



Manuel Incendie

CHAPITRE 3

Les Feux Intérieurs



Dossier Instruction SPP		Réf.	DI.1.1.3 Version n° 1
Création	Adj Decollogny	Date	04.09.2020
Mise à jour	-	Date	-
Mise en ligne	Hottinger	Date	28.02.2021

Table des Matières

Manuel Incendie – Les Feux Intérieurs

1. Caractéristiques	3
2. Le Système feu	4
2.1. Eléments constitutifs du Système feu	4
2.2. Echange d'énergie entre les éléments constitutifs	5
2.3. Echange de matière	6
3. Développement des feux intérieurs.....	7
3.1. Feux intérieurs ventilés	7
3.2. Feux intérieurs sous-ventilés.....	15
3.3. Les Phénomènes à développement rapide de l'incendie – Phénomènes thermiques	18
4. Dangers des fumées dans les feux intérieurs	24
4.1. Chaleur.....	24
4.2. Opacité.....	25
4.3. Mobilité.....	26
4.4. Inflammabilité.....	28
4.5. Toxicité.....	29
5. Comportement des fumées et ventilation	31
5.1. Pressions dans le compartiment en feu	31
5.2. Identification des flux de fumées	36
5.3. Terminologie	37
5.4. Types de ventilation	41



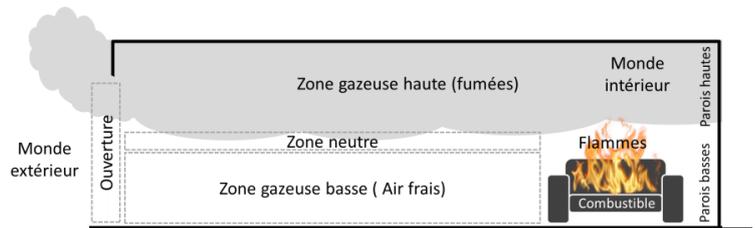
L'utilisation du genre masculin a été adoptée afin de faciliter la lecture et n'a aucune intention discriminatoire.

1. Caractéristiques

A la différence des feux en extérieurs, les feux intérieurs sont des incendies qui se développent hors de tout contrôle **dans un espace physique limité**. La structure bâimentaire va alors avoir plusieurs effets sur l'incendie et principalement sur :

1) Le Système feu

Soit l'échange d'énergie des différents éléments constitutif des feux intérieurs.

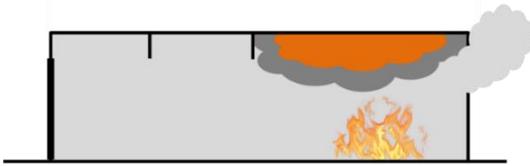


2) Le Développement des feux intérieurs

Nous pouvons différencier deux types de feux intérieurs :

a) Un incendie intérieur ventilé

- ⇒ L'apport d'air est limité mais les échanges gazeux avec l'extérieur existent.
- ⇒ On parle ici d'un **volume semi clos**.



b) Un incendie intérieur sous-ventilé (confiné)

- ⇒ Les portes et les fenêtres sont fermées et intactes de sorte que l'échange gazeux avec l'extérieur est pratiquement négligeable.
- ⇒ On parle ici d'un **volume clos**.

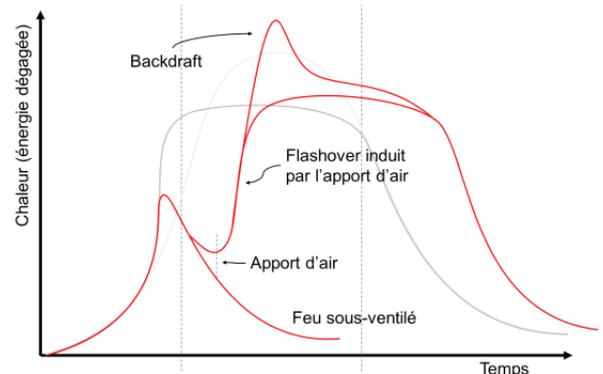


3) Les Phénomènes à développement rapide de l'incendie – phénomène thermique

1. Le Flashover induit par un apport d'air
2. Le Backdraft
3. Les Feux pilotés par le vent
4. Les Fire Gaz Ignition (FGI)

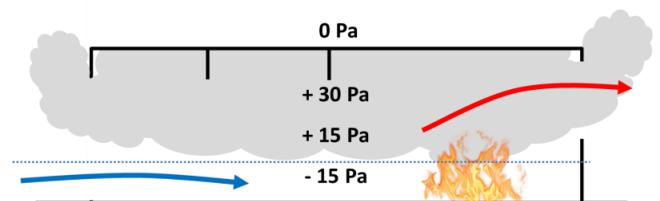
4) Les Dangers des fumées dans les feux intérieurs :

1. Chaleur
2. Opacité
3. Mobilité
4. Inflammabilité
5. Toxicité



5) Le Comportement des fumées et de la ventilation opérationnelle

Les différentiels de pression induits par l'incendie vont provoquer des déplacements de masses gazeuses dans les volumes et l'impact de la ventilation opérationnelle sur ceux-ci.



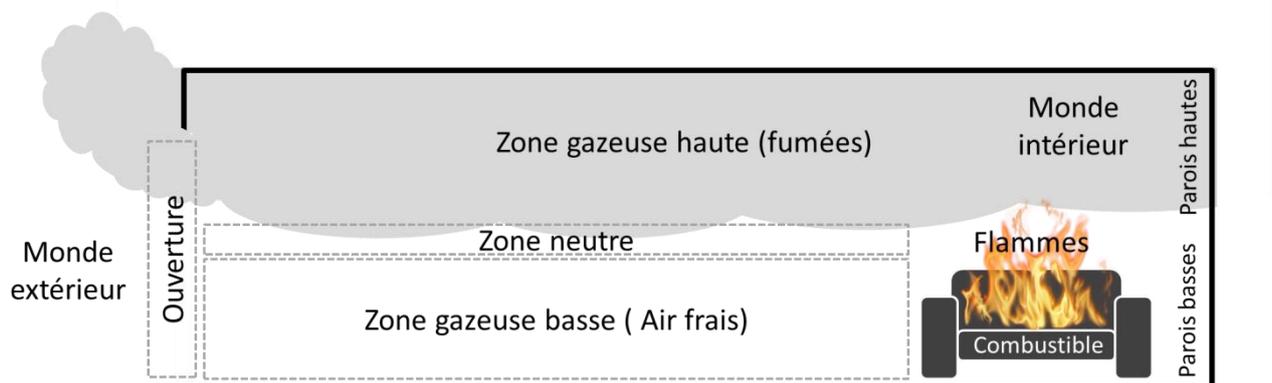
2. Le Système feu

L'incendie, enfermé dans un volume de 4 murs, et alimenté en oxygène par l'environnement externe via des ouvrants va inévitablement être influencé lors de la modification de l'un ou l'autre de ces éléments.

2.1. Eléments constitutifs du Système feu

L'élément constitutif du système feu est divisé en deux :

- Le Monde extérieur
- Le Monde intérieur



Le Monde extérieur

Le monde extérieur est constitué par l'environnement extérieur à l'enceinte en feu. Cela peut être l'atmosphère extérieure dans le cas d'un bâtiment, un couloir dans le cas d'un appartement ou une autre pièce dans le cas d'un feu de cuisine.

Le Monde intérieur

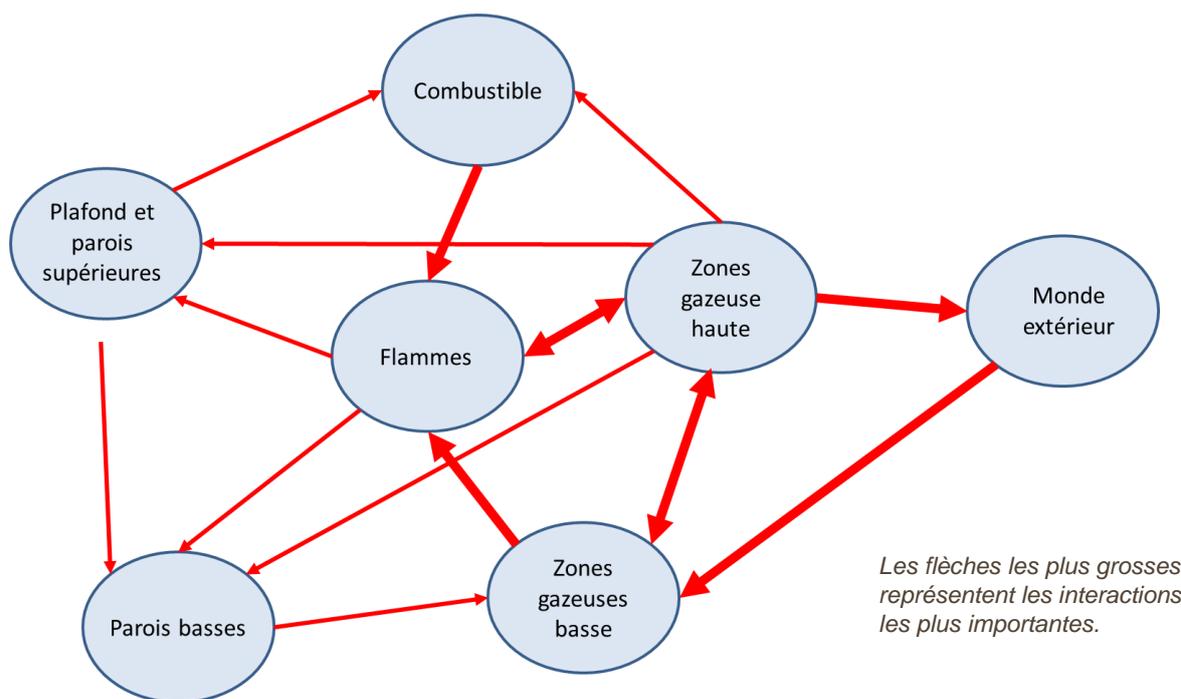
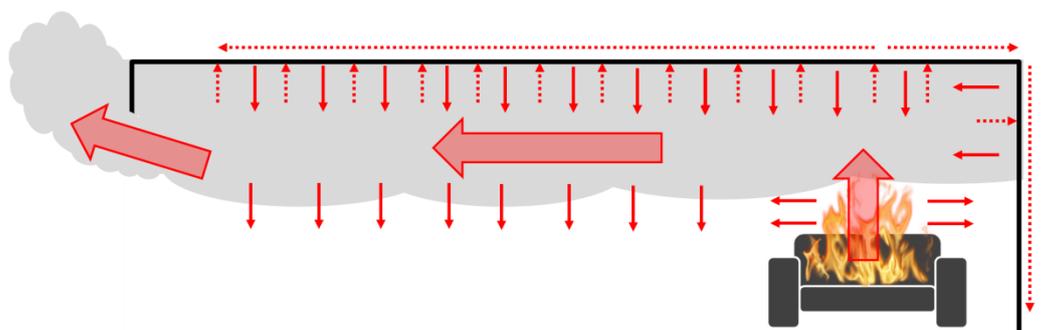
Le monde intérieur est constitué de l'ensemble des éléments contenu dans l'enceinte en feu :

