur effet est à définir (travail ultérieur).

## ii - Le sous-système occupants

Le sous-système « occupants » permet de représenter le flux des personnes présentes dans le bâtiment et leurs conditions de survie. Il représente principalement l'évacuation des personnes, c'est à dire la mise à l'abri d'un danger imminent du personnel et du public, en les dirigeant vers une zone de sécurité qui sera souvent l'extérieur. L'évacuation est l'objectif essentiel de la sécurité des personnes.

Dans le cas d'un incendie, le temps qui s'écoule entre le début de l'incendie et la fin de l'évacuation, délai appelé "délai d'évacuation", doit être inférieur au "délai de survie" des personnes se trouvant dans le bâtiment. Ces délais sont influencés par la conception architecturale des cheminements, les mesures et moyens de protection en place et l'organisation de la sécurité.

L'analyse du délai d'évacuation est complexe et dépend non seulement des conditions matérielles, mais aussi du comportement des occupants. Dans cette approche, la vision simplifiée de cet aspect des choses est la suivante :

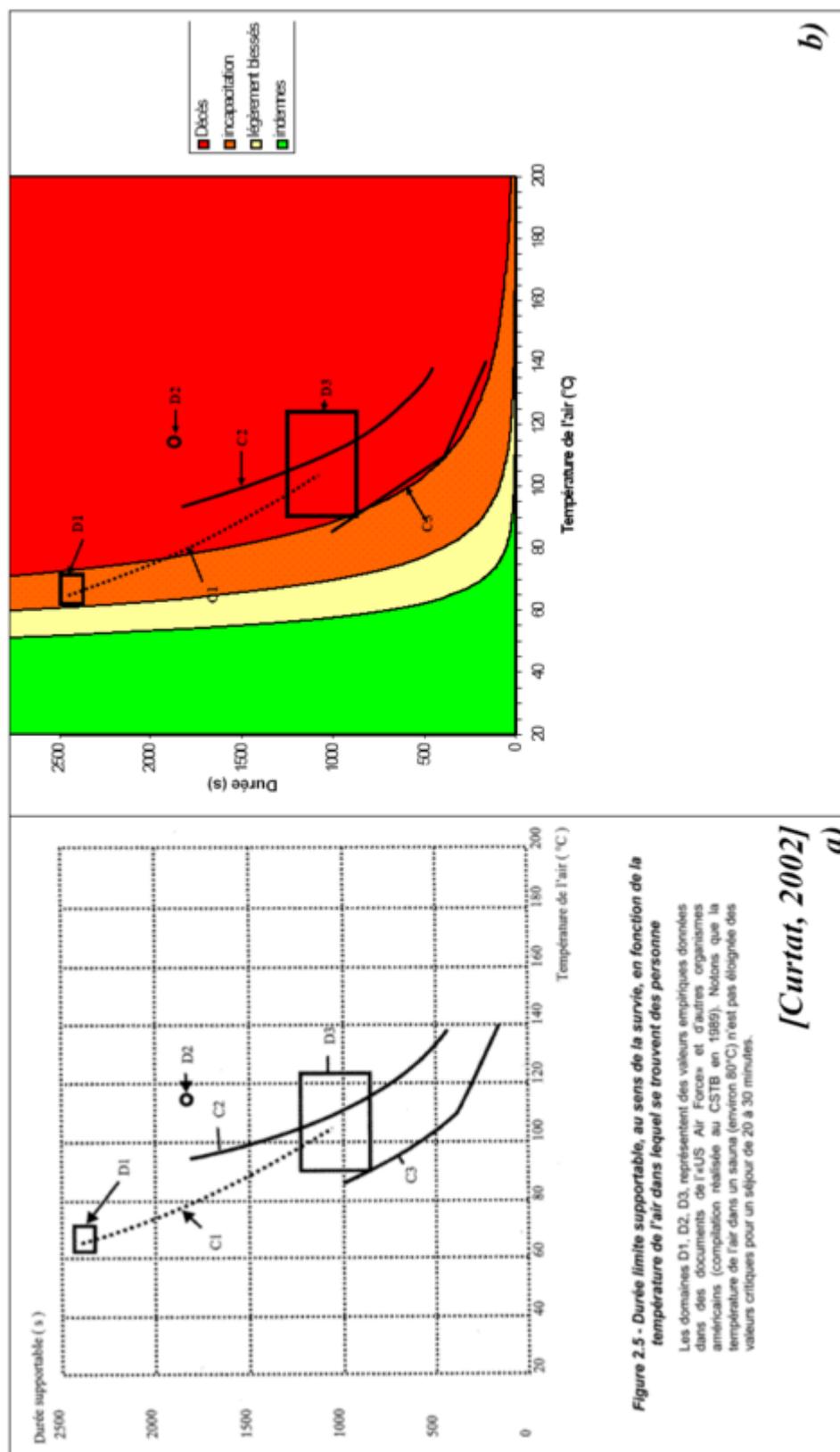
- Pour que les occupants évacuent, il est nécessaire qu'ils soient alertés, soit par le système d'alerte lié à la détection, soit par la présence de fumée dans le local où ils sont. Il faudra donc prendre en compte plusieurs délais :
  - Le temps d'information : Délai nécessaire à la découverte du sinistre (détection automatique, rondes...) ;
  - Le temps d'alerte et de mise en mouvement : Délai dû à la transmission de l'alerte vers les équipes de sécurité, à la reconnaissance des lieux et aux premières mesures de sécurité prises.

A partir de la prise de conscience de la nécessité d'évacuer, un temps plus ou moins long va exister avant le début effectif de l'évacuation.

- Les personnes sont considérées comme sauvées quand elles atteignent l'extérieur du système modélisé.

Des paramètres influent sur l'évaluation effectuée, tels que l'instant de déclenchement du sinistre (jour de la semaine, heure), le nombre de personnes présentes dans chaque local en fonction du temps ou le temps de réaction des personnes. Il serait aussi plus réaliste de prendre en compte des seuils de dommages corporels différents en fonction de la température et des conséquences sur les personnes. On pourrait utiliser différentes zones comme sur la Figure suivante (b) qui correspondraient à différents niveaux de gravité des conséquences sur les personnes. De la zone verte, indemnes, à la zone rouge décès, en passant par la jaune, légèrement blessés, et l'orange, incapacitation. Ces différentes zones ont été élaborées à l'aide de la Figure suivante (a).

Comme ces chiffres sont élaborés pour une température uniforme de la zone, ils ne prennent pas en compte les paramètres de notre étude qui considèrent comme zone chaude uniquement la zone haute, enfumée.



*Durée limite supportable en fonction de la température de l'air dans lequel se trouvent une personne*

On définira donc des conditions de tenabilité pour les personnes avec deux seuils : -

- Un seuil d'évacuation ( $TZH < 185^{\circ}\text{C}$  et  $ZD < 1.80\text{m}$ ) qui signifie qu'en deçà de ce seuil les personnes sont encore capables d'évacuer. On prendra un délai

de 1 à 5 secondes pour l'évacuation proprement dite entre l'instant où la personne est alertée et sa sortie du local type bureau et de 2 à 10 secondes pour la sortie du local type couloir.

- Un seuil de dommages corporels, qui une fois dépassé, peut entraîner le décès des personnes ( $TZH > 195^{\circ}\text{C}$  et  $ZD < 1.60\text{m}$ ). La gravité des conséquences sera définie en fonction du temps d'exposition :
  - De 0 à 30 s : légèrement blessé ;
  - De 30 à 300 s : incapacitation ;
  - De 300 à 600 s : décès.

### iii - Le sous-système Service d'intervention

Le sous-système « service d'intervention » contient tous les éléments de la procédure d'intervention des services de secours, depuis l'appel jusqu'à l'intervention.

Dans cette approche, nous supposons que le service d'intervention est prévenu au moment de l'alerte et qu'il peut intervenir dans un délai à fixer, généralement compris entre 10 et 20 minutes.

### iv - Le sous-système Environnement

Le sous-système « environnement » permet de représenter tout ce qui est à l'extérieur du système analysé, qu'il s'agisse aussi bien de routes, de parkings, de lotissements, de voie ferrée, de rivière, ... et de toutes les contraintes qui sont liées à ces éléments.

## d) 3 - Définition des scénarios de départ de feu

Les données nécessaires à la définition des scénarios de départ de feu concernent :

- la localisation dans le bâtiment du premier foyer et la puissance de ce foyer (kW en fonction du temps) ;
- un ensemble d'informations sur les dimensions des volumes, la nature des parois, les ouvertures ..., qui a été recensé dans la partie précédente

Il est utile de pouvoir disposer de moyens d'aider à ne pas oublier des scénarios de départ de feu importants.

Trois étapes ont été retenues :

- 1<sup>ère</sup> étape : Effectuer une enquête sur le bâtiment et sur son activité  
Cette enquête est utile pour recueillir tous les éléments nécessaires à la définition des situations de danger. Elle sera réalisée à l'aide d'un guide que nous avons appelé Guide d'Analyse Pour la Sécurité Incendie (G.A.P.S.I).  
Ce guide permet de définir la manière dont est organisé le bâtiment et plus précisément chaque local, la manière dont ils sont utilisés et aussi d'identifier les pratiques liées aux usagers. Les informations de ce guide devront être saisies par un expert à l'issue d'une visite du bâtiment de préférence en pleine activité afin de se rendre compte des situations réelles de danger. Cet expert doit avoir au préalable un minimum de connaissances en matière de sécurité incendie.
- 2<sup>ème</sup> étape : Evaluer la criticité des locaux  
Un outil informatique de type Excel permettra in fine de représenter dans un graphe chaque local (sous forme de point (Figure ci-dessous) avec en abscisse la fréquence d'apparition d'un départ de feu pour ce type de local par rapport à tous les incendies constatés pour une activité donnée dans un même type de bâtiment et en ordonnée la gravité des conséquences sur le local évaluées selon cinq paramètres :
  - a. la puissance d'incendie du local (charge calorifique et vitesse

- d'évolution);
- b. l'évacuation du local ;
- c. les équipements de sécurité ;
- d. les occupants ;
- e. l'accessibilité des services d'intervention ;

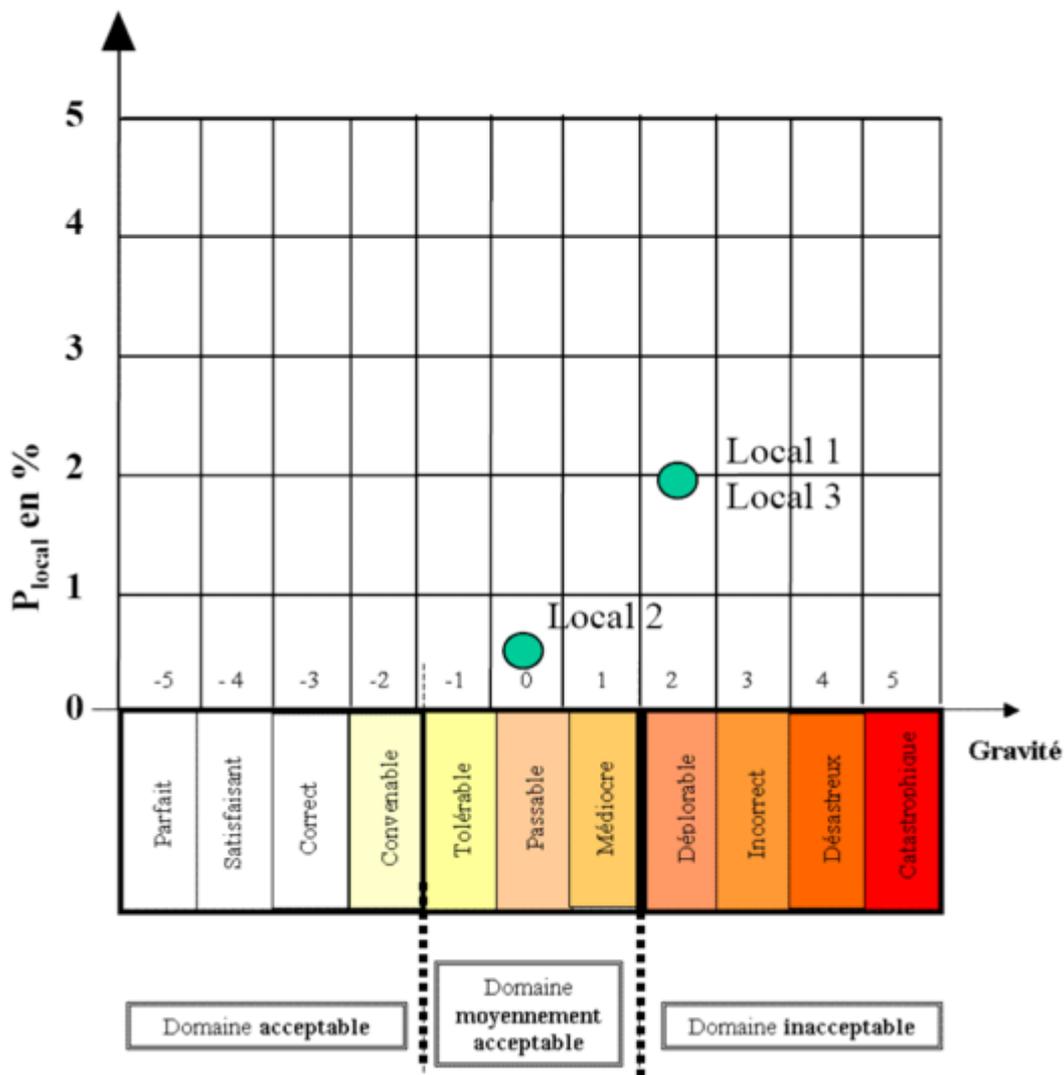
Cette étude permet tout d'abord de déterminer la probabilité qu'un incendie se déclare dans le bâtiment (**Pbâtiment**), puis de déterminer la probabilité d'occurrence d'un départ de feu dans un local (**Plocal**) et d'estimer la gravité des conséquences sur ce même local.

« **Pbât** défini la probabilité d'un départ de feu annuel dans un bâtiment de type et de surface au sol de plancher donnés »

« **Plocal** » « défini la répartition des départs de feu par local dans un bâtiment. Cette probabilité est déterminée à l'aide du recueil des interventions de la brigade des sapeurs pompiers de Paris et de pondérations en fonction de l'utilisation des locaux. Les pondérations seront réalisées par un expert selon cinq critères (la puissance d'incendie du local, l'évacuation du local, les équipements de sécurité, les occupants et l'accessibilité des services d'intervention). »

L'échelle de référence de la gravité est constituée d'échelons rangés selon un ordre complet de -5 à 5 où le 0 correspond à un local au fonctionnement « standard ». 5 correspond à un local où toutes les conditions sont réunies pour aboutir à un incendie catastrophique. A l'opposé une évaluation de -5, ne signifie pas que le risque est négatif, mais que tous les paramètres définissant le local conduiront à de très faibles conséquences. Ces deux axes permettent de créer un Graphe représentatif des locaux selon leur fréquence et leur gravité estimée.

Les pré-évaluations correspondantes à ces cinq critères ont pour objectifs de sélectionner des locaux en terme de fréquence et de gravité pour générer des scénarios de développement du feu significatifs. Le graphe obtenu pour chaque bâtiment représentant les locaux sous forme de nuages de points met en évidence les locaux qui nécessitent une étude dans laquelle il est possible de générer des scénarios de développement du feu en priorité.



Probabilité estimée d'un départ de feu dans un local

- 3<sup>ème</sup> étape : Evaluer la probabilité d'occurrence d'un scénario de départ de feu

Pour compléter cette analyse des scénarios de départ de feu, il va falloir définir les paramètres du foyer potentiel et sa probabilité **Pévolution**.

« *Pévolution définit la probabilité d'un type de foyer et de son évolution dans un local donné.* »

Au final La probabilité d'occurrence d'un scénario de départ de feu, **Pdépart** peut être évaluée :

$$P_{départ} = P_{évolution} \times P_{local} \times P_{batiment}$$

#### e) 4 - Simulation et évaluation des conséquences

##### Objectif et principe

L'objectif de la simulation consiste à dérouler un scénario de développement du feu à partir des données recensées dans les deux étapes précédentes, la description du système et la définition des scénarios de départ de feu.

Un scénario de départ de feu s'arrête lorsque l'ouvrage est détruit ou l'incendie maîtrisé. La simulation du déroulement de l'incendie permet de déduire les conséquences en terme de gravité sur les biens, les personnes, et d'une manière générale par rapport aux enjeux fixés.

Cependant, nombre de ces données sont en fait aléatoires : la nature, l'emplacement et le moment de démarrage du premier foyer (jour ou nuit), l'état des ouvertures (porte ouverte ou fermée lors du démarrage de l'incendie), le moment de percement d'une cloison, l'instant de déclenchement d'une alarme ... Les données aléatoires sont ainsi à associer à des densités temporelles de probabilité (moment de rupture d'une porte ), ou bien à des probabilités d'occurrence (par exemple, l'allumage d'un foyer considéré).

Ainsi le but de la simulation ne consiste pas à simuler un seul déroulement de départ de feu, de manière déterministe, mais à prendre en compte le caractère aléatoire des données, pour simuler des milliers, voire des millions d'histoires du même départ de feu. Par exemple, dans une première histoire la porte coupe-feu 2h cédera au bout de 2h15, dans une autre histoire au bout de 1h59, les services de secours arriveront sur les lieux 12 minutes après le départ de feu dans le premier cas, dans un autre 15 minutes après, etc.

Cette simulation, de type Monte Carlo, basée sur le déroulement d'un grand nombre d'histoires permettra de produire des probabilités d'occurrence de certains événements tels que décès dans l'escalier, blessé grave dans les bureaux, destruction du bâtiment, etc.

*« La description du modèle sera décrite plus en détail dans le chapitre "modélisation". »*

En termes d'outils, les réseaux de pétri temporisés sont utilisés pour décrire les différents systèmes, associés à un outil de simulation de Monte Carlo pour calculer un grand nombre d'histoires à partir de tirages aléatoires sur les différentes données.

## Analyse des résultats

Cette analyse se fait au regard de l'étude des risques encourus dans le bâtiment selon les objectifs initialement fixés. A l'aide de la simulation et de l'évaluation des conséquences des scénarios de développement du feu, il est possible de comparer les probabilités d'occurrence des événements indésirables aux objectifs en plaçant un bilan de l'évaluation obtenue dans les grilles « probabilité X gravité » définies.

- L'exemple suivant, limité aux conséquences sur les personnes, montre les probabilités d'occurrence par rapport à quatre niveaux de gravité fixé dans les objectifs.

	Indemne	Blessés légers	incapacitation	décès
Local 1	1	0	0	0
Local 2	1	0	0	0
Local 3	0	0,04	0,07	0,89

Tableau 23 : Probabilités d'occurrence sur les personnes par local

Exemple de probabilité d'occurrence d'un événement non souhaité sur les personnes dans des locaux

Ce premier tableau retourne le résultat d'une simulation sur la base du calcul de 2000 histoires de déroulement du même scénario de départ de feu. Par exemple dans le local 3, il y a décès des personnes dans 89% des cas, incapacitation dans

7% et blessures légères dans 4%.

Dans un second temps, le calcul des fréquences résulte de la probabilité d'occurrence de l'événement non souhaité pour ce départ de feu, multipliée par la probabilité de ce scénario de départ de feu simulé qui a conduit à ce résultat ( ici  $2 \cdot 10^{-4}$ ).

Par exemple dans le local 3, la probabilité de décès est de  $1.78 \cdot 10^{-4}$ .

	Indemne	Blessés légers	incapacitation	décès
Local 1	2.10-04	0	0	0
Local 2	2.10-04	0	0	0
Local 3	0	8.10-06	1,40.10-05	1,78.10-04

Tableau 24 : Fréquences d'occurrence sur les personnes par local

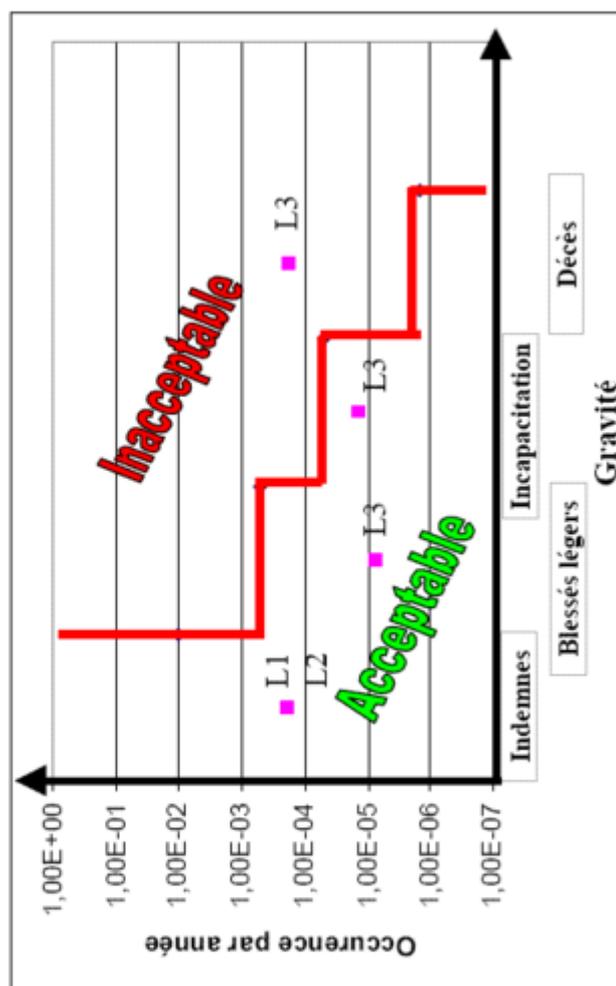


Figure 76 : grille « probabilité X gravité » sur les personnes

Exemple d'analyse de résultats de simulation

Ces résultats ont été placés sur la grille probabilité x Gravité des personnes élaborée lors de la définition des objectifs de risques. Il apparaît alors clairement, dans ce cas, que le local 3 ne satisfait pas les objectifs visés.

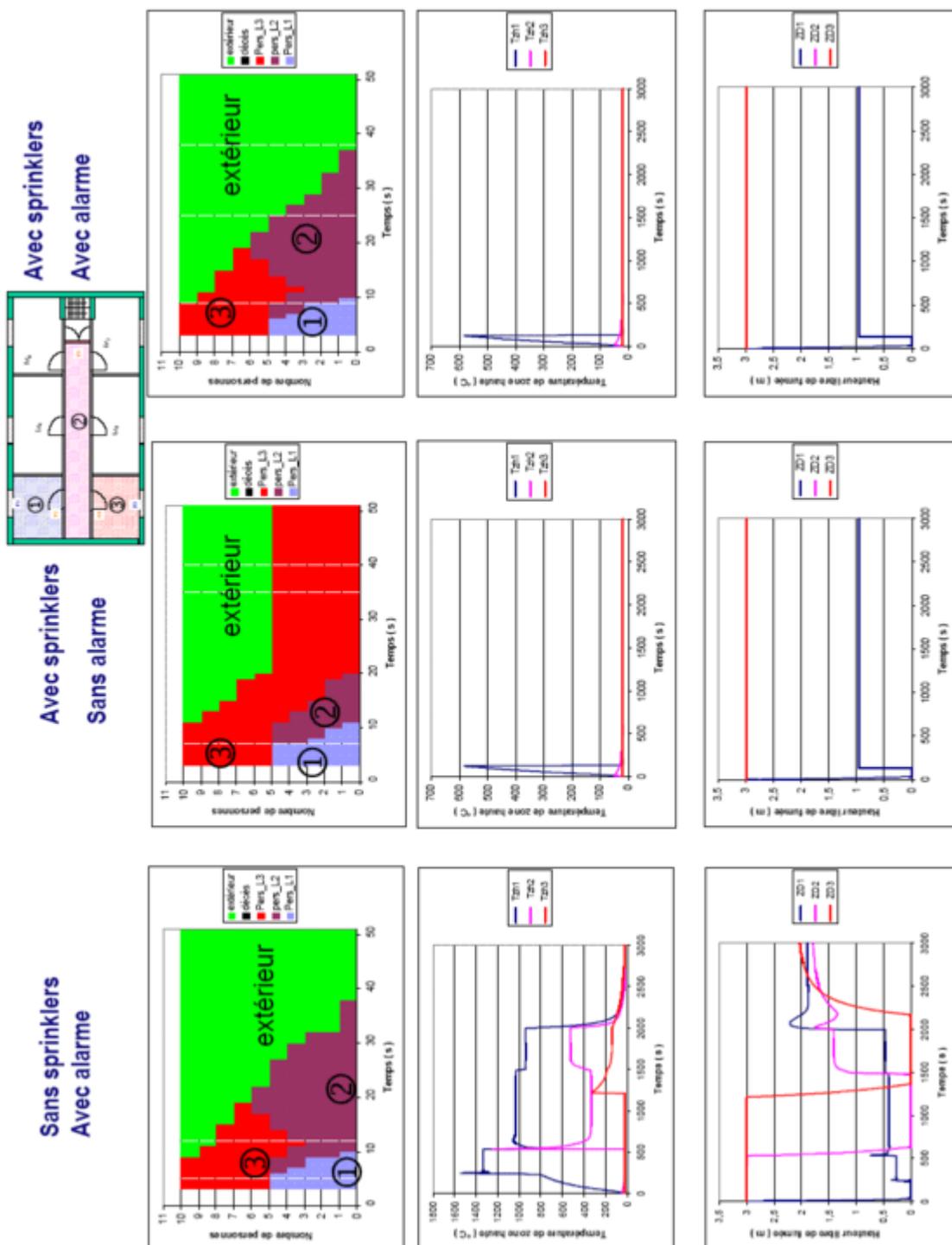
### Simulation d'actions de réduction de risques

---

L'intérêt premier de la simulation réside dans la détection des points faibles dans le bâtiment qui entraînent des risques importants (cf. figure ci-dessus). Dans ce premier cas, les résultats obtenus sont toujours critiquables, et il faut les aborder avec beaucoup de sens critique.

Le second intérêt est de pouvoir tester la mise en place de mesures correctives qui permettront de diminuer le risque. Il s'agit alors d'intervenir sur la description du système, pour introduire des modifications, puis de relancer la simulation. La comparaison des résultats avant et après prend alors tout son sens : l'analyse des résultats ne se fait plus en valeur absolue, mais sur une évolution des probabilités d'occurrences d'événement.

L'exemple suivant illustre cette problématique. Il s'agit de l'étude d'impact de sprinklers et d'un système d'alarme. La Figure suivante décrit l'évolution des conditions dans les locaux et les conséquences sur les occupants. On peut dans un premier temps comparer ces résultats à ceux de la configuration initiale, sans sprinklers, sans alarme.



Exemple d'évaluation d'actions de mise en sécurité sur un scénario

Ce type de simulation permet d'analyser l'impact sur les objectifs visés, par exemple, le système d'alarme permet d'intervenir essentiellement sur l'objectif préserver les vies, alors que le sprinkler intervient essentiellement dans la préservation des biens. (dans cet exemple).

L'installation d'un système d'alarme n'a pas d'impact sur les conditions dans les différents locaux. En effet, les courbes des températures et des hauteurs libres de fumée sont identiques à la configuration initiale (non présentée) pour la hauteur libre de fumée et pour l'évolution des températures. Les conséquences sur les biens

resteront donc inchangées. L'impact du système d'alarme est uniquement sur les personnes qui évacuent plus rapidement du bâtiment. Il n'y a plus personne au bout de 40s environ.

L'installation d'un système de sprinkler permet de rapidement éteindre le foyer. Les conséquences sur les biens sont fortement diminuées et concentrées dans le local source (local 1). Les personnes présentes dans le bâtiment soit ont évacué (personnes présentes dans le local 1), soit sont restées dans leur bureau (personnes présentes dans le local 3) sans être inquiétées par l'incendie qui a été confiné et maîtrisé dans le local 1.

Le troisième cas étudié, cumule l'installation des sprinklers et du système d'alarme. On peut remarquer que toutes les personnes ont pu évacuer rapidement le bâtiment grâce au système d'alarme. Les sprinklers comme dans le cas précédent permettent de maîtriser et de confiner le feu dans le local source et donc de préserver les autres locaux.

Des actions correctives peuvent être envisagées par rapport à tous les éléments modélisés. Par exemple, il est possible d'agir sur le système bâtiment, tel que présenté sur l'exemple ci-dessus, mais il est aussi envisageable d'agir sur le sous-système occupant, c'est à dire le comportement des personnes par des exercices de formations, ou le sous-système Service d'intervention en renforçant le rôle des services de sécurité internes, etc.

## f) 5 - Analyse multicritère et optimisation des actions de réduction des risques

Compte tenu du fait que le gestionnaire de patrimoine agit dans un espace contraint, au moins financièrement, mais aussi par rapport à des ressources ou à des délais, qu'il est confronté à une multitude de parades possibles, il se trouve devant un problème d'aide à la décision classique.

Soit l'étude est réalisée en phase de conception, alors il s'agit d'un problème d'optimisation relativement simple, car le but est de rechercher la meilleure solution par rapport aux objectifs visés, en regard de contrainte de coût, global si possible et pas seulement d'investissement.

En revanche, si l'étude porte sur un bâtiment existant, le problème d'optimisation peut s'avérer plus compliqué.

Les actions de mise en sécurité comprennent l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management effectuées durant le cycle de vie du bâtiment et destinées à le maintenir ou à le rétablir à un niveau de sécurité donné. Ces actions de mise en sécurité ont longtemps joué un rôle correctif dont l'unique objectif était de mettre à niveau le bâtiment d'un point de vue réglementaire et, ainsi, «avoir le feu vert» de la commission de sécurité pour pouvoir continuer à exploiter le bâtiment. Ces actions correctives étaient axées sur le court terme et ne résolvaient en rien les problèmes liés aux véritables dangers encourus dans le bâtiment.

Par opposition, les actions de diminution de risques identifiées selon cette logique d'ingénierie de la sécurité incendie visent donc moins à mettre « en règle » le bâtiment qu'à anticiper les sinistres probables. L'arrêt total ou partiel d'utilisation du bâtiment, et le non-respect des délais qui s'en suivent, engendrent des surcoûts que le gestionnaire de patrimoine n'est plus en état de supporter. Le bâtiment doit donc rester fonctionnel, ce qui contraint le gestionnaire à prévoir et analyser les effets d'un incendie sur le long terme. Autrefois corrective, la mise en sécurité du bâtiment devient préventive et contribue à améliorer le niveau de sécurité et de qualité du bâtiment. Ces actions de mise en sécurité préventives se traduisent par la définition de plans d'actions et d'interventions sur le bâtiment, par le remplacement de certains équipements en voie de dégradation afin d'en limiter l'usure, par la formation des occupants, l'installation de nouveaux équipements,...

Le problème de limitations des risques se décompose en deux sous-objectifs non indépendants :

- Quelles sont les meilleures actions à mettre en œuvre ?
- Comment programmer ces actions dans le temps ?

L'étape initiale permettra d'enrichir les actions étudiées lors de la phase de simulation par des données complémentaires indispensables à leurs analyse. Par exemple, il faudra qualifier leur coût d'investissement, le coût de fonctionnement soit par an , soit sur une période de quelques années ( 5,10, 15 ans, ...), les délais de mise en œuvre, etc.

Il faudra aussi traduire, par des critères, l'impact de chaque action sur les objectifs fixés. L'ensemble des actions peut être regroupé dans une matrice de décision.

	% de scénarios acceptables				Actions		
	Personnes	Biens	Structure	Environnement	Délais (semaines)	Investissement (euros)	Fonctionnement (euros/an)
A0	70	38	60	80			100
A1	98	38	60	80	2	2500	200
A2	95	70	95	68	6	16000	500
A3	98	70	95	68	8	18500	700

Tableau 28 : Matrice de décision

Exemple de matrice de décision

Dans cet exemple, quatre actions ont été identifiées, les quatre premières colonnes traduisent les résultats de la simulation en terme de critère de choix. Ici , ils ont été ramenés à une échelle de 100. Cela signifie que la première action (qui traduit l'état actuel du bâtiment) apporte une satisfaction de 70% vis à vis des risques sur

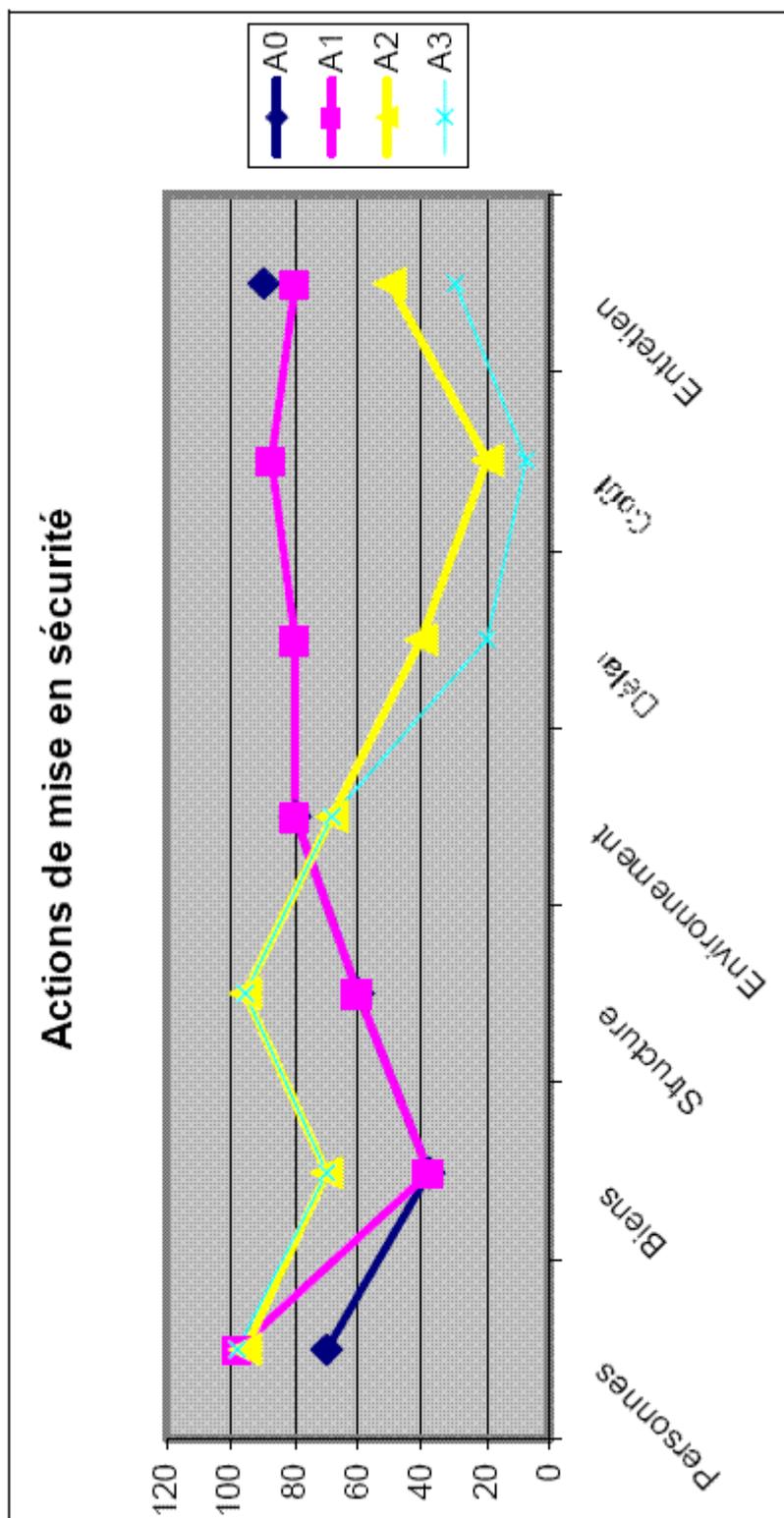
les personnes, 38% vis à vis des biens, etc.