- La zone gazeuse haute constituée des fumées
- La zone gazeuse base constituée par l'air frais
- La zone neutre séparant les zones gazeuses haute de la zone gazeuse basse (appelée aussi plan neutre)
- Les parois hautes le plafond, les murs en contact avec la zone gazeuse haute
- Les parois basses les murs en contact avec la zone gazeuse basse
- Le combustible représente l'ensemble des éléments combustible de l'enceinte en feu (mobilier, éléments de décoration, faux-plafonds)
- Les flammes

2.2. Echange d'énergie entre les éléments constitutifs

Tous ces éléments seront en interaction et échangeront de l'énergie au travers des différents modes de propagation de la chaleur :

- Conduction 
- Convection 
- Rayonnement 



Pour le sapeur-pompier sur le terrain, au regard de l'interaction permanente, interdépendante et dynamique de ses éléments, la compréhension de celui-ci dans sa globalité sera rendue excessivement difficile.

Cependant, le sapeur-pompier pourra facilement comprendre qu'une action portée sur l'un de ses éléments aura une forte incidence sur l'entier du système.

2.3. Echange de matière

De manière simplifiée les échanges de matière au sein du système feu sont constitués de trois éléments :

- De l'air entrant en partie basse (zone gazeuse basse)
- Du combustible réagissant avec l'air au niveau de la zone de feu
- De la fumée sortant en partie haute (zone gazeuse haute)

Le Principe de Conservation de la Masse établit que la masse totale d'un système isolé ne connaît pas de changements. La masse n'est ni créée ni détruite, mais change dans sa disposition.

Appliqué au compartiment, on peut déterminer que la masse de fumées qui quitte le compartiment sera égale à la masse d'air qui y entre, augmentée de la quantité de combustible passant à l'état gazeux (pyrolyse). Scientifiquement cette égalité est connue sous le nom de formule de Thomas.



La formule de Thomas met en lumière **l'importance du transfert de masse** au sein d'un incendie et le lien direct entre l'air, la pyrolyse et la fumée.

Cela oblige les sapeurs-pompiers à prendre en compte les transferts de masse lors des interventions : soit en tant qu'indicateurs lors de la lecture du feu, soit dans les stratégies opérationnelles à travers la gestion des ouvrants et les pratiques de ventilation.

Sur le terrain, le canal de ventilation (*Flow Path* en anglais) est la représentation physique de cette formule, élément essentiel aux actions de ventilations.



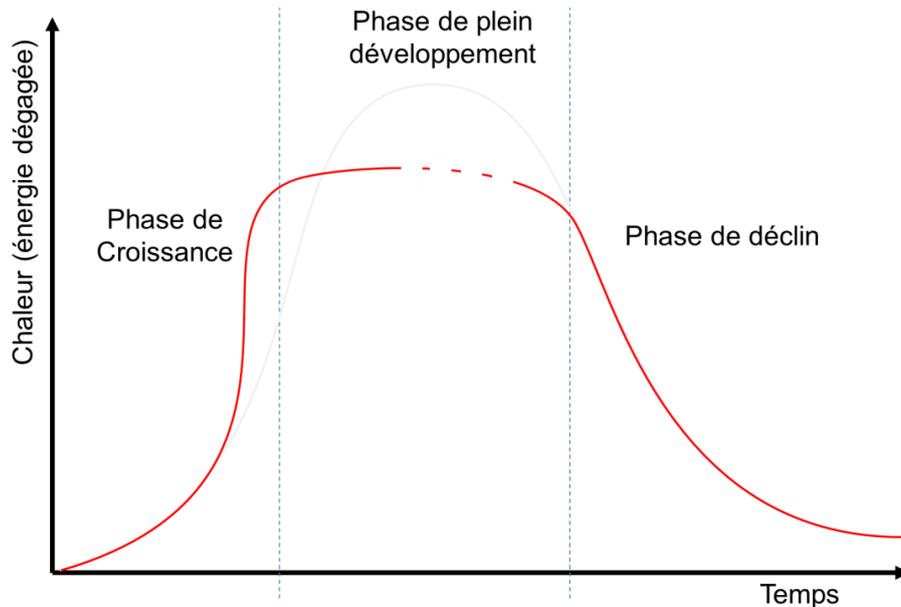
Sur intervention, chaque pompier en fonction de sa fonction verra sa propre représentation schématique du système feu en fonction du volume de référence qui le concerne.

Par exemple dans le cas d'un feu de cuisine dans un immeuble, le binôme d'attaque sera basé sur la chambre (le monde extérieur sera le reste de l'appartement), pour le chef tonne l'appartement (le monde extérieur sera le reste de l'allée) et pour l'OGI le bâtiment dans sa globalité (le monde extérieur étant l'environnement extérieur).

3. Développement des feux intérieurs

3.1. Feux intérieurs ventilés

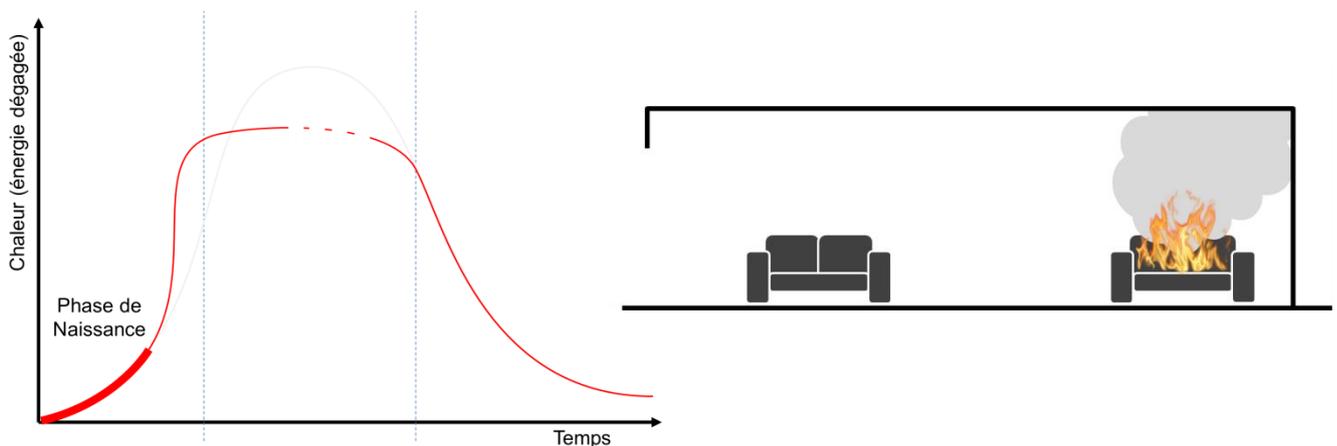
Comme dans le développement d'un incendie standard en extérieur (voir Chapitre la Théorie du Feu – le développement du feu), les feux intérieurs vont suivre également les **trois phases de développement** : **croissance**, **plein développement**, **déclin**. Celles-ci seront cependant affectées par l'environnement architectural et la courbe de développement des feux intérieurs sera modifiée par rapport aux incendies extérieurs.



Phase de croissance

Naissance

Dans les premiers instants, à la naissance du feu, comme pour les feux extérieurs, la puissance de celui-ci est très limitée et sa croissance est lente.

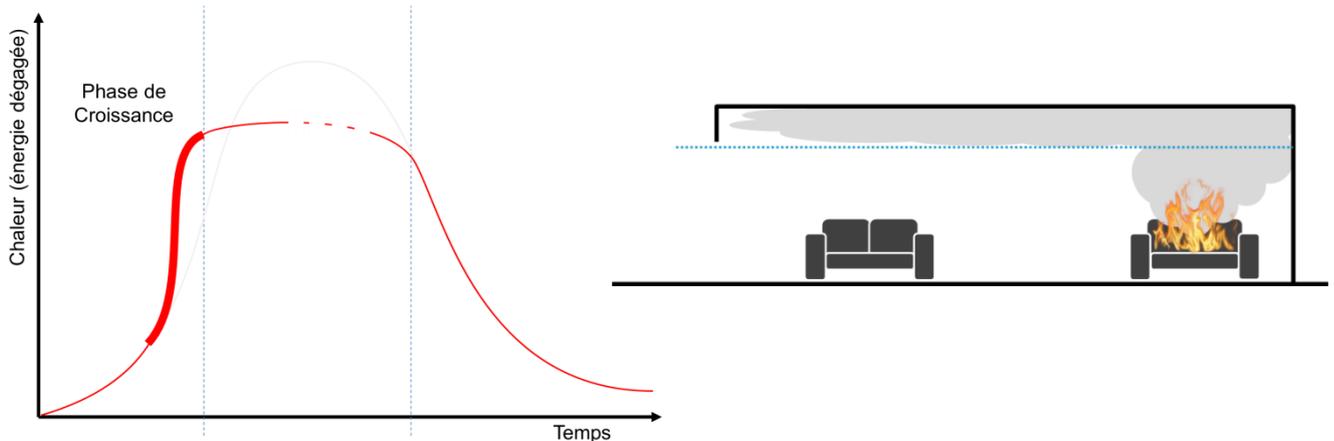


Les matières combustibles dans l'environnement du foyer ont besoin d'énergie pour commencer leur processus de pyrolyse qui décompose leurs composés organiques et libèrent des gaz combustibles dans l'environnement, l'incendie se développe de part en part, aucune différence n'existe par rapport aux feux extérieurs.

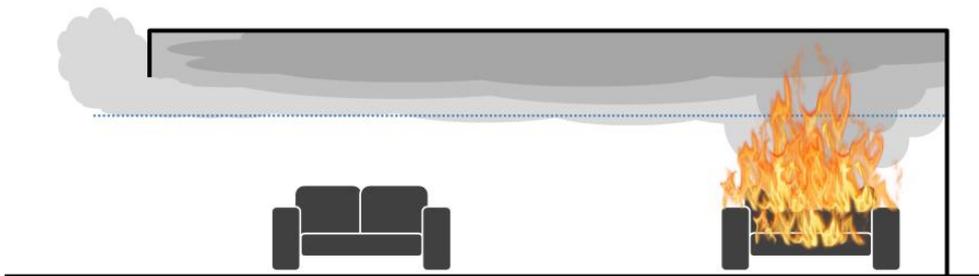
Croissance

Une colonne de convection se forme au-dessus du foyer en transmettant de la chaleur aux éléments combustibles qui se trouvent dans la partie supérieure. Avec l'augmentation de la température, la densité des gaz diminue et un effet de flottabilité apparaît qui contribue à les répandre dans tout le compartiment.

On voit alors apparaître un plafond de fumées clairement délimité (ligne bleue).

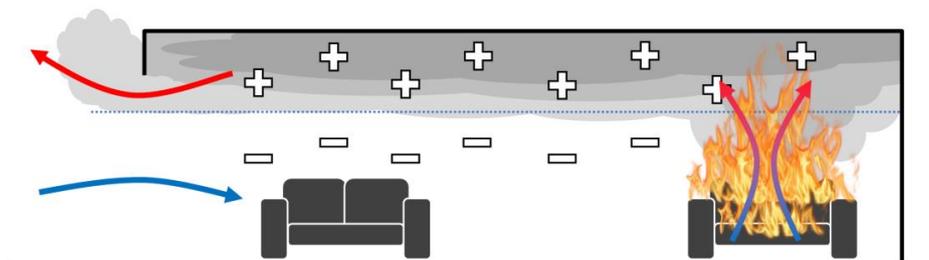


La couche de fumée s'épaissit et s'enrichit de gaz combustibles et chauds qui rayonnent à leur tour. En chauffant, celle-ci se dilate et le plafond de fumée descend.



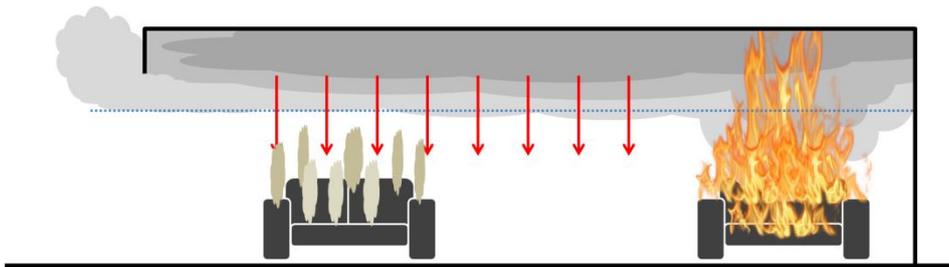
À mesure que le feu se développe, sa demande en oxygène et sa production de produits de combustion suivent le même chemin, si bien qu'on assiste à la formation des **deux strates** dans le compartiment : strates correspondantes aux zones gazeuses vues précédemment dans le système feu :

- Une **strate supérieure (zone gazeuse haute)** formée des gaz chauds (gaz de pyrolyse, produits de combustion) qui s'élèvent en raison de leur densité inférieure. Elle enregistre des pressions supérieures aux pressions extérieures.
- Une **strate inférieure (zone gazeuse basse)** formée d'air frais et dense, à des pressions inférieures aux pressions extérieures.



Ce phénomène est appelé la **stratification des fumées**.

À mesure que la température de la couche de fumées augmente, son rayonnement suit de manière exponentielle et provoque **la pyrolyse des matières combustibles éloignées de la zone de flammes**.



Pour donner un ordre de grandeur :
À **500° C**, la quantité d'énergie rayonnée est 64 fois plus grande qu'à température ambiante.

Durant cette étape, la température est en **constante augmentation**.

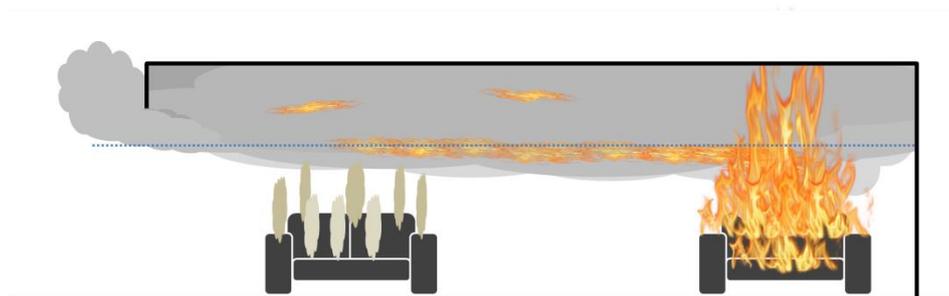
Le feu dispose de **suffisamment d'oxygène** pour se développer, sa puissance est par conséquent **limitée par** la quantité, la disposition, la continuité et la nature du **combustible**.

La nappe de gaz chauds, formée des produits de la combustion et dérivés de la pyrolyse, peut atteindre son point d'**auto-inflammation** durant cette étape.

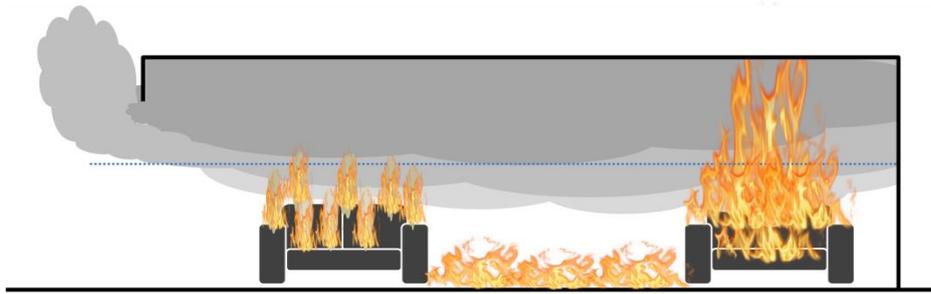


Par exemple, le monoxyde de carbone, un des produits de la combustion, s'enflamme à env. **600° C**.

Cette inflammation peut être localisée dans des zones ponctuelles de la couche de fumée, en générant des inflammations isolées (**anges danseurs**) puis des rouleaux de flammes (**roll-over**).



On remarque que le plan neutre continue à descendre, signe de la dilatation des gaz consécutive à l'augmentation de température. La fumée est de plus en plus dense, rapide, turbulente. **La chaleur est écrasante.**



À ce moment, et à condition d'une charge combustible et d'un apport d'air suffisants, le développement du feu s'accélère brusquement et atteint un maximum lorsque « les surfaces exposées au rayonnement thermique atteignent leur température d'auto-inflammation de manière quasi simultanée et où l'incendie s'étend rapidement dans tout l'espace disponible en se généralisant dans le compartiment ».

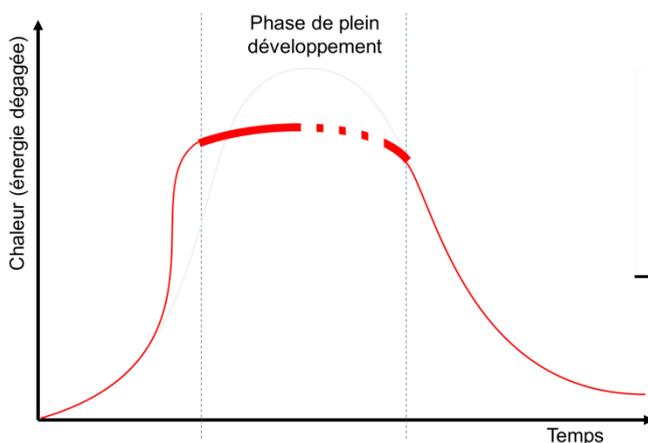
⇒ Cette **transition entre un feu localisé et un feu généralisé** s'appelle **flashover** ou **embrasement généralisé éclair** et marque le début de la phase de plein développement.