Dans cet exemple simplifié, les 4 actions sont exclusives, ce qui signifie qu'une seule action sera choisie. Mais, il est aussi possible de complexifier le problème en programmant plusieurs actions, voire en combinant les actions entre elles.

Ainsi, le gestionnaire peut engager différentes approches d'aide au choix en fonction de ses souhaits et du type de problème qu'il cherche à résoudre.

- La première démarche possible consiste à pratiquer une analyse de satisfaction. Il s'agit d'un simple tri des actions en fonction de seuils minimaux imposés sur tout ou partie des critères ;
- Il peut ainsi éliminer des actions ne donnant pas un pourcentage suffisant de scénarios favorables sur tel ou tel type de dommages, ou encore éliminer des actions trop chères ou trop longue à mettre en oeuvre ;
- Si les actions potentielles sont encore trop nombreuses après ce premier tri des actions, il faut alors engager une comparaison des actions à partir de méthodes multicritères.

Le schéma ci-dessous permet au décideur de visualiser les actions qu'il compare, les radars sont aussi classiquement utilisés pour schématiser ces résultats.



Visualisation de la matrice de décision par la méthode des profils

Le gestionnaire pourra favoriser dans son choix le budget, les délais de réalisation, le coût de fonctionnement, une vision pluriannuelle.

Souvent aussi il devra intégrer ces actions dans une logique plus large de gros travaux de maintenance et d'aménagement, et faire porter son analyse sur un parc immobilier c'est à dire sur plusieurs bâtiments, mais cela sort du cadre de cette étude.

## 2. La modélisation du système "Incendie"

### a) Les principes de la modélisation

La modélisation est basée sur l'utilisation des réseaux de Petri pour représenter le système, et plus particulièrement ses 4 sous-systèmes :

- Le sous-système Bâtiment ;
- Le sous-système « occupants » ;
- Le sous-système « service d'intervention » ;
- Le sous-système « environnement ».

Le sous-système Bâtiment repose sur deux notions de base, les locaux et les équipements.

- Par **local** , nous considérons toute partie élémentaire du bâtiment pouvant constituer une entité vis à vis de l'incendie. Un local peut donc être tout aussi bien une pièce, un couloir, un escalier ou même une gaine technique.
- Un local peut même regrouper différents locaux si nécessaire. Ainsi, plusieurs locaux de type « pièce » peuvent-ils être regroupés pour constituer un local de niveau géométrique supérieur, appelé « **zone** ».

Il est ainsi possible de constituer des entités plus vastes dont les éléments ont un comportement commun. Cela est très intéressant pour caractériser, par exemple, des zones thermiques ou acoustiques. Il est ainsi possible de constituer une zone thermique « Nord » dont les équipements et le comportement thermique seront différents de ceux d'une zone thermique « Sud ». Même si la configuration géométrique est identique par exemple, les équipements seront certainement différents et le comportement de chaque zone devra être séparé. Cette notion de zone peut aussi être utilisée pour la sécurité incendie pour, par exemple, regrouper des locaux d'un même étage dotés d'équipements d'alarme ou de sécurité similaires. Pour de vastes bâtiments, la notion de zone permet aussi de réduire le nombre d'entités volumiques à considérer et par conséquent, le nombre des interfaces entre ces entités.

- La notion d'**équipement d'un local** fait référence à tout système technique ou constructif pouvant avoir une influence sur le déroulement de l'incendie. Les ouvertures d'un local de type « pièce », portes et fenêtres, sont considérées comme des équipements puisque leur comportement dans le temps sous l'effet de l'incendie influence le déroulement ainsi que leur manipulation par les occupants, portes et fenêtres ouvertes ou fermées. Les gaines de ventilation dans un couloir sont considérées comme un équipement de ce local. Les gaines verticales pourront être considérées comme des locaux en tant que tels ou comme un équipement d'un local de type « cage d'escalier ». Le choix entre les deux solutions est laissé à l'appréciation de l'utilisateur, mais dépend aussi du positionnement géométrique de la gaine technique considérée.

La modélisation par les réseaux de Petri (RdP) est donc basée sur les quatre principes complémentaires suivants :

1. Des réseaux de Petri élémentaires permettant de décrire les différents éléments d'un sous-système;
2. La communication entre ces réseaux élémentaires
3. des modèles de calcul des grandeurs physiques liées à l'incendie.
4. Un assemblage des réseaux élémentaires pour reconstituer le modèle du projet étudié.

## Les réseaux de Pétri élémentaire

Un modèle est donc constitué de nombreux réseaux de Petri élémentaires (RdPE) et indépendants décrivant chacun le comportement vis à vis de l'incendie d'un équipement ou décrivant l'état d'un local. Il est ainsi possible de proposer des RdPE génériques décrivant une fois pour toutes le comportement de tel ou tel équipement dans tous les cas. Ces RdPE génériques sont considérés comme des blocs qui peuvent être ensuite instanciés pour décrire le comportement d'un équipement particulier de même nature.

Ainsi, le même RdPE générique « porte » permettra de décrire toutes les portes d'un même local de type « pièce » par exemple.

D'autres RdPE sont construits pour décrire les autres sous-systèmes intervenant dans la sécurité incendie. Il s'agit par exemple de RdPE construits pour décrire les équipements de sécurité et/ou de détection ou le système d'alarme. Ce sont aussi des RdPE construits pour décrire les conditions d'intervention du service de secours ou le comportement des occupants. Ces différents RdPE peuvent être modélisés de façon plus ou moins fine selon les connaissances que les acteurs sont capables de formaliser et selon leur fiabilité.

## La communication entre ces réseaux élémentaires

La connexion indispensable entre les différents RdPE pour décrire correctement le développement d'un événement incendie s'effectue par le biais de messages qui sont échangés entre les différents RdPE concernés. Ces messages portent sur l'état d'un local vis à vis de l'incendie ou sur le comportement de tel ou tel équipement qui conditionne alors la propagation de l'incendie. Le comportement d'un équipement se traduit en fait par des changements d'état du système qui sont susceptibles d'entraîner un déroulement différent de la propagation de l'incendie. L'état des composants ou des équipements ne peut être correctement évalué qu'au travers de grandeurs physiques comme la température ou la hauteur de fumée dont les valeurs conditionnent les messages envoyés dans les RdPE et leurs transitions, c'est à dire les changements d'état qui en résultent. Ainsi, par exemple, la destruction par pyrolyse d'une porte entre deux locaux peut être constatée si la température de la zone chaude dans l'un des deux locaux atteint une valeur donnée pendant un temps suffisant. Il est ainsi nécessaire de connaître à chaque instant la température de la zone chaude de fumée et la hauteur de cette zone chaude.

## Des modèles de calcul de grandeurs physiques liées à l'incendie

La hauteur de la zone chaude de fumée et la température de cette zone chaude doivent être calculées dans chaque local. Des modèles multizones relativement complexes ont été construits historiquement par le CSTB et d'autres organismes pour évaluer les paramètres de l'incendie et leur évolution dans le temps. Ces modèles sont complexes et nécessitent des temps de calcul importants même avec les ordinateurs rapides actuels.

Mais il est aussi possible d'utiliser des modèles simplifiés, plus rapides, basés sur des hypothèses plus basiques permettant de décrire plus facilement un comportement approché des fumées et d'évaluer des températures de fumée. En effet, l'évaluation rapide des grandeurs physiques (hauteurs de fumée, températures) est un impératif absolu si l'on veut maintenir l'objectif d'évaluer les dommages potentiels d'un incendie par la simulation de très nombreux scénarios d'incendie différents par les RdP dans des temps de calcul raisonnables.

Sans entrer dans le détail, les comparaisons menées par Julien Chorier au cours de sa thèse montre que des modèles simplifiés apportent des résultats très comparables aux modèles de calcul complexe pour cette approche.

## Un assemblage des réseaux élémentaires pour reconstituer le modèle du projet étudié.

Cet aspect concerne surtout le système bâtiment qui s'avère très complexe à décrire.

Les différents RdPE peuvent être regroupés pour décrire les relations entre les « objets » du bâtiment. Il est ainsi possible de traduire la géométrie du bâtiment et la disposition des pièces les unes par rapport aux autres, ainsi que les composants et équipements présents dans chacune d'elle.



### Complément : Les réseaux de Pétri

Le lecteur trouvera une abondante littérature sur les réseaux de Pétri.

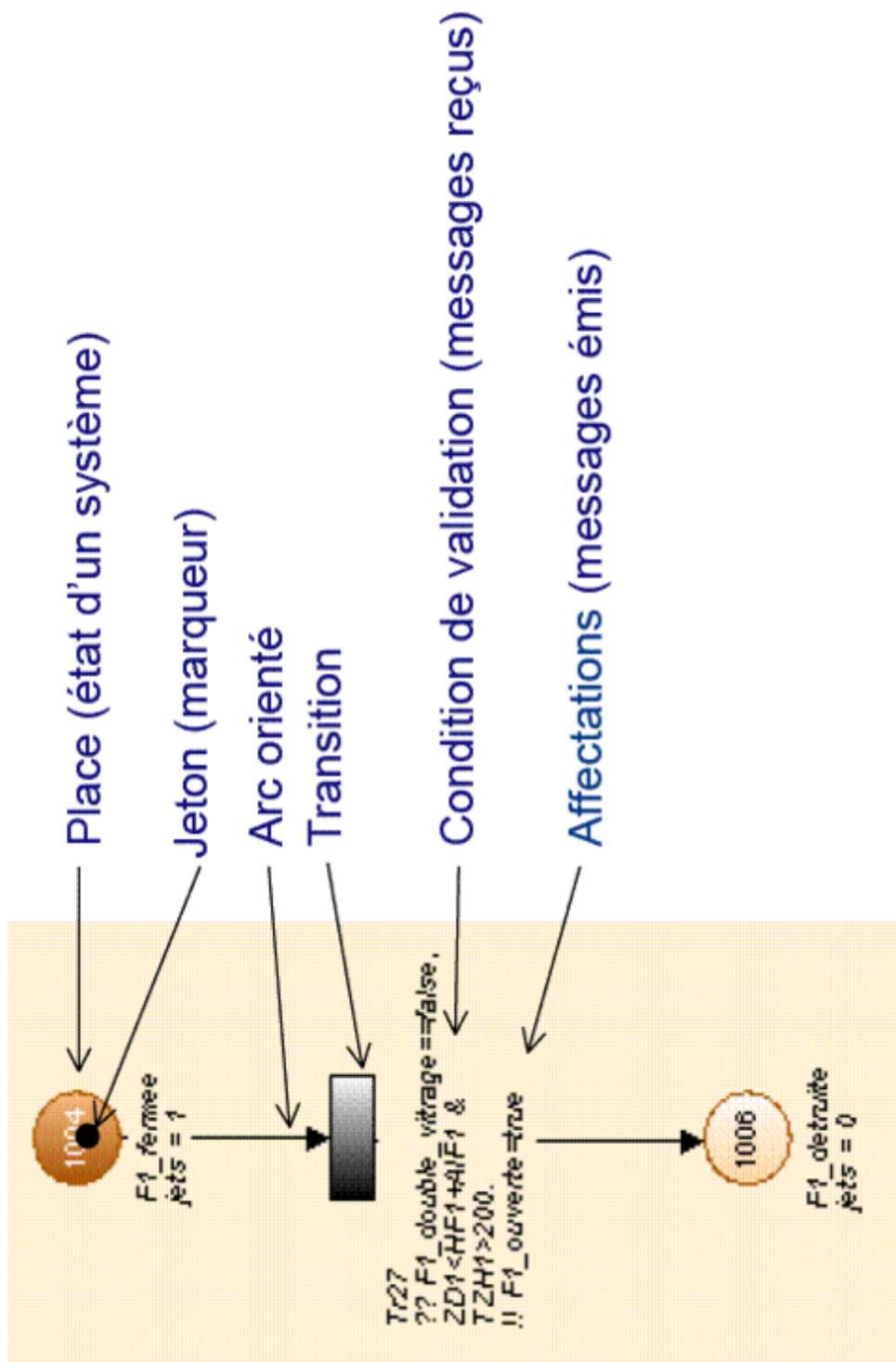
Les réseaux de Petri sont largement utilisés pour la modélisation et l'analyse de systèmes à événements discrets. Ce succès est dû à de nombreux facteurs. Parmi ceux-ci, nous pouvons relever leur simplicité de compréhension, leur nature graphique se prêtant sans grande difficulté à la modélisation de phénomènes complexes, et la possibilité de disposer d'un arsenal de résultats mathématiques analytiques Grolleau, E., A. « *Choquet-Geniet, et al. (1999). Modélisation de systèmes temps réel par réseaux de Petri autonomes en vue de leur analyse hors-ligne, Modélisation des Systèmes Réactifs, MSR'99. Cachan, France, Hermes.* »

Le fichier suivant est un extrait de la thèse de Julien Chorier. (cf Extrait Thèse Julien Chorier - Présentation Réseaux de Pétri)

L'outil utilisé pour modéliser les systèmes (Logiciel MOCA-RP v12) offre quelques possibilités supplémentaires par rapport aux réseaux de Pétri de base.

Un réseau de Petri, est défini classiquement par :

- un graphe ;
- formé de deux types de nœud appelés places et transitions reliés par des arcs orientés
- et biparti, c'est-à-dire qu'un arc relie alternativement une place à une transition et une transition à une place ;
- composé de jetons qui passent d'une place à l'autre par l'intermédiaire d'une transition. On retrouve ces éléments sur la Figure suivante.



Réseau de Pétri : éléments de base

On peut aussi rappeler que les places correspondent à un état du système et que les transitions sont définies par trois paramètres :

- Des gardes, conditions à remplir pour que le délai de la transition puisse démarrer (condition de validation) ;

- Un délai, qui une fois écoulé permet la validation de la transition et le passage du jeton à la place suivante et donc du système à l'état suivant ;
- Des affectations, messages émis. Ces affectations ont lieu, en parallèle, après le tir de la transition et consistent en une liste de couple (variable, expression).