Cette transition n'est pas instantanée, elle peut durer de quelques secondes à plusieurs dizaines de secondes.



Il est important de noter que c'est bien la mise à disposition de combustible supplémentaire (bien que celle-ci soit provoquée par l'augmentation de chaleur, puis la pyrolyse) et son inflammation qui est l'élément déclencheur du flashover.

Plein développement

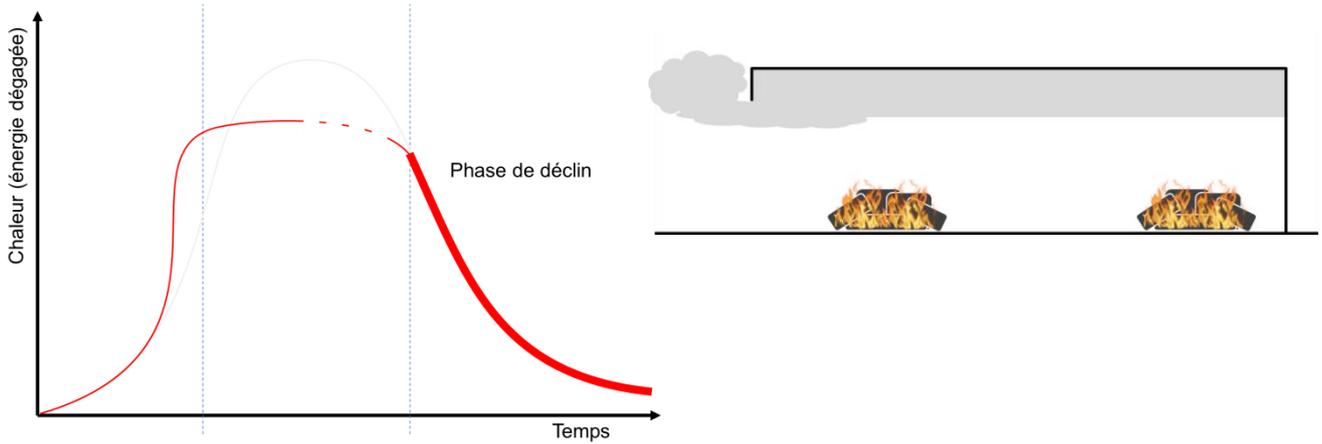


La principale caractéristique de cette étape est que la courbe de développement atteint un palier et demeure stable durant un moment.

Au cours de cette période, la puissance du feu n'est plus déterminée par le combustible (caractéristiques, distribution, quantité, continuité, etc.) mais par l'absence d'oxygène dans le compartiment.

En effet, la taille des ouvrants n'est plus suffisante pour réagir avec l'énorme quantité de combustible mise à disposition sous forme de gaz de pyrolyse. On dit que le feu est alors « **limité par la ventilation** ».

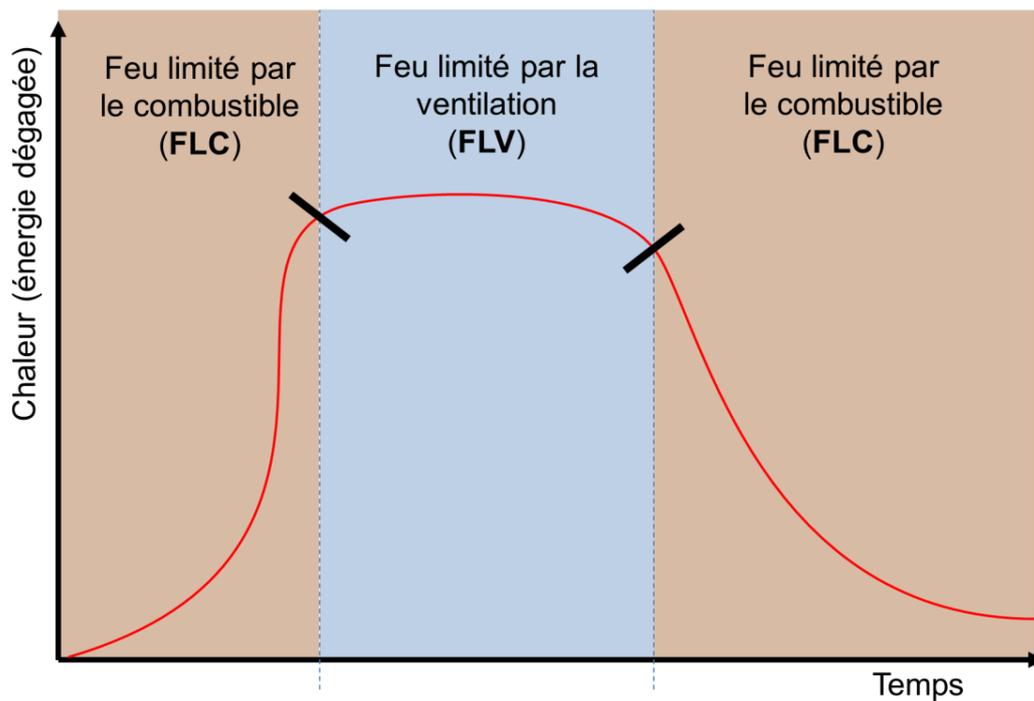
Déclin



Avec le temps, le combustible dans le compartiment diminue faisant baisser la température et le feu décroît, soit parce qu'en l'absence de ventilation la puissance du feu n'est pas suffisante pour compenser les pertes de chaleur à travers l'environnement soit parce que les combustibles n'émettent plus de gaz de pyrolyse.

Limitation des feux

Durant les différentes phases de l'incendie, celui-ci est limité soit par le combustible, soit par la ventilation.



Feu limité par le combustible (FLC)



Le feu limité par le combustible est celui dont l'**émission de chaleur et la croissance sont limitées par les caractéristiques du combustible** (quantité et distribution) en ayant une proportion appropriée d'air pour la combustion.

Comme souligné précédemment, les feux de compartiment sont généralement contrôlés par le combustible lors de leur phase de naissance, leur phase de croissance et ensuite lors de leur phase de déclin.

Les paramètres qui influent le développement d'un feu contrôlé par le combustible sont d'un intérêt tout particulier :

Superficie et masse	Plus la superficie pour une masse donnée de combustible est importante, plus il est facile de chauffer ce combustible à sa température d'inflammation.
Composition chimique	La composition chimique du combustible a un impact important sur la chaleur libérée lors de la combustion.
Charge de combustible	La quantité totale de combustible disponible pour la combustion influence le dégagement potentiel total de chaleur.
Humidité du combustible	Bien que ce ne soit pas un facteur important pour tous les types de combustible, l'eau agit comme un ballast thermique, ralentissant le processus de réchauffement du combustible jusqu'à sa température d'inflammation.
Orientation	L'orientation du combustible par rapport au feu influence la manière dont la chaleur lui est transférée. Par exemple, la surface d'un mur en bois est aussi bien chauffée par la convection que par le rayonnement, alors que le sol est seulement chauffé par la chaleur radiante.
Continuité	Nous entendons par « continuité » la proximité des divers éléments combustibles les uns par rapport aux autres. Plus le combustible est serré (ou plus il est continu), plus la propagation est rapide. La continuité peut être horizontale (par exemple surface du plafond) ou verticale (par exemple stockage en rayons ou des murs).



On peut rencontrer des feux limités par le combustible (FLC) dans :

- Les feux en intérieur à leur phase de développement initial et final.
- Les feux en intérieur avec une ventilation importante
- Les feux en intérieur auxquels on applique une ventilation par pression positive une fois que l'on a réalisé le balayage initial des fumées.
- Les feux dans des volumes de grande taille (entrepôts industriels ou hangars) où le feu est de petite taille par rapport au volume du compartiment
- Les feux en extérieur



A l'image d'un pneu (par extension tout combustible issu de la pétrochimie) qui brûle à l'extérieur produira une fumée noire chargée issue d'une combustion incomplète. Bien qu'il ne soit pas limité par l'apport d'oxygène (il se trouve à l'extérieur) pour ce type de combustible, la charge carbonée libérée par le processus de combustion est telle, que l'oxygène de l'air ne peut plus, au-delà d'une « certaine limite », diffuser au sein même de la phase combustible gazeuse produite par le processus de combustion, tant elle est concentrée. On parle alors de feu en limitation diffusionnelle.

Feu limité par la ventilation (FLV)



Le feu limité par la ventilation est celui dont **la croissance et la puissance sont limitées par la quantité d'oxygène disponible.**

Un FLV, qu'il soit passé ou non par une étape de flashover, consomme une telle quantité d'oxygène que le facteur limitant sa croissance ne sera pas le combustible mais la disponibilité en oxygène.

Le développement de l'incendie sera donc limité par les ouvrants du compartiment.

Ainsi tous changements dans cette ventilation influenceront directement le comportement du feu.



La réduction de la ventilation (par exemple la fermeture d'une porte) réduira le taux de dégagement de chaleur et ralentira le développement du feu.



L'augmentation de la ventilation (par exemple l'ouverture d'une porte ou d'une fenêtre) augmentera le taux de dégagement de chaleur et la vitesse de développement du feu.