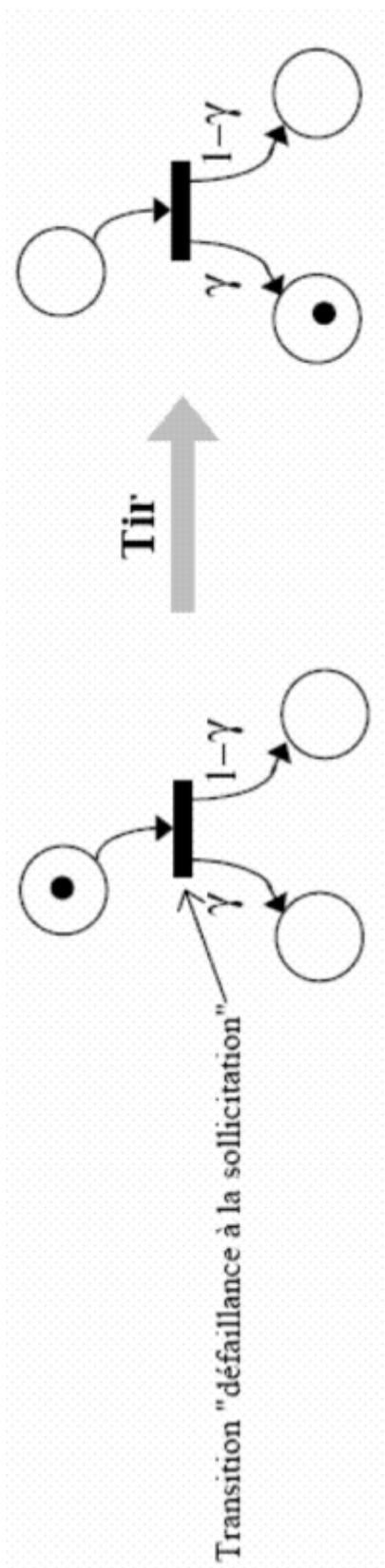
L'état initial du système est défini par le marquage initial des places. Certaines places d'entrée sont marquées quel que soit le cas particulier traité, d'autres places peuvent contenir ou ne pas contenir de jetons. Elles permettent de valider des options de simulation (défaillances de matériels de détection, pièce vide, ...). Elles sont validées avant le lancement d'une simulation. Dans la description d'une transition il est possible de spécifier une liste d'expressions booléennes qui doivent être nécessairement vérifiées pour que la transition soit valide. Ces expressions sont séparées par des virgules. Il s'agit des conditions de validation. Le message émis introduit une liste d'affectations de variables. Ces affectations ont lieu, en parallèle, après le tir de la transition et consistent en une liste de couple (variable, expression) où variable et expression sont du même type. Toutefois, il est important de préciser qu'il n'est pas possible d'affecter un nombre de jetons à une place et que les variables sont affectées avant la production de jetons.

Pour représenter les réseaux de Petri et réaliser nos simulations, nous avons utilisé le logiciel MOCA-RP. Le logiciel MOCA-RP (MOnTe-CARlo basé sur les Réseaux de Petri) est destiné à la simulation du comportement des systèmes dynamiques complexes dans le but d'obtenir, par un traitement statistique, des résultats concernant leur fiabilité, disponibilité, productivité, ainsi que tout autre paramètre probabiliste.

Le modèle du système à étudier est réalisé sous la forme d'un réseau de Petri stochastique interprété qui sert de support à une simulation de Monte-Carlo classique.

En 2002, une collaboration entre Total-Fina-Elf et la société IXI-GFI Consulting a conduit au développement de la version 12 du logiciel MOCA-RP. Cette version intègre principalement, les messages et états statistiques complexes, la possibilité d'intégrer des lois spéciales en langage C et permet aussi de thésauriser des modèles RdPS au sein de bibliothèques pour faciliter leur réutilisation par des ingénieurs non spécialistes des Réseaux de Petri.

MOCA-RP gère des lois de transition différentes pour calculer le temps de séjour dans une place amont lorsque la transition est dite sensibilisée ou franchissable. Durant ce délai, la transition doit être sensibilisée en permanence pour être tirée. Certaines de ces lois sont des lois dites à mémoire, c'est-à-dire que le temps passé dans une place n'est pas remis à zéro si la sensibilisation de la transition est interrompue avant franchissement. Cette valeur est reprise lorsque la transition est de nouveau sensibilisée. La loi dite "défaillance à la sollicitation" est une loi spécifique à MOCARP qui ne respecte pas la règle de tir d'une transition des réseaux de Petri "classiques". En effet, la règle consiste normalement à retirer un jeton dans chacune des places amont et à mettre un jeton dans chacune des places en aval. Dans le cas du tirage de ce type de transition particulier à MOCARP, on retire un jeton dans chacune des places amont et l'on met un jeton dans la place aval choisie aléatoirement en respectant les "proportions"  $\gamma$  pour la place représentant la défaillance à la sollicitation et  $(1 - \gamma)$  pour la place représentant la non défaillance lors de la sollicitation.



Règle de tir de la transition avec loi dite de "Défaillance à la sollicitation"

En général, la place amont correspond à l'état "attente" du composant, l'une des places aval correspond à l'état "panne" du composant et l'autre à l'état "fonctionnement".  $\gamma$  est la probabilité de défaillance à la sollicitation d'un composant en attente ou en d'autres termes le nombre de chances de voir le

composant refuser de fonctionner lorsqu'on le sollicite. Le délai associé au franchissement de ce type de transition est nul. Lorsque l'utilisateur ne trouve pas la loi de transition qui lui convient, parmi les lois fiabilistes actuellement implémentées dans MOCA-RP (exponentielle, log-normale, Weibull, Dirac ...), il lui est possible de programmer lui-même sa propre loi.

## b) Les réseaux de Pétri génériques

Quelques-uns des réseaux de Petri élémentaires génériques sont présentés ici, notamment ceux concernant les locaux et leurs équipements. Le lecteur se rapportera à la thèse de Julien Chorier pour de plus nombreux exemples.

### RdPE « Porte »

Le RdPE « porte » permet d'analyser les différents états possibles d'une porte lors des événements de type incendie.

La porte peut se trouver dans un des trois états suivants :

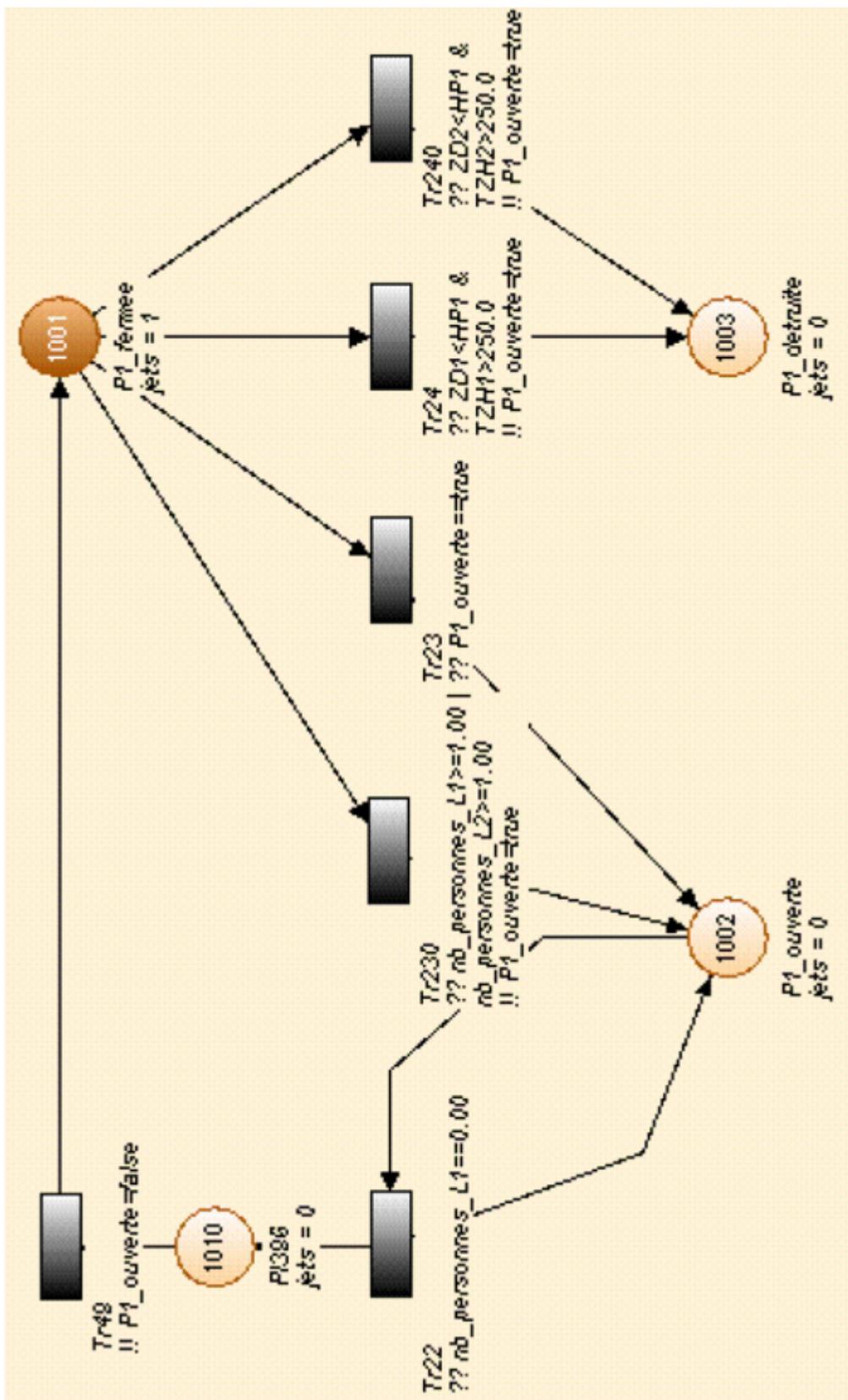
- Etat « ouvert »
- Etat « fermé »

Ces deux premiers dépendent du comportement des usagers qui est défini par une loi donnée ;

- Etat « détruit » si elle subit certaines conditions de température pendant un temps défini par une loi donnée. Faisant par définition communiquer deux locaux, notés localL1 et local L2, la porte peut être détruite par un événement intervenant dans l'un ou l'autre de ces locaux.

Une porte ne doit être définie qu'une seule fois. Faisant communiquer deux locaux, les dispositions suivantes sont utilisées pour éviter toute confusion :

- une porte entre un local de type « pièce » et un local de type « couloir » est considérée comme appartenant au local « pièce » ;
- une porte vers l'extérieur appartient au local intérieur ;
- une porte entre deux locaux de même type, par exemple une porte coupe-feu entre deux locaux de type « couloir » est définie dans l'un des deux au hasard ;



Réseau de Pétri élémentaire générique Porte

A partir de la place 1001, dans laquelle figure un jeton (jets = 1) symbolisant l'état « fermé » de la porte, la transition 230 permet de gérer son ouverture aléatoire par des personnes selon une loi donnée ; dès que la transition aura été validée et tirée, la place 1002 symbolisant l'état porte « ouverte » sera affectée d'un jeton

supplémentaire.

La porte « ouverte » peut éventuellement être refermée par les usagers ou rester ouverte de façon aléatoire selon une loi définie dans la transition 22. La loi actuelle est définie par une probabilité de 0,5 pour chacun des deux événements possibles. Le retour éventuel à l'état « fermé » de la porte s'effectue par la place 1010 et la transition 49. La transition 23, quant à elle, permet de gérer l'ouverture de la porte par des occupants évacuant l'une ou l'autre des deux pièces lors d'un événement incendie. Le message « ??P1\_ouverte= true » émane donc de l'un ou l'autre des RdPE « occupants » que nous présenterons ci-dessous.

La place 1003 représente l'état « détruit » de la porte, état que l'on peut atteindre par les transitions 24 ou 240 pour un foyer dans le local 1 ou le local 2. Une porte détruite ne peut évidemment pas être refermée ; il n'y a donc pas d'arc retour.

Dans les deux cas, la porte est détruite par pyrolyse selon la condition suivante :

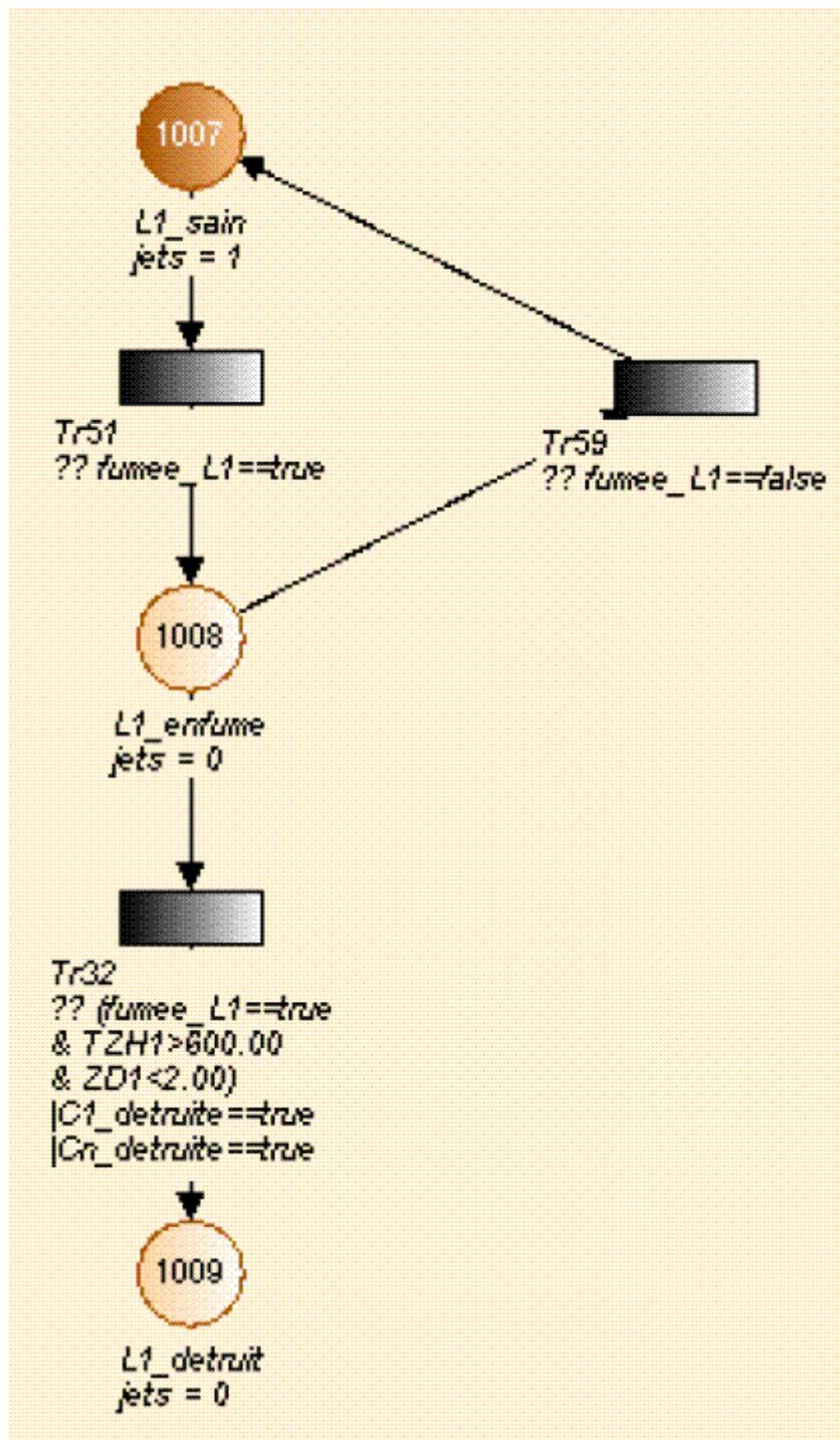
- hauteur libre de fumée soit inférieure à la hauteur de la porte ( $ZD1 < HP1$ ) ;
- température de la zone haute supérieure à 250°C ( $TZH1 > 250$ ) pour que la pyrolyse commence ;
- lorsque ces conditions atteintes, la porte est détruite selon une loi uniforme dans un délai de 300 à 900 secondes.

Les messages échangés vers les autres RdPE sont Porte 1 ouverte ( $P1\_ouverte=true$ ) ou Porte 1 fermée ( $P1\_ouverte=false$ ).

### RdPE « Etat local »

Ce Réseau de Pétri Élémentaire générique permet de représenter l'état d'un local à un instant quelconque au cours de l'incendie. Les états considérés sont les suivants :

- local « sain » : il est sans incendie déclaré et fonctionne normalement ;
- local « enfumé » : il y a de la fumée dans le local et les grandeurs physiques calculées à tout instant permettent de connaître la température de la fumée et la hauteur libre de fumée ; l'évacuation éventuelle de la fumée permet le retour à l'état « sain » ;
- local « détruit » : l'incendie occasionne des dégâts irréversibles aux parois ou aux équipements du local rendant impossible son retour à l'état « sain » dans tous les cas ;



Réseau de Pétri élémentaire générique Etat-Local

La transition Tr51 permet le passage de la place 1007 (L1 « sain ») à la place 1008 (L1 « enfumé ») par l'examen du message de présence de fumée dans le local L1 (fumee\_L1= true ?) et le retour à l'état « sain » par la transition 59.

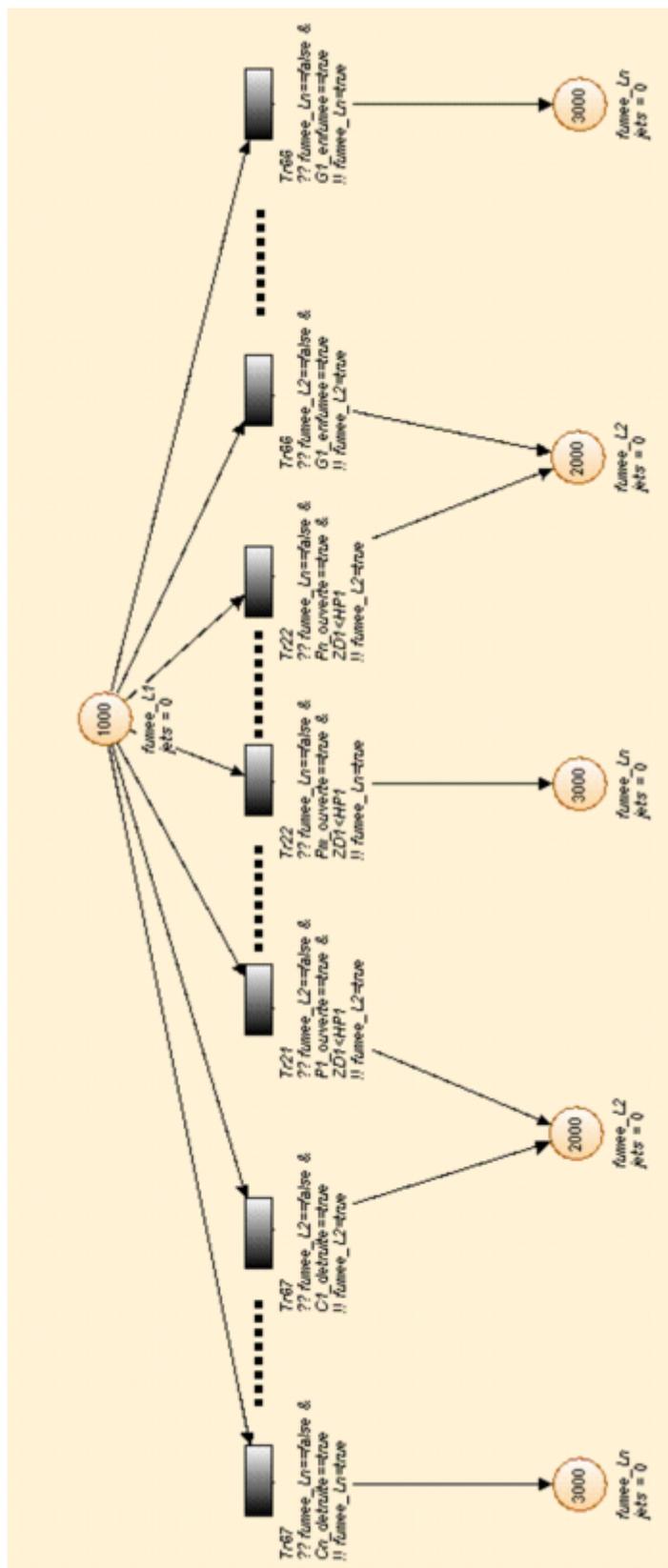
L'état « détruit » peut être atteint par la transition Tr32 si le local est enfumé et si la température de la zone de fumée dépasse 600°C ou si l'une des cloisons est à l'état « détruit ».

RdPE « Transmission local – local »

Ce Réseau de Pétri Élémentaire générique décrit la transmission de la fumée d'un local L1 « enfumé » (Place 1000) vers d'autres locaux symbolisés par les places

2000 et 3000. Les modes de transmission considérés sont les suivants :

- par les portes si la hauteur libre de fumée ZD1 est inférieure à la hauteur de la porte HP1 ;
- par les cloisons si celles-ci sont à l'état « détruit » ;
- par les gaines si celles-ci sont à l'état « enfumé », toujours atteint avant l'état « détruit ».



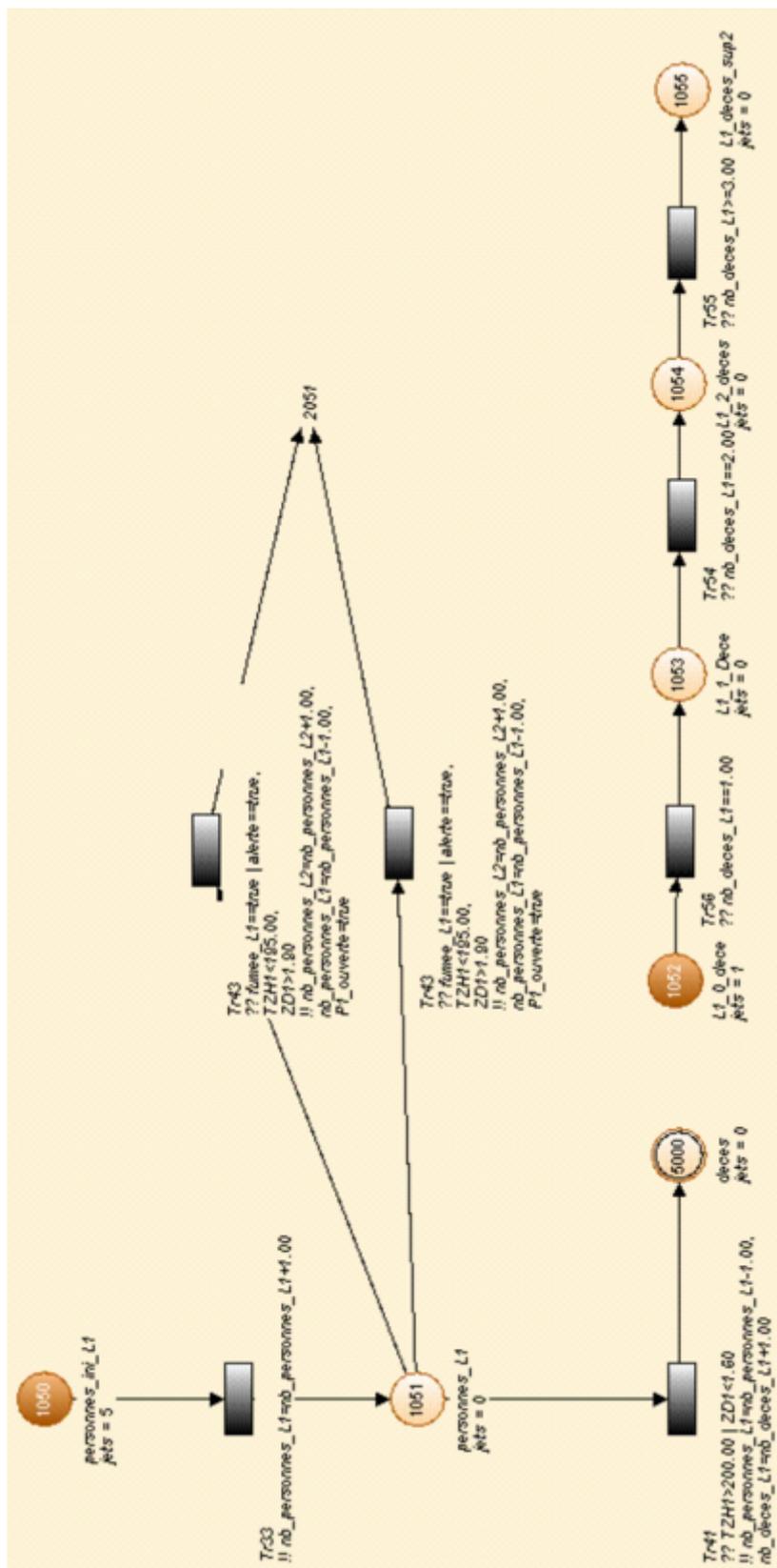
Réseau de Pétri élémentaire générique de transmission de fumée d'un local à un autre

Le nombre de portes et de cloisons peut être quelconque, mais on considère qu'il n'y a qu'une gaine par local. La transmission de la fumée peut s'effectuer vers un ou plusieurs locaux par les portes (Tr21 et 22), par la gaine (Tr66) ou par les

cloisons (Tr67).

### RdPE « Occupants »

Le comportement des occupants est représenté par ce Réseau de Pétri Élémentaire générique. La place 1050 et la transition instantanée Tr33 permettent de définir le nombre de personnes dans le local par l'intermédiaire du nombre de jetons affectés à la place de départ. Chaque transition Tr43 permet l'évacuation d'une personne vers un autre local symbolisé par la place 2051 si les conditions le permettent, à savoir température inférieure à 195°C et hauteur libre de fumée supérieure à 1,90m.



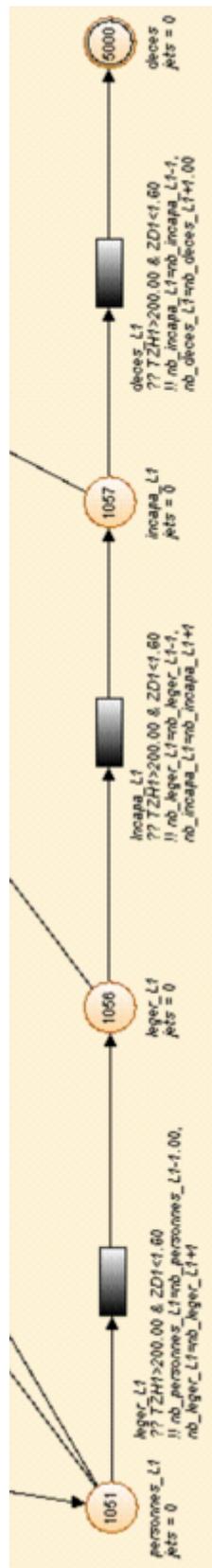
Réseau de Pétri élémentaire générique Occupants de base

La répétition des transitions Tr43 permet de simuler le nombre d'unités de passage d'une porte (ici, on aurait une porte à deux unités de passage). Pour un local de type pièce, la transition Tr43 est tirée avec une loi de probabilité uniforme entre 1 et 5 secondes qui est le temps estimé qu'une personne met à évacuer un local

pièce. Dans le cas d'un local de type couloir, ces temps sont doublés.

Enfin, si les conditions physiques sont trop difficiles, température supérieure à 200°C et hauteur libre de fumée inférieure à 1,60m, on considère que la personne ne peut plus évacuer le local et qu'elle décède dans un délai de 30 à 300 secondes. La place 1052 initialisée à zéro décès et les transitions successives Tr54, Tr55, Tr56 permettent de comptabiliser les décès. Si on souhaite avoir plus de détails sur l'état des occupants, on peut introduire des états intermédiaires définis par les mêmes conditions physiques que les décès. Seuls les délais sont changés: -

- Légèrement blessés, place 1056, délai de 0 à 30 secondes ; -
- Incapacitation, place 1057, délai de 0 à 300 secondes à partir du moment où la personne est légèrement blessée ;
- Décès, place 5000, délai de 0 à 300 secondes à partir du moment où la personne est incapacitée.



Réseau de Pétri élémentaire générique Occupants intégrant plus de détail sur l'état des occupants

## c) Le modèle physique simplifié

### Présentation générale

Les modèles physiques de développement du feu sont nécessaires pour renseigner les réseaux de Petri et permettre la validation des transitions. Les modèles physiques proposés permettent d'évaluer à tout instant les grandeurs physiques caractéristiques de l'incendie. Elles permettent de déterminer les instants d'occurrence des Evénements Non Souhaités (ENS) que nous considérons. Ce sont, pour cette étude, les conditions létales pour les occupants, les conditions de destruction des barrières (portes et fenêtres), l'extension des fumées dans les locaux.

Deux sources de danger principales sont considérées dans ce modèle :

- la fumée pour laquelle nous évaluons la hauteur libre ;
- la chaleur pour l'évaluation d'une température des gaz chauds.

Les cibles considérées sont :

- les personnes ;
- les barrières.

Les critères d'occurrence de chaque ENS sont présentés, mais ne sont pas intégrés au modèle simplifié ; ils sont définis directement dans les transitions des réseaux de Petri. Il s'agit de :

- La tenabilité (hauteur libre de fumée, température supportable) pour les personnes ;
- la ruine des barrières (Température de bris de vitrage, de ruine de porte) ;

Les grandeurs physiques retenues sont :

- la hauteur libre de fumée ;
- la température moyenne des gaz chauds dans un local, considéré comme une zone.

Le modèle physique doit répondre à certains critères, comme être capable au cours du temps :

- de représenter un environnement multi pièce ;
- selon l'état de barrières ;
- de calculer une hauteur libre de fumée ;
- de calculer une température moyenne d'une couche de gaz chauds accumulée sous plafond.

Il est aussi nécessaire qu'il réponde à nos attentes pour sa rapidité de calcul (nombreuses simulations – plusieurs milliers) et qu'il soit possible de le coupler au réseau événementiel (interactions entre les différents événements) par l'intermédiaire d'une loi spéciale dans Moca RP.

### Principales données et hypothèses

Les données sur le bâtiment

- Dimensions des locaux ;
- Nature des parois ;
- Dimensions des barrières (portes, fenêtres) ;
- Nature des barrières : simple ou double vitrage pour les fenêtres, nature des portes.

Les données concernant le foyer

- Débit calorifique, Q donné en fonction du temps et de l'état des ouvertures ;
- Durée de l'activité du foyer: 30 minutes toutes ouvertures ouvertes. La

durée du feu varie par conséquent selon la ventilation du local ;

- Maintien de  $Q$  à une valeur résiduelle (redémarrage éventuel du feu).

Principales hypothèses :

- Stratification thermique : une zone haute remplie de gaz chauds, une zone basse libre de fumée (praticable) ;
- Bilan énergie ( $U$ ) et massique ( $m$ ) effectué dans la zone haute ; on considère les gaz comme parfait ;
- Calcul du débit d'air entraîné dans la flamme [Heskestad, 2002] et des débits entrant et sortant aux ouvertures (Bernoulli) ;
- les pertes de chaleur aux parois sont uniquement considérées vers l'extérieur (parois extérieures, planchers, plafonds), on ne prend pas en compte les pertes vers un local voisin.

Sur la base de ces données, les étapes de calcul suivantes sont effectuées à chaque instant.

1. Calcul du débit calorifique ;
2. Calcul des termes flux :
  - Débit d'air entraîné dans la flamme et son panache,
  - Débit d'air entrant et de gaz sortant aux ouvertures,
  - Débit enthalpique aux ouvertures ;
3. Calcul des variables d'état :
  - énergie interne et
  - masse de la zone haute ;
4. Calcul des variables recherchées :
  - hauteur libre et
  - température de la zone haute.

### Fonctionnement du modèle

Rappelons que l'objectif est de connaître tout au long du scénario de développement du feu la température de la zone haute ainsi que la hauteur libre de fumée. Nous devons donc déterminer différentes variables.

Le fonctionnement du modèle est tel qu'on utilise certains paramètres du pas de temps précédent pour définir certaines fonctions.

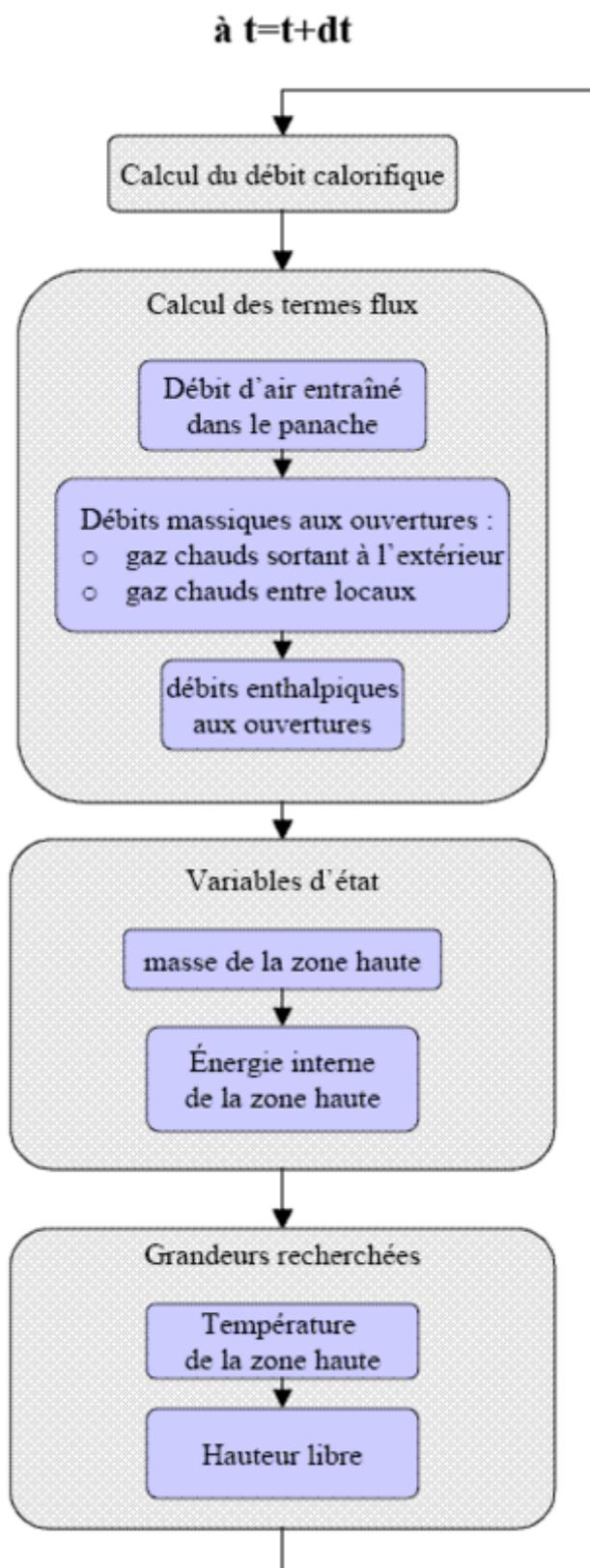
L'enchaînement du calcul des variables est représenté sur la Figure suivante.