Les changements du profil de ventilation peuvent être provoqués par le feu (bris de la vitre d'une fenêtre), par les occupants (en laissant une porte ouverte), ou par une action tactique réalisée par les sapeurs-pompiers (ventilation offensive).

Différence entre FLC et FLV

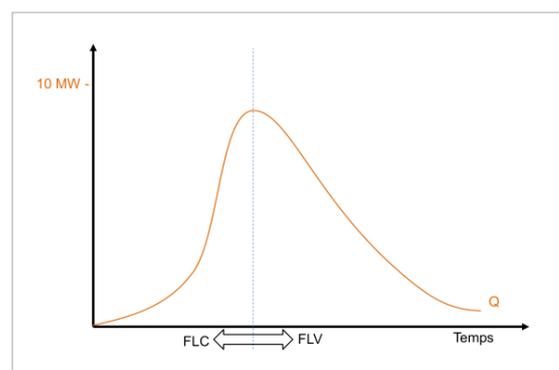
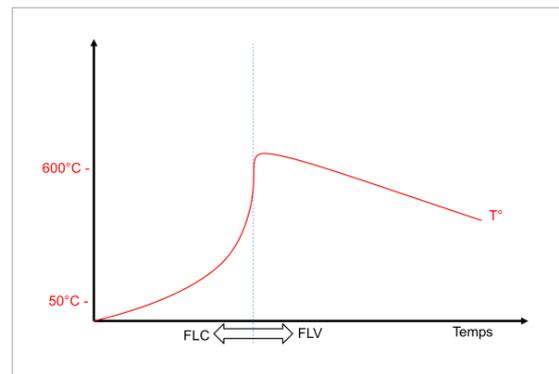
On compare sur le graphique suivant l'évolution de plusieurs paramètres d'un feu en intérieur lors du basculement de la limitation du feu par le combustible à la ventilation.

Habituellement, on fait exclusivement référence à la température (**T**) mais d'autres facteurs conditionnent de manière significative l'intervention des pompiers.

Observez la différence qui se produit dans les conditions intérieures lorsque l'incendie passe d'un état FLC à un état FLV.

Le moment de transition s'avère d'une importance vitale car de multiples paramètres du feu se modifient et les conditions intérieures s'aggravent de manière significative.

La puissance de l'incendie (**Q**) est exprimée en MW et indique la quantité d'énergie que produit le feu dans l'unité de temps. On observe la manière dont la puissance du feu augmente de manière exponentielle durant la phase de croissance mais lorsque le feu a consommé l'oxygène disponible, la combustion se ralentit et par voie de conséquence l'énergie qu'il produit

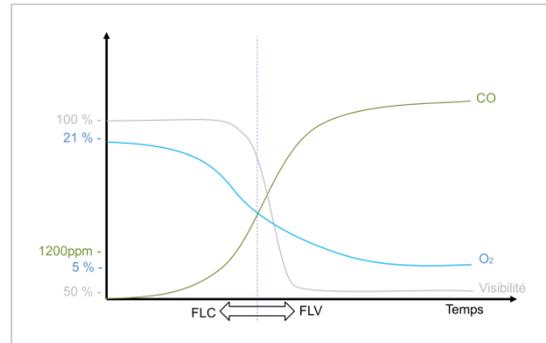


aussi.

Dans les **feux confinés**, la puissance se rapprochera de zéro. Cependant, même dans les feux confinés, il n'existe pas d'étanchéité parfaite et le petit courant d'air qui s'introduit par les interstices, ouvertures de ventilation et zones mal isolées conserve au feu une certaine puissance.

Dans les **feux ventilés**, la puissance peut atteindre des valeurs considérables même lors de la phase de limitation (FLV). En outre, dans ces cas-là, la transition par une étape de flashover est plus que probable avant d'atteindre le stade de plein développement (FLV).

Dans la **transition de FLC à FLV**, la concentration d'oxygène chute rapidement (O_2). Ce déficit d'oxygène génère une grande quantité de produits à combustion incomplète (suies et gaz non complètement oxydés) impliquant une **perte de visibilité**. Cette situation produit des concentrations élevées de gaz toxiques (Observez la courbe **CO** pour noter la manière dont les concentrations de monoxyde de carbone augmentent).



Les conditions de sécurité qu'offrent l'un et l'autre type de feu sont radicalement différentes

En situation de FLV, les compartiments sont remplis de gaz combustibles à hautes températures. Dans la plupart des cas, ces gaz se situent hors de leur point d'inflammabilité, non par manque de température mais parce que le mélange est excessivement riche en combustible par rapport à la proportion de comburant.

Lorsque ces atmosphères connaissent une augmentation de ventilation, les gaz combustibles et l'air se mélangent progressivement et la puissance du feu augmente significativement jusqu'à conduire à un flashover induit par la ventilation.

FLC	FLV
Environnement relativement <u>sûr</u> pour la progression intérieure	Environnement particulièrement <u>dangereux</u> avec difficultés spécifiques
<ul style="list-style-type: none"> Bonne visibilité 	<ul style="list-style-type: none"> Manque de visibilité, Opérations intérieures lentes et coûteuses
<ul style="list-style-type: none"> Couche d'air frais dans les parties basses 	<ul style="list-style-type: none"> Atmosphère irrespirable pour les victimes ou les pompiers sans appareils respiratoires Atmosphère combustible Températures élevées généralisées
<ul style="list-style-type: none"> Concentration de gaz toxiques relativement basse (CO, HCN, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Concentration élevée de gaz toxiques (CO, HCN, etc.)
<ul style="list-style-type: none"> Combustion complète 	<ul style="list-style-type: none"> Nappe de gaz inflammables avec nombreux produits à combustion incomplète
<ul style="list-style-type: none"> Foyer facilement localisable 	<ul style="list-style-type: none"> Difficulté de localisation du foyer

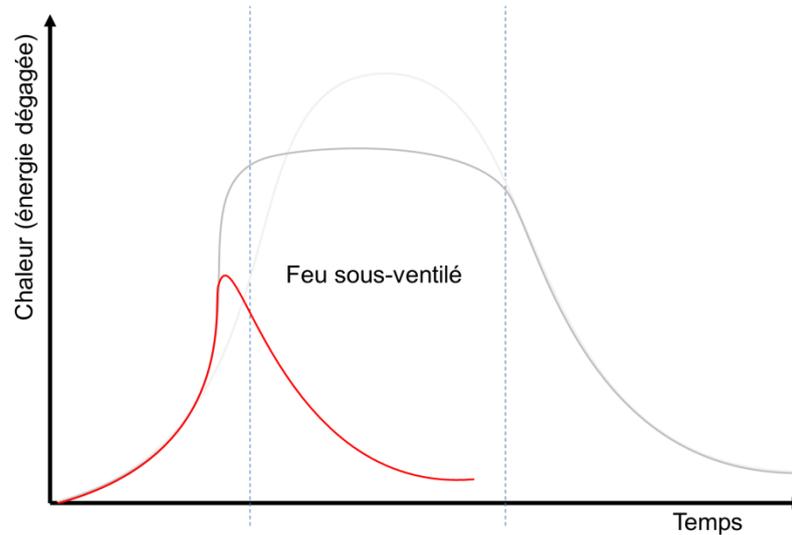
3.2. Feux intérieurs sous-ventilés



Un feu sous-ventilé est un feu intérieur atteignant l'état de feu limité par la ventilation sans passer par une étape de flashover.

Les feux sous-ventilés sont typiques des volumes confinés où la ventilation est très limitée dans laquelle l'apport en oxygène est réduit et où le feu consume, durant sa phase de développement, l'oxygène disponible dans le compartiment.

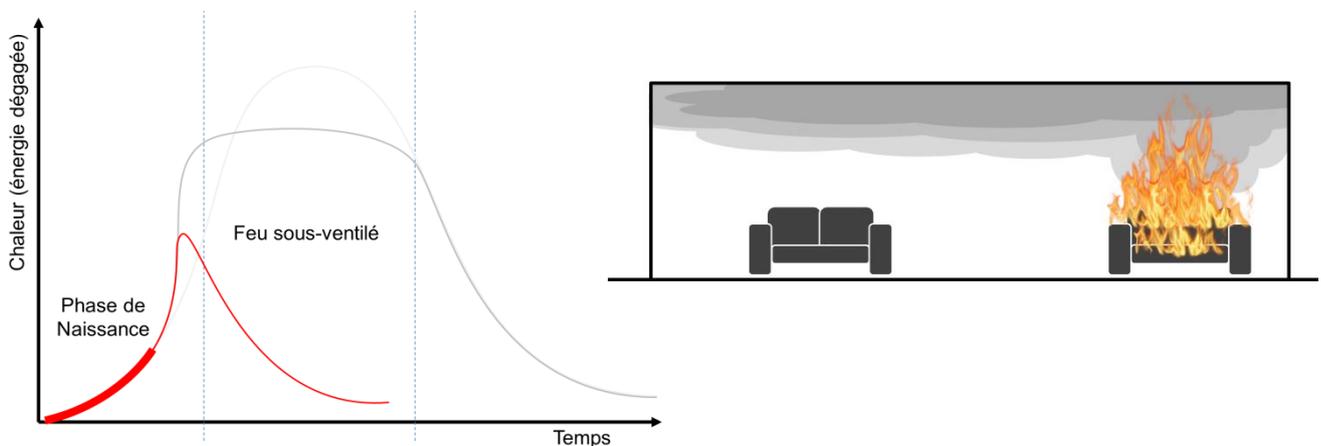
Dans la plupart des cas, le confinement est la raison à l'origine du feu sous-ventilé.