- On évalue les différents débits calorifiques échangés entre les différents locaux en fonction des débits massiques des fumées échangés (à l'instant précédent) et des différences de température (à l'instant précédent). Le théorème de Bernoulli ainsi que les relations générales de Navier-Stokes (§ III.6. ) sont utilisés pour déterminer les débits sortants par des ouvertures verticales.
- En fonction du débit massique de fumées produit (à l'instant précédent) et des différents débits échangés (à l'instant précédent), il est possible de déterminer la masse de fumée ajoutée dans chaque local et donc, la masse de fumée présente dans chaque local.
- L'épaisseur de fumée (à l'instant précédent) nous permet d'obtenir  $ZD$ , la hauteur de la discontinuité entre la zone basse et la zone chaude.
- En connaissant  $ZD$  et les paramètres du foyer, le débit calorifique produit par le foyer est déterminé.  $ZD$  est utile pour savoir si le débit est celui déterminé par la courbe de puissance vue précédemment, ou le débit résiduel dans le cas où le foyer est « noyé » par les fumées.
- En connaissant les différents débits calorifiques (échangés et produits), on

peut déterminer l'énergie apportée à la zone haute et donc calculer l'énergie accumulée dans la zone haute.

- Le débit calorifique produit ainsi que les paramètres du foyer permettent de déterminer le débit de fumées entraîné par le panache. Pour cela, nous utilisons les formules de Heskestad (III.5. ).
- Comme on a déterminé précédemment la masse de fumée dans la zone haute et l'énergie accumulée dans cette zone, on peut évaluer la température de la zone haute.
- En appliquant aux fumées la loi des gaz parfaits, sa température permet de déterminer la masse volumique des fumées. Les échanges entre les différentes pièces sont déterminés par une masse volumique moyenne du local en fonction de la masse volumique de la zone haute et de la hauteur de discontinuité.
- La comparaison de la masse volumique moyenne entre deux pièces nous permet d'orienter les débits massiques de fumées). Avec les masses volumiques moyennes et les hauteurs de discontinuité dans les différentes pièces, on peut quantifier les débits massiques de fumées.
- Une fois les échanges et la production des fumées connus, on peut déterminer le volume de fumées ajouté dans la zone haute et donc le volume et la hauteur de fumée présent dans la zone haute.
- Connaissant la hauteur de fumée dans chaque local à un instant donné, nous avons bouclé l'évaluation des différents paramètres de notre modèle et pouvons passer à l'instant suivant.

*« Le lecteur retrouvera dans la thèse de Julien Chorier les équations du modèle de couche chaude, la détermination des débits massiques de fumées extraits par les ouvertures et la détermination des débits massiques de fumée échangés entre les locaux. »*



Algorithme pour le calcul des variables physiques

#### d) Simulation d'un incendie

La simulation passe par les étapes suivantes :

- Définition des réseaux de Petri Utilisée pour représenter les locaux concernés et les conditions rencontrées
- Définition d'un foyer de départ d'incendie dans l'un des locaux
- Estimation à chaque pas de temps des conditions de température et de fumée
- Synthèse des résultats

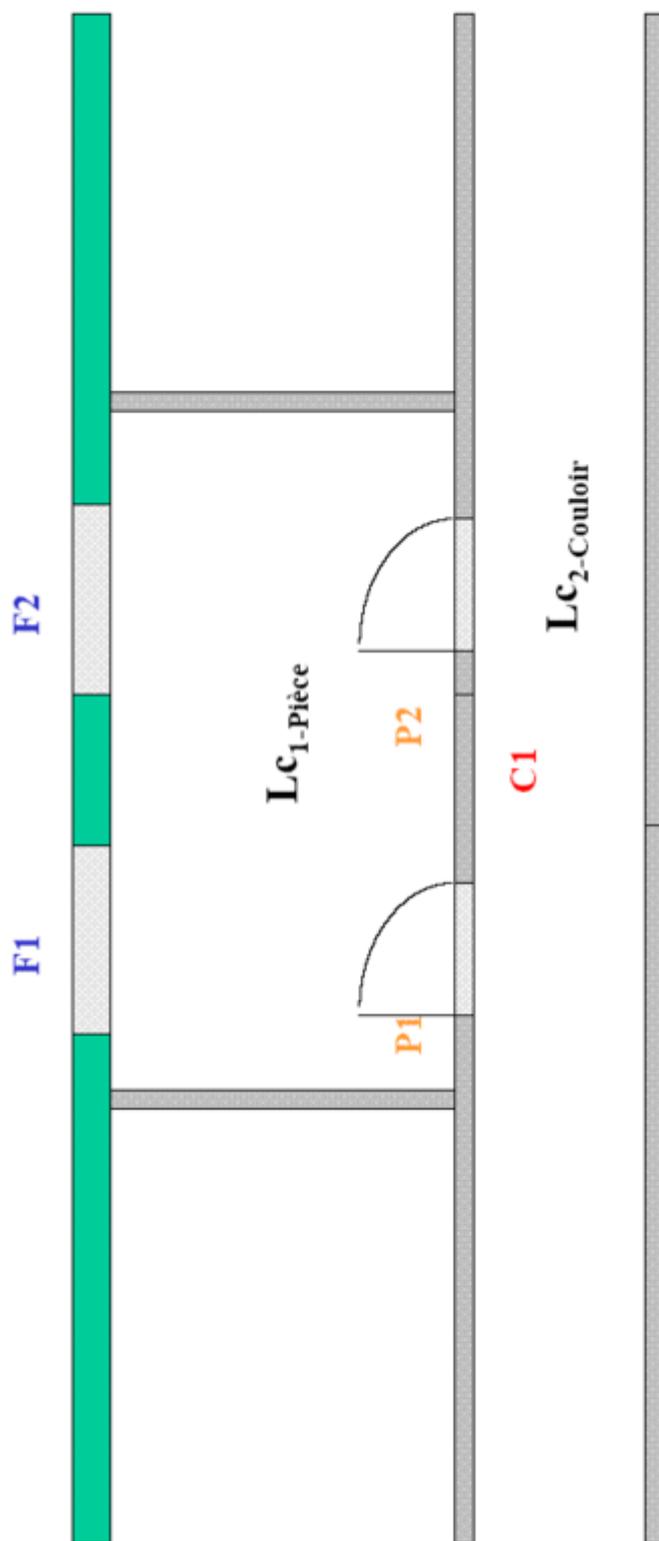
### Définition des réseaux de Petri Utilisée pour représenter les locaux concernés et les conditions rencontrées

L'exemple simple représenté sur l'image suivante est constitué d'un local avec deux portes, deux fenêtres, et ce local est en contact avec un local couloir. Il sera représenté par :

- deux RdPE « fenêtre » pour représenter les états de F1 et F2 ;
- deux RdPE « porte » pour représenter les états de P1 et P2 ;
- un RdPE « état du local » pour le local Lc1 ;
- un RdPE « cloison » pour l'état de la cloison C1 ;
- un RdPE « transmission » du local Lc1 vers le local Lc2 ;
- un RdPE « état du local » Lc2.

Cette constitution de l'ensemble des réseaux de pétri est une tâche relativement complexe qui nécessite des procédures de contrôle afin d'être sûr que le système est correctement représenté par les réseaux de Pétri.

Etudier un bâtiment complet nécessitera largement quelques centaines, voire milliers, de réseaux de Pétri élémentaires.

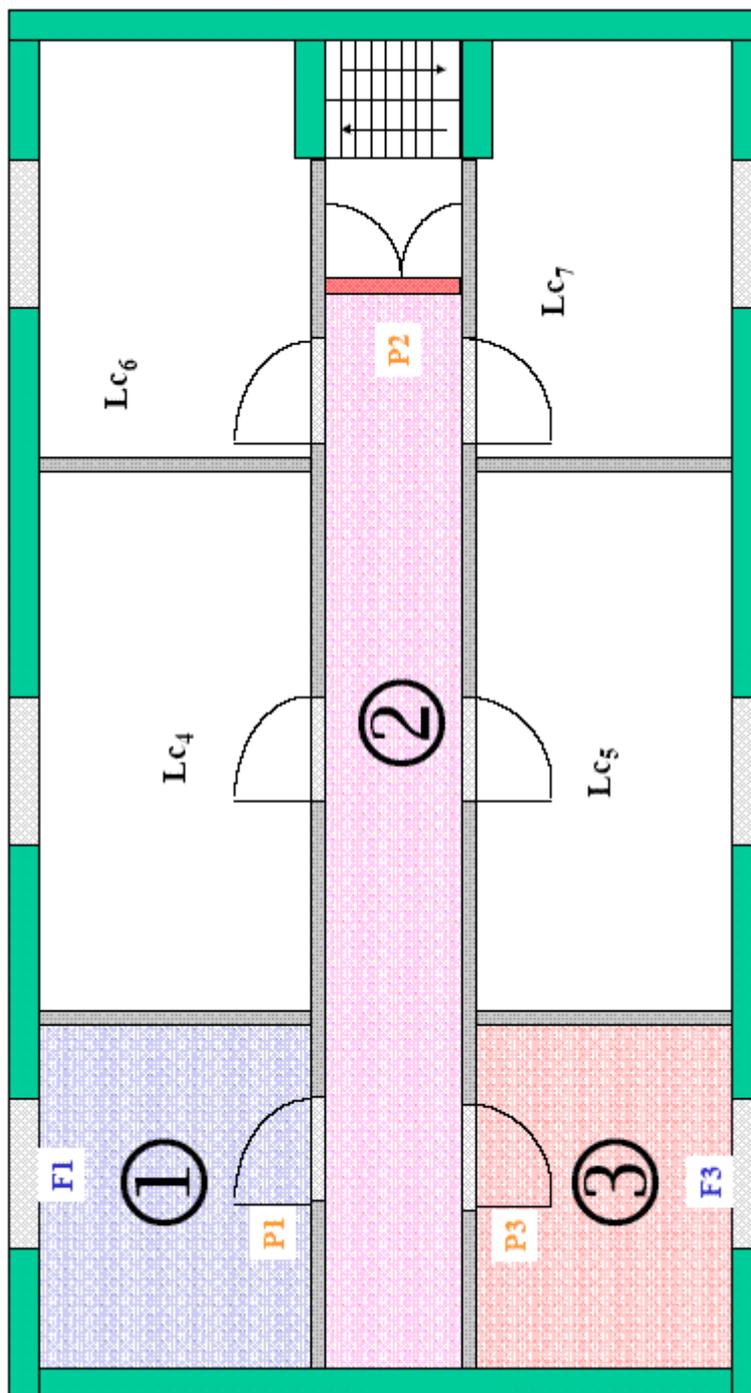


Exemple simplifié de local avec deux fenêtres et deux portes

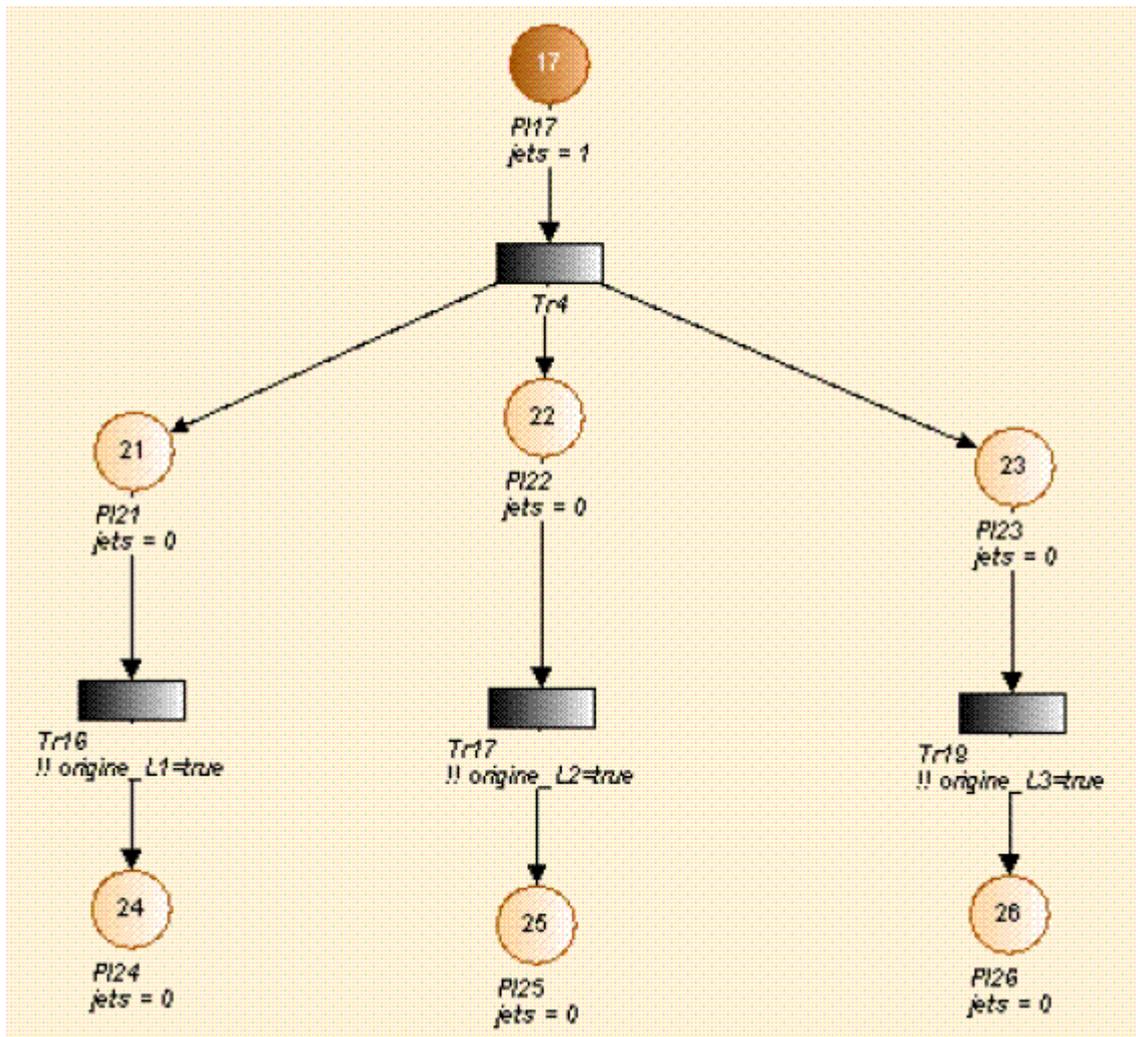
### Définition d'un foyer de départ d'incendie dans l'un des locaux

Cela s'effectue grâce à un RdP spécifique que nous présentons à la Figure suivante pour le choix par exemple d'un départ de feu dans un des locaux parmi trois

possibilités : Une dans le couloir L2 avec un local de type pièce de chaque côté, L1 et L3.



Trois possibilités de départ de feu



Réseau de Pétri pour le choix d'un départ de feu

La transition Tr4, à délai nul, permet de tirer l'un des trois locaux. Les départs sont probabilisés en fonction de statistiques disponibles ; pour cet exemple, nous avons retenu 40% dans chaque bureau (local L1 et L3) et 20% dans le couloir (local L2). Les transitions Tr16, Tr17 et Tr18 de délai nul permettent de renseigner le message d'origine du feu à la valeur vrai. Par la suite, il sera possible d'intégrer à ce réseau le tir du jour de la semaine et de l'heure de départ du feu, ce qui influencera les conséquences de l'incendie.

### Estimation à chaque pas de temps des conditions de température et de fumée

Ces conditions doivent être connues à chaque pas de temps dans tous les locaux de façon à pouvoir évaluer les messages émis par les différents RdP et effectuer les transitions nécessaires.

Un réseau de Petri spécifique est réalisé pour gérer en boucle l'évolution du temps et l'évaluation des conditions.

Le réseau fonctionne de la façon suivante :

- Une première transition initialise le calcul des conditions en fonction des paramètres de l'étude lus dans un fichier texte.
- Une seconde transition lit les messages des différents réseaux de Petri et affecte les valeurs rencontrées dans des variables des modèles physiques calculant pour chaque local :

- la température de zone haute ;
- la hauteur libre de fumée.

Seules ces variables sont modifiées.

Il est ainsi possible de prendre en compte les modifications des états des ouvertures, des états des équipements et des états des locaux, états qui modifient les conditions de calcul des deux paramètres physiques ci-dessus. Par exemple, savoir qu'une porte est ouverte ou fermée ou qu'une fenêtre est détériorée, sont des informations modifiant les volumes et les apports d'oxygène, ce qui influe évidemment sur les foyers et le dégagement de fumée ainsi que sur sa répartition dans les locaux.

- Une troisième transition permet d'incrémenter le temps de la valeur d'un pas et de revenir en boucle à la transition Tr31, qui réexamine les messages à chaque pas de temps. Le pas de temps que nous avons retenu est de 1 seconde.

### Synthèse des résultats

Pour un départ de feu donné, le logiciel MOCA-RP est capable de générer de nombreuses simulations pour une durée de temps donnée en validant les transitions dans les réseaux de Pétri et en tirant les transitions selon les lois de probabilité indiquées.

Les résultats obtenus par la simulation dans Moca RP sont :

- Le nombre moyen de tirs de chaque transition ;
- Le temps moyen de séjour dans une place et l'écart type ;
- Le marquage moyen pour chaque place et écart type.

L'exploitation de ces résultats n'est pas aisée, car les informations des scénarios de développement du feu sont enregistrées dans des fichiers texte. En vue d'une analyse détaillée d'un ou plusieurs scénarios de développement du feu, ces fichiers doivent être transformés pour être mis sous une forme facilement exploitable et compréhensible par les utilisateurs.

Les résultats obtenus permettent alors non seulement de faire ressortir les probabilités d'occurrence des événements non souhaités, mais aussi d'autres informations temporelles sur le déroulement de l'incendie comme :

- le délai pour qu'un local soit enfumé,
- A quel instant un instant il sera détruit,
- A quel instant a lieu le premier décès, dans quel local.

Des graphiques sont disponibles concernant la répartition des fumées, notamment la hauteur libre dans les locaux, ou encore l'évolution du nombre de personnes dans les locaux.

L'analyse de ces résultats sur le déroulement des scénarios est très intéressante pour le concepteur, car elle lui permettra, tout d'abord, de vérifier que la modélisation représente bien le système réel, et ensuite, elle sera indispensable pour identifier les points sur lesquels les actions de réduction des risques doivent porter.

## 3. Etude de cas

L'étude de cas a déjà été introduite dans les parties précédentes :

- L'aléa Incendie
- Le patrimoine ERP

- Les enjeux

L'approche réglementaire a été développée dans le module concerné, ce développement portera sur l'approche Ingénierie de la Sécurité Incendie.

### a) Détermination des objectifs de sécurité

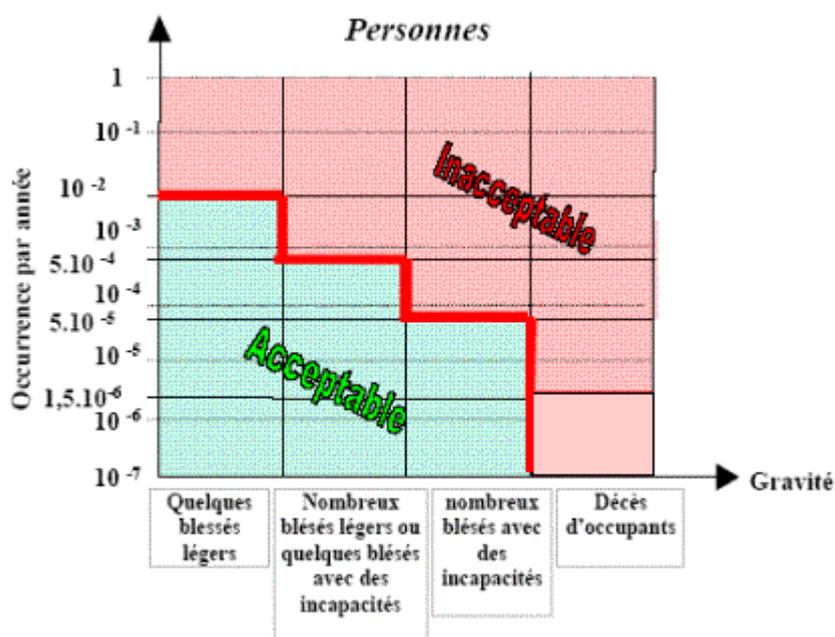
L'étude sera limitée à une partie du premier étage du bâtiment Chartreuse située entre deux portes coupe-feu et qui contient des laboratoires, des bureaux d'enseignants ainsi que des salles réservées aux archives.

Cet étage étant surélevé par rapport au sol, cela ajoute des conditions défavorables car l'évacuation par les fenêtres n'est plus possible.

L'objectif de sécurité est seulement l'enjeu sur les personnes.

En effet, dans le cas d'un incendie, on ne veut dénombrer aucun mort et le moins possible de blessés. Les dégâts matériels sont secondaires et ceux que la structure peut subir sont mineurs.

La grille suivante représente les objectifs en matière de risque incendie sur l'enjeu "Personne".



Grille Probabilité x Gravité pour l'enjeu sur les personnes

## b) Définition du système "Risque incendie / Bâtiment"

La collecte des informations s'est appuyée sur le Guide d'analyse pour la sécurité incendie élaboré par J. Chorier.

<b>Bâtiment étudié</b>	
<b>Nom du bâtiment</b>	Chartreuse-Belledonne
<b>Adresse</b>	Savoie Technolac
<b>Commune</b>	Le Bourget du Lac
<b>Code postal</b>	73370
<b>Visite effectuée</b>	
<b>Par</b>	BOUSSABOUNE - BERARDI
<b>Date</b>	
<b>Destination du bâtiment</b>	Etablissement recevant du public
<b>Activité</b>	Enseignement Recherche dans des laboratoires Recherche dans des bureaux
<b>Type du bâtiment (R+1, R+2...)</b>	R+2
<b>Effectif</b>	
<b>Accès</b>	Contrôlés      Non contrôlés
<b>Environnement</b>	Bâtiment situé à côté d'une rivière, La Leysse. Il est entouré d'autres bâtiments
<b>Temps d'arrivée des services de secours</b>	15 minutes
<b>Nombres de zones</b>	3 zones: laboratoires (1), bureaux (2) et zones de circulations (3)
<b>Local type de la zone 1</b>	
<b>superficie</b>	25 m <sup>2</sup>
<b>Type d'occupation</b>	Laboratoire
<b>Éléments présents à l'intérieur du local</b>	3 chaises, pailasse de manipulation, produits chimiques
<b>Effectif</b>	3
<b>Nombre de dégagements</b>	1
<b>Largeur du dégagement</b>	0,9 m
<b>Qualité de l'évacuation</b>	Facile
<b>Équipement de sécurité</b>	Détecteur de fumée, extincteur
<b>Age moyen des occupants</b>	30 ans
<b>Présence de personnes à mobilité réduite?</b>	Non
<b>Personnes formées au risque incendie?</b>	Non
<b>Temps d'arrivée des secours</b>	15 minutes

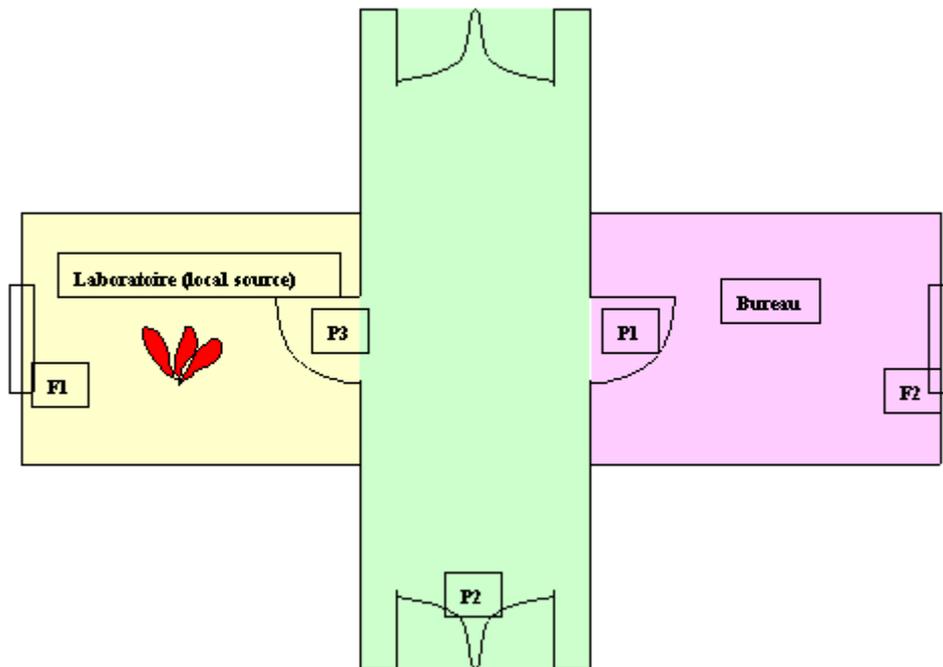
*Etude de cas : Guide d'analyse pour la sécurité incendie*

A ce questionnaire sont ajoutés les plans des bâtiments, les voies d'accès, et toutes autres informations descriptives qui qualifient ce bâtiment.

Notez que le formulaire se focalise sur le local Type de la Zone 1 qui est un laboratoire de chimie dans lequel aura lieu le départ de feu. Ce local contient habituellement 3 personnes âgées en moyenne de 30 ans, non handicapées. Il y a un détecteur de fumée et un extincteur dans le local.

## c) Modélisation du système

Pour l'exemple la modélisation du système bâtiment a été réduite au minimum, elle s'appuie sur le schéma suivant :



Etude de cas : Schéma des locaux

Le système comprend :

- un local source dans lequel se déclare l'incendie, qui possède une fenêtre et une porte ;
- un local opposé qui risque d'être atteint par le feu ou les fumées, qui possède une fenêtre et une porte ;
- un couloir limité par deux portes coupe-feu.

La modélisation consiste à définir tous les paramètres intervenant dans la naissance et le développement d'un feu.

Les réseaux de Pétri génériques suivants ont été sélectionnés et instanciés pour décrire le système "Risque - incendie"

#### **RdP Départ de feu**

Le local source est un laboratoire contenant :

- des chaises
- des appareils électriques
- des produits chimiques inflammables

La probabilité d'occupation fixée est la suivante :

- Entre 8h et 20h : 1
- Entre 20h et 8h : 0

La probabilité de départ de feu fixée est la suivante :

- Entre 8h et 20h : 0,8
- Entre 20h et 8h : 0,2

#### **RdP Local source**

Départ de feu à  $T_0 = 0$  s

Etat sain entre  $T_0$  et  $T_1 = 15$  s

Etat enfumé entre  $T_1$  et  $T_2 = 40$  s

Etat impraticable à partir de  $T_3 = 100$  s

**RdP Détection incendie du local source**

Détection incendie non déclenchée dans 1% des cas

Détection incendie déclenchée dans 99% des cas entre  $[T1+ 5, T1+ 30]$  = TDILabo

**RdP Détection incendie du couloir**

Idem à partir du moment d'enfumage du couloir

**RdP Porte P1**

Elle n'est pas équipée de ferme-porte

Probabilité d'ouverture : 0,5 entre 8h et 20h 0 entre 20h et 8h

détruite à partir de 30 minutes à partir de T3

**RdP Fenêtre F1**

Fenêtre à ouverture normale (avec rotation autour d'un axe)

Probabilité d'ouverture : Elle dépend des saisons :

- automne – printemps : 0,5
- hiver : 0,1
- été : 0,8

détruite entre [15 min, 30 min]

**RdP Couloir**

T0' couloir enfumé T1' couloir impraticable

Si la porte P1 est ouverte,

l'état enfumé commence à  $T0' = T1$  Si la porte P1 est fermée,

l'état enfumé commence à  $T0' = T1 + [ 1 \text{ heure}, 2 \text{ heure } 30 ]$

Destruction de la porte

Détection Incendie dans le couloir, se déclenche dès  $[T0' + 5, T0' + 30]$  avec une probabilité de 0,99.

**RdP Bureau**

Etat sain entre T0 et T0' = 15 s

Etat enfumé entre T0' et T2' = 40 s

Etat impraticable à partir de T2' = 100 s

**RdP Porte P3**

Elle n'est pas équipée de ferme-porte

Probabilité d'ouverture : 0,5 entre 8h et 20h 0 entre 20h et 8h

détruite à partir de 30 minutes

**RdP Fenêtre F3**

Fenêtre à ouverture normale (avec rotation autour d'un axe)

Probabilité d'ouverture :

Elle dépend des saisons :

- automne – printemps : 0,5
- hiver : 0,1
- été : 0,8

détruite à partir de 15 minutes

**RdP Comportement des occupants du laboratoire**

Le laboratoire est occupé par trois personnes au cours de la journée (entre 8h et 20h) et inoccupé à partir de 20h.

Entre 8h et 20h, le comportement est le suivant

- Détection du feu à TDILabo ou plus tôt par les personnes présentes

- Les personnes quittent le laboratoire au bout d'une durée de 10 secondes
  - Elles quittent le couloir et atteignent la porte P2 entre 10 et 50s
  - Elles alertent le personnel à [T1 + 1 min, T1 + 3 min] = Tal
- Ou
- Les personnes essaient d'éteindre le début d'incendie
  - elles se saisissent de l'extincteur qui est à l'intérieur de la salle
  - Elles éteignent l'incendie au bout de 2 min avec une probabilité de 0,7 selon la personne qui manie l'extincteur
- A partir de T3, le laboratoire est impraticable
  - [0, 30 secondes] : blessés légers
  - [30, 300 secondes] : blessés graves
  - >300 secondes : décès

#### **RdP Comportement du personnel de sécurité**

- type d'alerte : Tsécurité
  - par le DI du local laboratoire : TDilab
  - par le DI du couloir : TDicouloir
  - par un occupant du laboratoire : Tocc
- à Tsécurité , le gardien de l'université se présente dans le bâtiment Chartreuse au local source [2 à 5 min]
- si de jour, évacuation du bâtiment [2 à 5 min]

#### **RdP Comportement des secours**

Intervention des sapeurs-pompiers 15 min à partir de Tsécurité

#### **RdP Désenfumage**

Déclenchement du désenfumage automatique dans les bureaux à Tsécurité

Probabilité de dysfonctionnement égal à 5%

**Le détail des différents Réseaux est consultable dans le fichier diaporama.**  
(cf Etude de cas : Les réseaux de Pétri instanciés)

### d) Simulation

Le logiciel effectue une simulation mettant en jeu 100000 histoires du scénario de départ de feu dans le local source et donne comme résultats deux valeurs :

1. Un nombre moyen de tirs de chaque transition qui permet de vérifier si les tirages sont conformes aux probabilités fixées.
  1. Un marquage moyen de séjour dans une place qui permet de donner une probabilité d'occurrence d'un événement correspondant à une place donnée.
- Les occupants du laboratoire sont tous indemnes car on a une probabilité de décès de 0
- Ce qui est normal, car le feu se déclare dans le laboratoire dans un premier temps et donc c'est la détection incendie de ce local qui se déclenche en premier et permet aux personnes présentes d'évacuer avant que le couloir ne soit enfumé ou impraticable
- En revanche, la probabilité d'avoir des décès dans le bureau est de 0,06
- La détection incendie du bureau ne se déclenche qu'après que le couloir soit enfumé totalement. Le temps de réaction des occupants est alors vital. S'ils ne sortent pas rapidement du bureau, alors le couloir risque d'être impraticable rapidement.
- On observe aussi des décès dans le couloir (0,08 de probabilité).

Les mesures de réduction de risque que l'on peut prendre en conséquence sont

- un meilleur désenfumage du couloir

- Une formation des occupants afin qu'ils réagissent rapidement dès le déclenchement de l'alarme incendie.

Ces solutions n'ont pas été testées.

### Remarque

Cet incendie a réellement eu lieu. Le départ de feu s'est situé en pleine nuit, alors que le bâtiment était inoccupé. Les secours (le gardien de service) sont intervenus très rapidement après le déclenchement de l'alarme, ce qui fait que les dégâts ont été limités au seul local source ( le laboratoire).

Ce scénario fait partie des histoires simulées, mais avec une probabilité très faible d'occurrence.

## E. La gestion de crise

La gestion de crise est l'ensemble des modes d'organisation, des techniques et des moyens qui permettent à une organisation de se préparer et de faire face à la survenance d'une crise puis de tirer les enseignements de l'évènement pour améliorer les procédures et les structures dans une vision prospective.

Pour ce qui concerne la gestion de crise, l'approche réglementaire de la sécurité incendie prépare particulièrement bien les occupants et les secours au risque incendie, à travers :

- La Prévision  
Ce sont des mesures passives pour éviter la survenue d'un incendie et limiter sa propagation. Elle concerne la stabilité de l'ouvrage, la technologie de construction, l'organisation fonctionnelle, des restrictions sur l'activité, le contrôle de l'état ;
- La Prévention  
Ce sont des mesures actives prises au cas où un sinistre surviendrait, qui portent sur la détection, l'alerte, l'évacuation, la lutte contre l'incendie . ;
- La formation et l'entraînement  
Afin de garder une capacité de réaction optimale, il est nécessaire de pratiquer des exercices d'évacuation à intervalles réguliers. Cette méthode permet également de rester à jour dans les procédés d'évacuation et de détecter des erreurs possibles ;

Il ne faut pas non plus oublier les mesures exceptionnelles lorsque l'incendie prend une ampleur de catastrophe, qui seront déclenchées au niveau des collectivités locales et de la préfecture.

Un autre aspect de la gestion de crise est de gérer "l'après l'incendie", lorsque les biens seront détruits, ce qui entraînera une perte financière directe et indirecte à travers l'arrêt de l'activité.

Il faut citer dans le premier cas le transfert de risque vers les assurances qui permet d'assurer financièrement les biens, voire la perte d'activité.



### Exemple : Etude de cas

Notons au passage que dans l'étude de cas, l'état étant son propre assureur, l'Université se repose sur l'état qui prendra en charge les sinistres. Devant les difficultés que cela peut poser, l'université peut néanmoins assurer certains biens : C'est un des enseignements qui résultent de cet accident : Il est maintenant fortement conseillé aux laboratoires d'assurer leur matériel scientifique.