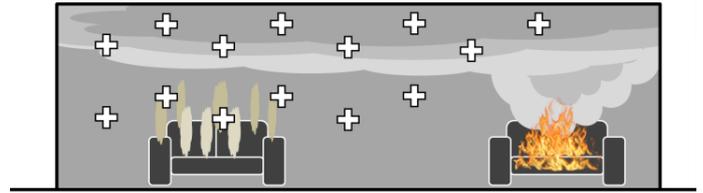
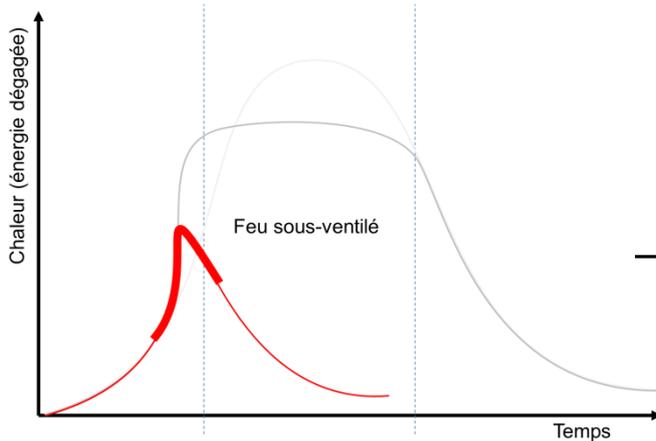
Phase de croissance et déclin

Naissance

Dans sa première phase de croissance, le feu sous-ventilé suit la même courbe que le feu ventilé. En effet, ce n'est pas la ventilation qui limite sa puissance mais le combustible mis à disposition.



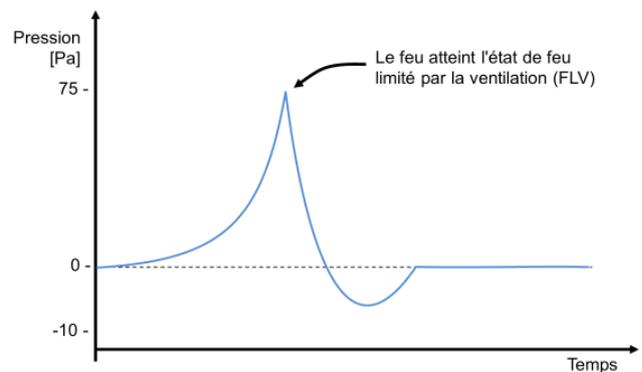
Croissance et déclin



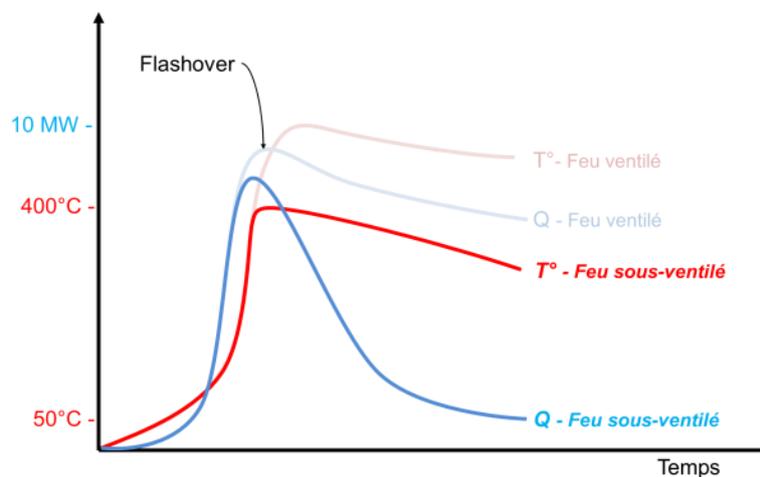
En raison de l'absence d'un courant d'air continu, la stratification disparaît et le plan neutre descend rapidement jusqu'au sol.

Dans un premier temps, la pression augmente dans le local, la visibilité devient nulle et rend difficile la recherche d'éventuelles victimes.

La chaleur importante se répartit sur toute la hauteur de la pièce tout en provoquant la pyrolyse des matériaux combustibles, cependant, leur combustion est impossible en raison du manque d'oxygène.



Les flammes diminuent en intensité, disparaissent et le feu passe alors à une combustion incandescente et lente, la pression chute totalement jusqu'à devenir négative, avant de **s'éteindre de lui-même**.

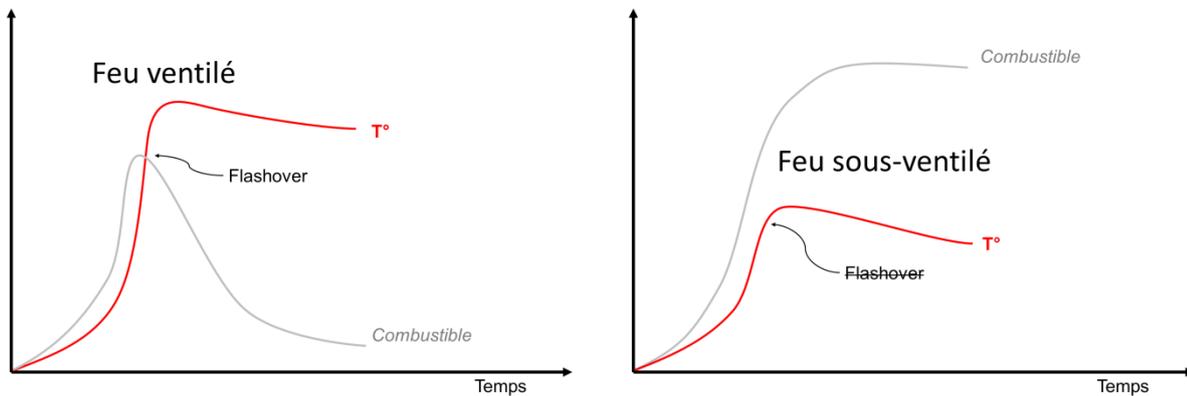


Ce graphique compare la puissance (**Q**) et la température (**T**) entre un feu ventilé et un feu sous-ventilé.

On remarque que, contrairement au feu ventilé, le feu sous-ventilé atteint l'état de feu limité par la ventilation sans passer par l'étape du flashover et donc sans atteindre le stade du plein développement, la puissance **Q** diminue très vite et il n'y a pas de palier.

Impact sur les fumées

Avant le flashover, la couche de fumée contient des produits à combustion complète (fruit du développement du feu limité par le combustible), des gaz provenant de la pyrolyse et des produits de combustion incomplète qui a tendance à augmenter à mesure que la concentration d'oxygène se réduit.



Lorsqu'un flashover se produit dans un feu ventilé, le combustible contenu dans les fumées est consommé et la puissance du feu augmentée (sa température avec).

Contrairement au feu ventilé où l'étape post-flashover consomme une grande partie du combustible, dans les feux sous-ventilés une proportion élevée de combustible reste disponible.



Ce combustible disponible représente alors un réel danger pour les intervenants.

Deux cas de figure peuvent se produire :

- **Sans apport d'air**, en fonction de l'isolation thermique, la température va décroître lentement et l'incendie va s'éteindre tout seul.
- **Avec un apport d'air**, la puissance du feu va augmenter de manière brusque voire explosive :
 - Flashover induit par un apport d'air
 - Backdraft

3.3. Les Phénomènes à développement rapide de l'incendie – Phénomènes thermiques

Flashover – Embrassement Généralisé Éclair



L'Embrassement Généralisé Éclair (EGE) est la phase transitoire dans le développement d'un feu intérieur dans lequel les surfaces exposées au rayonnement thermique atteignent leur température d'inflammation de manière quasi simultanée et où l'incendie s'étend rapidement dans tout l'espace disponible en se généralisant dans le compartiment.

Le développement d'un feu ne passe pas toujours par une phase de flashover. Pour qu'elle survienne, les circonstances suivantes doivent être présentes :

- **Charge combustible suffisante** pour générer une couche de fumée/gaz dont le rayonnement permettra aux surfaces exposées d'atteindre leur température d'inflammation.
- **Proportion d'oxygène appropriée** de sorte que le mélange gazeux se trouvera dans sa fenêtre d'inflammabilité (température et rapport combustible/comburant). On l'obtient lorsqu'il existe une ouverture de ventilation suffisante ou lorsque le compartiment en feu se trouve à l'intérieur d'une structure suffisamment vaste pour garantir l'apport en oxygène nécessaire.



Signes précurseurs du flashover

⇒ **Chaleur écrasante**

Une hausse subite de la température. Les intervenants à l'intérieur seront écrasés au sol et les objets se trouvant dans cette espace vont commencer à pyrolyser.

⇒ **Fumée dense et turbulente**

Surtout observable à l'extérieur du bâtiment, la fumée devient dense, foncée et turbulente.

⇒ **Rollover**

Ne sont pas toujours visible dû à la grosse densité des fumées. Mais ils peuvent être visibles à l'interface de la fumée et de l'air frais. (Signe qu'en partie haute, le mélange de gaz est trop riche et ne s'enflammeront pas dans la pièce, mais plutôt à la sortie d'une ouverture)



Actions à entreprendre contre les flashover de manière simultanée ou consécutive :

- ⇒ Limiter ou réduire l'apport d'air au feu
- ⇒ Réduire la température de la couche de fumée/gaz de manière à réduire son inflammabilité
- ⇒ Inertiser la couche de fumée avec de la vapeur d'eau pour la placer hors de sa plage d'inflammabilité
- ⇒ Effectuer un balayage des fumées/gaz pour les expulser hors du compartiment au moyen d'une ventilation forcée. Cette expulsion devra s'opérer sans provoquer de turbulences excessives pouvant mélanger les gaz combustibles à l'air apporté.

Flashover induit par un apport d'air

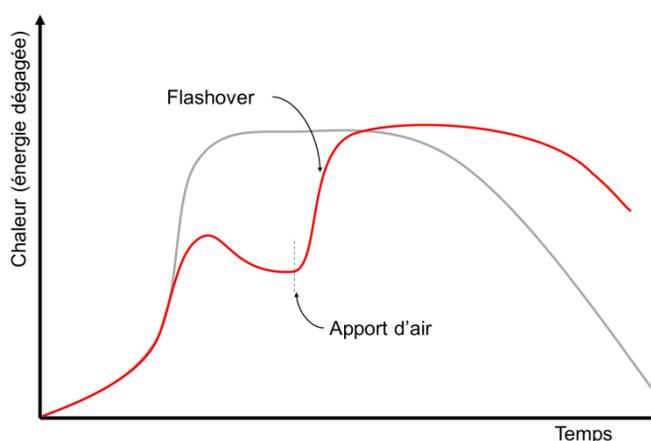


Le flashover induit par un apport d'air est un flashover naissant d'une alimentation en oxygène sur un feu sous-ventilé.

Dans les feux sous-ventilés (feux limités par la ventilation qui n'ont pas connu d'étape de flashover), l'ouverture d'un quelconque orifice de ventilation confère au feu un regain de puissance car la grande quantité de combustible disponible à accès à l'oxygène nécessaire pour se situer dans sa plage d'inflammabilité.

Cela peut permettre au feu de retrouver le développement normal d'un feu ventilé et d'atteindre le flashover.

On dit que celui-ci est « induit par un apport d'air » ou « induit par la ventilation » car il se produit dans le contexte d'un feu déjà sous-ventilé.



Lors de feux sous-ventilés, au début de la progression intérieure, **il faut prêter une attention particulière au contrôle de l'apport d'air.**



Les expériences de Underwriters Laboratories dans des logements de taille réelle avec un mobilier moderne ont permis d'observer une plage de **deux minutes** environ entre l'ouverture de la ventilation et la production du flashover induit par la ventilation.

En plus des indicateurs classiques de flashover, la formation croissante de courants d'entrée d'air et de sortie de fumées est caractéristique dès le moment où l'ouverture est réalisée.

Le courant initial, quasiment laminaire, évolue en faveur de courants de sortie à la vitesse et aux turbulences accrues à mesure que le feu regagne de la puissance et se rapproche du flashover induit par la ventilation.

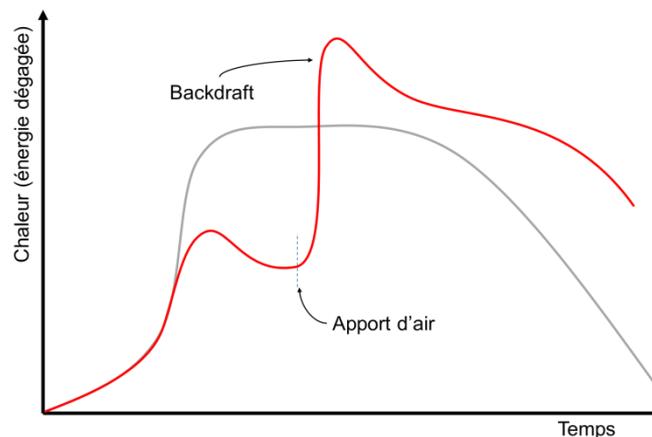
Backdraft



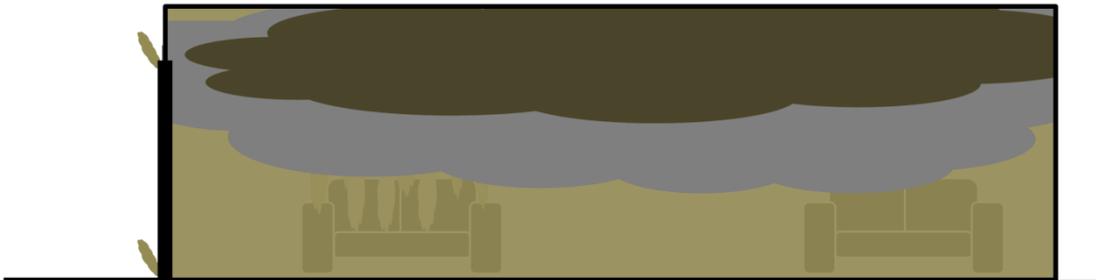
Le backdraft est une **explosion** faisant suite à un apport d'air soudain sur un feu confiné dans lequel il existe des produits à combustion incomplète par manque d'oxygène.

A l'instar du flashover induit par un apport d'air, dans un backdraft on part également d'un scénario de feu sous-ventilé (FLV), lequel n'étant pas passé par une étape de flashover contient une proportion de combustible élevé dans sa couche de fumée.

La différence réside dans le fait que dans le flashover induit par un apport d'air l'augmentation de puissance du feu se produit progressivement tandis que dans un backdraft l'augmentation de puissance est soudaine et consécutive à une explosion.



Situation pré-backdraft



Dans la situation pré-backdraft, on se trouve face à un compartiment **très confiné**, siège d'un feu fortement sous-ventilé.

On peut observer que les **fenêtres sont opaques et chaudes**, avec des dépôts huileux (condensation des gaz de pyrolyse), et **aucunes flammes visibles**.

La chaleur à la porte est uniforme de bas en haut. La pression à l'intérieur du volume peut **osciller** entre une **surpression** et une **dépression**. On observe alors des fumées sortir puis être aspirées par les interstices, et ce **de manière cyclique**.

En fonction de la pression intérieure au moment de l'ouverture de la porte, celle-ci peut provoquer une aspiration de l'air frais à l'intérieur du volume ou au contraire une expulsion de gaz chauds. Les **fumées** qui s'échappent sont **denses** et peuvent avoir des **nuances jaunâtres**.

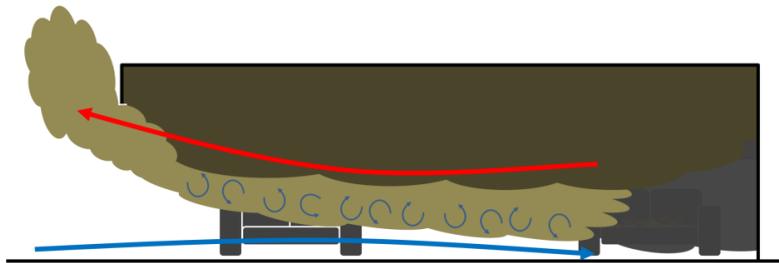
Courant de gravité et pré-mélange

Au moment où se produit une ouverture dans le compartiment en feu, un courant d'air frais s'introduit à l'intérieur et se répand dans les parties les plus basses.

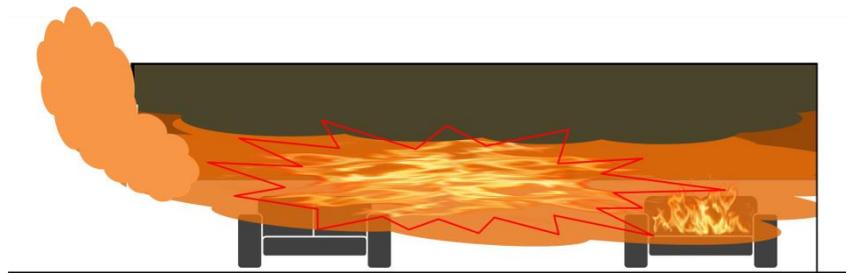
On dénomme ce flux courant de gravité.

On trouve au-dessus de celui-ci un courant de gaz chauds (chargés en gaz de pyrolyse) qui s'échappe vers la sortie des fumées.

Le frottement des deux courants produit des turbulences et une **zone de pré mélange**.



Dans les premiers instants, les zones de pré mélange affectent seulement la zone proche de la sortie des fumées, elles se déplacent progressivement vers le fond du compartiment jusqu'à atteindre une source d'ignition qui entraîne l'explosion du mélange.



Durant un backdraft, il se produit une **brusque augmentation de la puissance du feu** associée à une onde de pression susceptible d'occasionner des dommages matériels importants et dans la plupart des cas des conséquences tragiques pour les personnels se trouvant à l'intérieur, il s'agit donc d'une **situation à éviter à tout prix**.



L'intervention devra être destinée à :

- Réduire la température de l'intérieur au moyen d'une attaque indirecte avec application d'eau depuis la porte d'accès ou d'ouvertures praticables qui pourront être fermées.
- Ouvrir un orifice de ventilation sur la toiture. Ce type d'ouverture ne permet pas l'introduction d'un courant de gravité, il n'existe donc pas de mélange effectif de fumées/gaz combustibles et d'air. Même si ce peut être une option opérationnelle dans les types de construction à base de structures légères en bois, elle n'est pas réalisable dans les constructions habituelles composées de dalles.
- Limiter ou réduire l'apport d'air au feu et attendre que le feu décline de lui-même. A mesure que la température chute à l'intérieur du compartiment, l'inflammabilité de la couche de fumée (et le risque potentiel de backdraft) se réduit.

En cas de backdraft imminent, il convient seulement de s'assurer qu'il se produise en veillant à ce que les personnels se trouvent à l'extérieur en situation défensive.