Pour ce qui concerne la cessation éventuelle d'activité, la survenance d'un incendie

met souvent en évidence que, au-delà des contraintes réglementaires, aucune disposition n'est envisagée pour prévoir la conduite à tenir en cas d'incendie.

Cette remarque met bien en avant la déresponsabilisation du gestionnaire lors de la mise en place de la démarche réglementaire.

Le gestionnaire de patrimoine se limite à l'approche réglementaire et se repose pleinement sur elle. L'analyse de risque n'étant pas réalisée, il ne traite pas le problème dans son ensemble, et n'aborde que rarement la gestion de crise.



#### Exemple : Etude de cas

En cas de destruction du bâtiment, cela signifierait une perte d'activité complète pour deux laboratoires de recherche (environ 100 personnes). Aucune alternative n'a jamais été envisagée ni au niveau matériel scientifique, ni au niveau connaissances. La perte d'information serait donc aussi une catastrophe, car la sauvegarde généralisée des données informatiques n'est pas encore totalement mise en place et repose encore principalement sur la pratique individuelle.

La partie enseignement serait plus facilement transférable, car d'autres locaux équivalents existent sur le site.

## F. Le retour d'expérience

Toute approche risque repose sur le retour d'expérience. Le risque incendie ne fait pas exception à la règle.

Au contraire, ce sont même les grands incendies qui constituent le principal moteur de l'approche réglementaire. Plus encore aujourd'hui, la médiatisation de ces accidents pousse le politique et le législateur à ajouter systématiquement un élément de loi supplémentaire à l'issue de chaque sinistre, que ce soit en matière technique ou surtout de responsabilité. L'acceptation du risque par la société étant de plus en plus faible, le transfert de responsabilité est un point clef dans l'approche risque incendie.

L'approche réglementaire est en ce sens exemplaire, elle concentre une richesse de connaissances en matière de retour d'expérience exceptionnelle. Ce que l'on peut lui reprocher, c'est de ne porter que les conséquences issues de ce retour d'expérience. Le recueil de réglementation devrait être indissociable de l'analyse scientifique qui a permis d'aboutir à ces prescriptions. Cela permettrait surtout de repositionner les éléments de solutions imposés par rapport à des enjeux et sensibiliserait le gestionnaire en conséquence.

Pour ce qui concerne l'approche Ingénierie de la Sécurité Incendie, le retour d'expérience s'avère primordial pour constituer une base de connaissances sur les probabilités indispensable à la bonne marche du modèle. Ces données sont aujourd'hui très difficiles à obtenir pour répondre aux questions suivantes telles que :

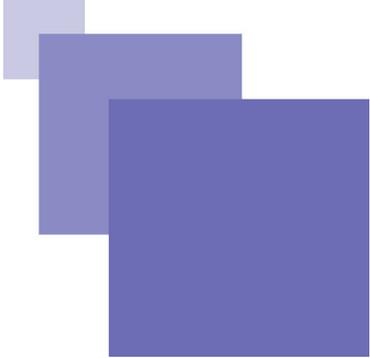
- Comment évaluer la probabilité d'occurrence d'un départ de feu ?
- Comment qualifier le comportement des occupants ?

Les fournisseurs devraient aussi être capables de fournir de la capitalisation de données sur leurs produits, et de produire des lois de distribution de probabilité sur les différents composants : par exemple une porte coupe feu 2h, c'est bien, mais avec quelle distribution de probabilité ?

Bien que des projets internationaux s'en préoccupent, il n'existe pas vraiment à ce jour d'informations centralisées sur le retour d'expérience dans le domaine de la sécurité incendie qui permettraient à l'approche analyse de risque de se mettre réellement en place. En l'état actuel, c'est donc à chaque ingénieur de constituer



# Glossaire



## Accident majeur

un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant pour la santé humaine ou pour l'environnement, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances ou des préparations dangereuses.

## ALARP

(As Low As Reasonably Practicable = Aussi Faible Que Raisonnablement Réalisable) principe utilisé pour définir un niveau de risque qui peut être obtenu pour le système considéré et qui est acceptable par tous ceux qui peuvent être affecté par la menace.

En conséquence, il résulte de ce principe que des risques supérieurs au niveau seuil d'acceptabilité ne sont tolérables que si leur réduction est impossible ou d'un coût disproportionné par rapport aux bénéfices qui en résultent [Ref-TC32].

## Aléa

Qualifie tout événement, phénomène imprévisible ou activité humaine qui peut provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement.

## Aléa naturel (« natural hazard »)

Qualifie tout aléa d'origine naturelle, source potentielle de dommages.

## Aléa technologique

Par opposition à l'aléa naturel, qualifie tout aléa d'origine anthropique ou technologique.

## Analyse de risque (« risk analysis »)

Exploitation systématique des informations disponibles pour identifier la mise en danger (sources potentielles de dommage) et pour estimer les risques.

L'analyse de risque consiste à utiliser l'information disponible pour établir des scénarios résultant de l'occurrence d'un aléa, et déterminer la probabilité et l'amplitude de ses conséquences sur les individus et la population, les biens matériels et l'environnement, du fait des aléas.

Cette démarche est conforme à la définition usuelle du vocable « analyse », c'est-à-dire un examen détaillé d'un phénomène complexe de manière à en comprendre la nature ou à déterminer les caractéristiques essentielles. L'analyse de risque requiert la décomposition du système et des sources de risques à l'échelle de leurs constituants élémentaires [Ref-TC32].

L'analyse de risque repose en général sur les étapes suivantes :

- définition du périmètre traité,
- l'identification des dangers, en liaison avec les données : environnement naturel, humain, technologique...
- les scénarios de défaillance, en liaison avec les bases de données et les typologies d'ouvrages,
- le recours aux modèles de représentation des défaillances, et les questions relatives à leur qualité,
- estimation des probabilités d'occurrence des aléas et des scénarios,
- l'estimation de la vulnérabilité des enjeux,
- l'identification des conséquences et l'évaluation des risques.

### **Analyse de risque quantitative**

Une méthode d'analyse reposant sur des valeurs numériques des probabilités, de la vulnérabilité et des conséquences, et qui conduit à une valeur numérique du risque [Ref-TC32].

### **Approche réglementaire (« standard-based approach »)**

Approche traditionnelle en ingénierie, dans laquelle les risques sont contrôlés par l'application et le respect de règles relatives aux événements considérés, aux charges, aux propriétés des matériaux, et par des critères de dimensionnement qui tiennent compte de coefficients de sécurité [Ref-TC32].

(voir règlements de construction, Eurocodes).

### **Danger, menace (« danger, threat »)**

Dans le langage usuel, le danger est ce qui menace ou compromet la sûreté, l'existence d'une personne ou d'une chose (Robert).

L'AFNOR le définit comme une source potentielle de dommages. Pour l'ISO, la menace est une cause potentielle d'un incident non désiré qui peut résulter dans des dommages à un système ou une organisation [ISO/IEC 13335-1:2004] [ISO/IEC 17799:2000].

### **Défaillance (« failure »)**

Altération ou cessation de l'aptitude d'un système, à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques (norme AFNOR NF X60-010).

### **Densité de probabilité (ou fonction de distribution)**

Fonction décrivant la vraisemblance relative qu'une variable aléatoire prenne une valeur particulière [Ref-TC32]. Elle fait correspondre une probabilité à chaque valeur d'une variable aléatoire.

Exemples : distribution uniforme, distribution gaussienne.

### **Domages**

Conséquences d'un événement sur les biens, les personnes et les fonctions d'un système. Les dommages peuvent être exprimés en termes humains, financiers, économiques, sociaux ou environnementaux.

### **Enjeux (« elements at risk »)**

Ensemble des éléments (population, bâtiments, infrastructures, patrimoine environnemental, activités et organisations) pouvant être exposés au danger [Ref-TC32].

Les enjeux sont susceptibles de subir des dommages ou des préjudices sous l'effet

d'un danger. Les enjeux sont définis par leur valeur et leur vulnérabilité, ce qui constitue une étape de l'évaluation des risques.

### Estimation des risques

Procédure pour déterminer des valeurs pour la probabilité de la survenance d'un risque et des conséquences possibles\*. C'est une phase de l'analyse de risque, postérieure à l'identification des risques et antérieure à leur évaluation, qui consiste à quantifier les phénomènes (probabilité, intensité, gravité).

### Evaluation du risque (« risk assessment »)

Etape de l'analyse des risques au cours de laquelle des valeurs et des jugements intègrent le processus de décision, de manière explicite ou implicite, en prenant en considération l'importance des risques estimés et des conséquences sociales, environnementales et économiques qui leur sont associées, de façon à identifier un ensemble de possibilités en termes de gestion des risques [Ref-TC32].

Sur le plan normatif et réglementaire, la procédure de l'évaluation du risque est basée sur des critères de risque qui n'ont jusqu'à maintenant pas encore été normalisés sur le plan international.

### Facteurs de risque

Les éléments de nature collective ou individuelle qui interfèrent de telle façon sur le danger qu'ils augmentent ou réduisent la probabilité d'occurrence des effets néfastes ainsi que leur ampleur. L'identification des risques repose sur une identification de ces facteurs, et de leur influence sur les risques.

(voir analyse de sensibilité).

### Facteurs humains

Ensemble des facteurs relatifs aux individus (psychologie, degré de préparation, vigilance...) et à leur organisation collective (organisation du travail, aspect sociaux...) qui peuvent influencer les comportements et la réponse du système d'une manière telle qu'elle peut affecter la sécurité [Ref-TC32].

### Fréquence

Une mesure de vraisemblance exprimée comme le nombre d'occurrences d'un événement de nature et d'intensité données pendant une certaine durée (par exemple fréquence annuelle) ou rapporté à un nombre donné de tirages [Ref-TC32].

### Gestion du risque

Procédure globale regroupant l'appréciation du risque, la décision, le traitement du risque et sa surveillance.

Les différentes phases de la gestion du risque :

- Appréciation du risque.
- Analyse de risque.
- Identification de la mise en danger => Estimation du risque => Evaluation du risque => Décision => Traitement du risque et Surveillance.

Cette procédure consiste en l'application de décisions administratives, de choix relatifs à l'organisation, de compétences et savoir-faire, qui permettent de mettre en oeuvre des politiques, des procédures et des pratiques de gestion qui influent sur l'ensemble de la chaîne de risque, depuis l'identification des risques jusqu'à leur réduction et leur contrôle [Ref-TC32].

La gestion des risques comprend toutes les formes d'activités, y compris les mesures structurelles et non structurelles pour éviter (prévention) ou limiter

(réduction, préparation) les conséquences néfastes des aléas.

### **Gravité**

Mesure de l'intensité des conséquences de la défaillance (ou de l'accident), lorsqu'elle se produit. La gravité peut aussi être utilisée en phase de prévision : c'est alors une évaluation de l'impact probable du danger.

### **Identification des risques**

Le processus permettant de trouver, lister et caractériser les éléments du risque. Le processus d'identification des risques considère les fonctions à satisfaire, les menaces et les vulnérabilités comme point de départ pour une analyse plus en profondeur [ISO/IEC 13335-1 (11/2001)].

(voir les différentes phases de la procédure globale de gestion des risques).

### **Impact**

Conséquences de l'événement affectant les enjeux. Il dépend de l'intensité de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux. Dans le domaine des risques, l'impact est en général négatif.

Voir gravité.

### **Intensité**

Expression de l'amplitude du phénomène menaçant, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques. Elle intervient dans l'évaluation de l'aléa (intensité de l'aléa sismique, intensité du choc d'un véhicule sur un ouvrage...).

Lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer ces paramètres physiques (par exemple dans le cas de phénomènes très rares ou très intenses), on peut recourir à des méthodes indirectes, basées sur l'importance de leurs conséquences potentielles en termes d'endommagement ou de dangerosité ou de l'importance des parades théoriquement nécessaires pour annuler le risque.

### **Maîtrise des risques (« risk management »)**

Processus d'application de la politique de l'organisme permettant la mise en œuvre itérative et continue de l'analyse et de la gestion des risques d'un projet [AFNOR - FD X50-117].

Elle repose sur un ensemble de règles et d'actions mises en œuvre pour maintenir le risque dans des limites tolérables. Elle s'appuie d'une part sur la mise au point et l'utilisation d'un ensemble de techniques (procédures, équipements, automatismes, mesures...) visant à réduire la probabilité d'occurrence des aléas et leurs conséquences, constituant l'ingénierie du risque, d'autre part sur des structures organisationnelles, vérifiant que les mesures techniques restent opérationnelles (contrôle régulier).

### **Parades (« countermeasures »)**

Toutes les mesures protectrices prises pour réduire ou contrer un aléa ou les conséquences d'un aléa. La mise en œuvre de parades est à la base de toute stratégie de réduction des risques. Les parades relèvent souvent de mesures d'ingénierie (structurelles), mais elles peuvent aussi intégrer des mesures non structurelles (législatives, financières, sociales...) et des outils conçus et employés pour éviter ou limiter les effets négatifs des aléas [Ref-TC32].

On distingue les parades actives, qui visent à réduire les aléas, des parades passives, qui visent à réduire les impacts (en réduisant la vulnérabilité). On peut aussi distinguer les parades individuelles et les parades collectives, ou en fonction de leur nature : technologique, réglementaire, financière...

## Prévention

Mesures visant à supprimer ou à réduire un risque avéré, soit en supprimant ou modifiant le danger initiateur du risque, soit en diminuant la probabilité d'occurrence ou la gravité de ses conséquences.

Quatre grands principes régissent toute démarche de prévention : tout d'abord l'évaluation du risque, dans la mesure du possible son élimination, sinon la mise en place de parades collectives et en dernier ressort, la parade individuelle. La prévention doit être intégrée le plus en amont possible, en passant par des mesures d'organisation, d'information et de formation (source INRS).

## Probabilité

Concept statistique qui peut soit exprimer un degré de croyance ou une mesure de l'incertain (probabilité subjective), soit être pris comme la limite de la fréquence relative dans une série infinie (probabilité statistique).

## Réduction des risques (« risk mitigation ») (ou traitement des risques)

l'application choisie de techniques appropriées et de principes de gestion pour réduire soit la vraisemblance d'un aléa, soit celle de ses conséquences, soit les deux [Ref-TC32]. On peut aussi parler de traitement des risques.

(voir les différentes phases de la procédure globale de gestion des risques).

## Retour d'expérience

Ensemble des leçons retirées d'un événement malheureux, survenu généralement de manière imprévue, lors d'une catastrophe naturelle (séisme, inondation...) ou d'origine anthropique (accident industriel, faute technique). Le retour d'expérience a pour but d'identifier la manière dont le système s'est comporté afin d'améliorer la réponse lors de futurs événements. Pratiqué dans le cadre de missions d'études post-crisis, il permet par exemple, de faire évoluer les règles de construction, la législation ou l'organisation des secours.

## Risque

Dans le langage courant, le risque est « un danger éventuel plus ou moins prévisible » (Petit Robert, 1996) ou « un danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » (Petit Larousse, 1997).

Définition scientifique :

- La définition scientifique du risque inclut une double dimension : celle des aléas et celle des pertes, toutes deux probabilisées. En conséquence, un risque se caractérise par deux composantes : le niveau de danger (probabilité d'occurrence d'un événement donné et intensité de l'aléa); et la gravité des effets ou des conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire sur les enjeux.

On trouve cependant deux définitions assez différentes dans la normalisation internationale des risques :

1. « la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » ;
2. « la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité ».

## Risque naturel

Événement dommageable, intégrant une certaine probabilité, conséquence d'un aléa naturel survenant dans un milieu vulnérable.

## Risque technologique

Le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un système technique et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel. On parle de risque industriel quand c'est une installation industrielle qui est affectée (usine chimique, centrale de production d'énergie).

### Scénario

Une combinaison unique d'états des composants du système. Le scénario définit une suite de circonstances pertinentes pour la phase d'estimation des risques, par exemple des scénarios de chargement ou de défaillance [Ref-TC32].

### Sécurité

Dans le langage usuel, la sécurité (du latin securus) possède un double sens. C'est à la fois (Robert) :

- l'état d'esprit confiant et tranquille de celui qui se croît à l'abri du danger
- la situation, l'état tranquille qui résulte de l'absence réelle de danger.

Ces deux définitions font référence au danger, mais dans un cas, il s'agit d'une situation assurée, dans l'autre la sécurité résulte d'une perception, qui peut ne pas correspondre à la réalité ("se croît").

Dans le langage technique, un système est dit en sécurité s'il est dans un état tel qu'il ne puisse pas porter atteinte à l'homme, aux biens ou à l'environnement\*.

(voir sûreté, fiabilité) .

### Simulation de Monte-Carlo

Procédure qui consiste à reproduire un processus aléatoire (simuler les effets du hasard) par la sélection de variables aléatoires puis l'analyse de la réponse du système. La procédure de tirage aléatoire doit illustrer le plus fidèlement possible les propriétés statistiques des paramètres d'entrée du système [Ref-TC32].

### Système

Ensemble de composants (ou d'éléments) en interaction [Ref-TC32].

### Vulnérabilité

Susceptibilité d'un système d'enjeux à subir des dommages sous l'action d'un danger.