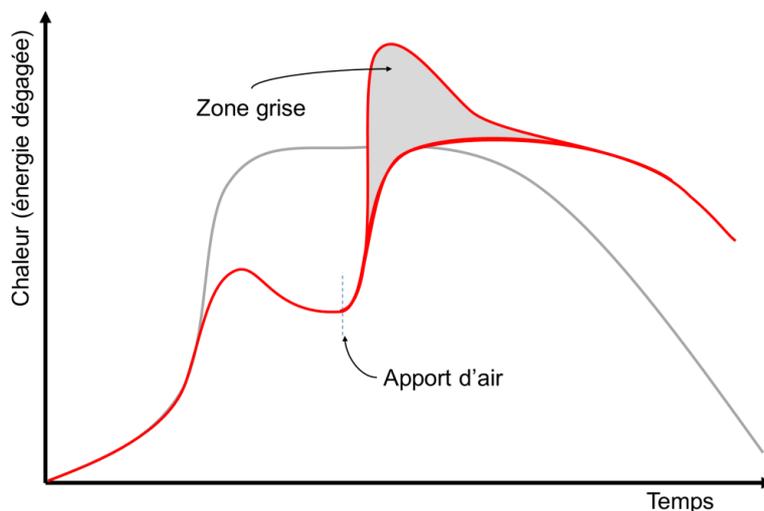
Zone grise

La notion de backdraft ou de flashover induit par l'apport d'air est explicite sur papier ou en laboratoire.

La réalité du sapeur-pompier sur le terrain est toutefois nuancée.

La zone qui différencie le backdraft du flashover induit par l'apport d'air n'est ni précise, ni analysable sur le terrain sans outils de mesures.

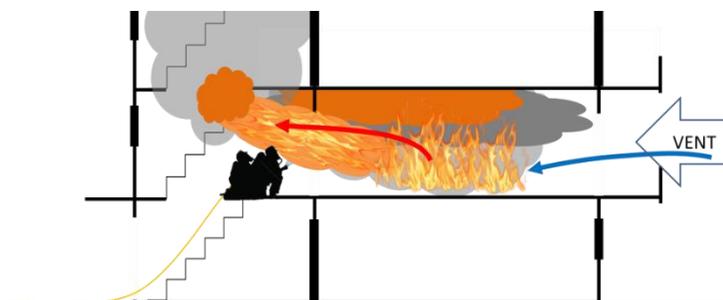
Cette zone représente au même titre que les deux situations précédentes un **potentiel dangereux** pour le sapeur-pompier et doit être également évitée à tout prix.



Feux pilotés par le vent

Puisque les feux intérieurs sont limités en oxygène (donc en puissance), si un vent vient s'engouffrer dans le volume, la puissance de l'incendie se verra augmenter d'autant.

Le canal de ventilation sera également inversé, et les fumées chaudes et les flammes iront directement dans la cage d'escalier au contact des intervenants.



Ce phénomène est appelé feux contrôlés par le vent (*Wind Driven Fire* dans le monde Anglo-Saxon). Il peut s'avérer très dangereux lors d'une rupture de baie vitrée par exemple. Souvent décrit dans les bâtiments hauts (fortement exposé au vent) il peut tout à fait se produire dans les étages inférieurs.

Un vent de 5m/s (18km/h) engendrera des surpressions de l'ordre des 25 à 35 Pa. À 10 m/s (36km/h), la pression peut alors atteindre les 50 Pa. Lorsque l'on compare les capacités moyennes des ventilateurs communs utilisés par les sapeurs-pompiers, environ 30 Pa, on se rend bien compte de l'impuissance à faire face à ce genre d'incendie de manière offensive.



La prise en compte du vent extérieur est impérative dans la technique et la tactique d'extinction choisie par la direction d'intervention.

Fire Gaz Ignition (FGI)



Inflammation explosive (smoke explosion) ou non explosive (flash fire), consécutive à l'apport d'une énergie d'activation, d'une zone de fumées pré-mélangées à l'air.

Durant l'incendie, les fumées/gaz se déplacent vers des vides sans sources d'ignition où ils se mélangent avec l'air présent. Ces mélanges peuvent être grandement variables en termes de proportion combustible/comburant et température.

Lorsque le mélange atteint son point d'inflammabilité (température supérieure à celle d'ignition et concentration de combustible dans sa plage d'inflammabilité), la présence d'une source d'ignition suffit pour provoquer sa combustion et déclencher une onde qui peut provoquer d'importants dommages matériels en se répandant. Elle se produira au contact d'une énergie d'activation (foyer d'origine, matériaux incandescent ou suffisamment chaud déplacé : braise emportée par le vent, matériel électrique, déblai, ...)

Par comparaison avec le backdraft, le déclenchement de l'explosion n'est pas l'accès à la ventilation mais la présence d'une source d'ignition dans un mélange situé dans sa plage d'inflammabilité.



Différents **indicateurs** peuvent précéder le déclenchement d'une explosion de fumées sans qu'aucun d'entre eux ne puisse être considéré comme un signal sans équivoque qu'il va réellement se produire.

- Fumée, non excessivement dense, dans un espace confiné hors de la zone en feu
- Mélange homogène de gaz combustibles et d'air



L'intervention devra être destinée à :

- 1) Fermer les ouvrants
- 2) Supprimer toutes les sources d'ignition
- 3) Traiter le mélange gazeux
 - a) Dilution du mélange de gaz par une application d'eau
 - b) Expulsion du mélange de gaz par une ventilation

4. Dangers des fumées dans les feux intérieurs

Dans le premier chapitre de ce manuel les produits de la combustion ont été abordés au travers de leurs compositions. (voir Chapitre la Théorie du Feu – Produits de la combustion)

Dans ce chapitre, les fumées sont abordées dans leur globalité au travers des **dangers** qu'elle présente lors des feux intérieurs :

- Chaleur
- Opacité
- Mobilité
- Inflammabilité
- Toxicité



Le moyen mnémotechnique « **COMIX** » permet de se souvenir des 5 dangers principaux de la fumée.

Chaud

Opaque

Mobile

Inflammable

ToXique

4.1. Chaleur

La plus grande partie de la chaleur est emportée dans le panache de fumée par convection. Cette fumée étant très chargée en particules solides (suies) et très chaude, elle va émettre un rayonnement thermique d'autant plus important que sa température est élevée.

Ce rayonnement thermique va avoir deux conséquences principales, l'une sur l'incendie et l'autre sur les personnes au contact de celle-ci – victimes et intervenants.

Influence sur l'incendie

Cette chaleur, comme vu précédemment, est à l'origine de la production de gaz de pyrolyse et du déclenchement de l'embrasement généralisé éclair.

La chaleur dégagée par le rayonnement des fumées peut également être à l'origine d'une extension du sinistre à l'intérieur du bâtiment tout comme à l'extérieur.

Influence sur les personnes

La chaleur représente un danger physique pour les personnes.

Si l'énergie calorifique totale à laquelle est exposé le corps humain dépasse sa capacité de défense, les dommages iront des blessures légères au décès.

Les conséquences de l'exposition aux fumées chaudes sont amplifiées si l'atmosphère de l'incendie contient de l'humidité car celle-ci améliore l'efficacité de la transmission de chaleur et le corps perd ses facultés à se libérer de la charge calorifique.



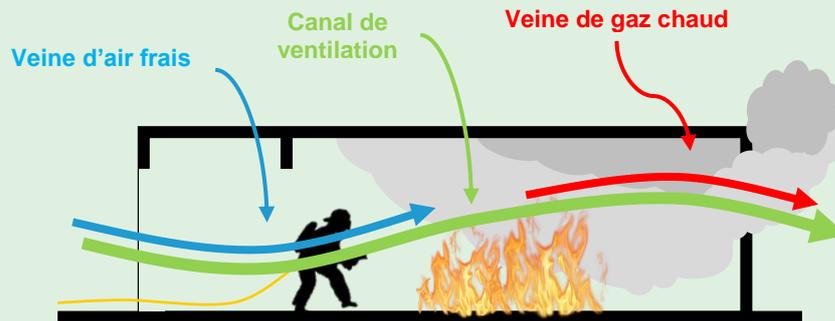
Les équipements de protection individuelle offrent une protection face à la température en isolant le pompier des températures extérieures mais absorbent également une partie de cette chaleur de l'environnement.

Cette protection thermique n'est dès lors pas illimitée dans le temps et il y a une saturation des vêtements d'intervention à mesure que l'opération se déroule jusqu'à ce que la sensation thermique soit transmise à l'utilisateur.



Durant un incendie, il existe un volume de fumées en mouvement qui englobe l'alimentation en air de l'incendie et les gaz combustibles produits.

C'est ce qu'on dénomme le canal de ventilation. (voir Identification des flux de fumées)



Dans celui-ci nous pouvons clairement identifier un courant de fumées froid depuis l'entrée jusqu'au foyer de l'incendie et un courant de fumées chaudes du foyer à la sortie.

La veine d'air frais est une zone où le personnel est protégé de l'exposition thermique tandis que la veine de gaz chaud concentre la chaleur par convection thermique.

L'identification du canal de ventilation, de la veine d'air frais et de la veine de gaz chaud, est vitale pour la sécurité des victimes et des intervenants.

4.2. Opacité

La visibilité dans le compartiment en feu se réduit à mesure qu'augmente la concentration de particules et aérosols en suspension.

Le passage d'un régime de FLC à un régime de FLV entraîne l'apparition de produits à combustion incomplète dont des particules en suspension.

Cette perte de visibilité peut être particulièrement importante lorsque la transition s'opère en un court laps de temps, la visibilité peut ainsi se réduire à quelques centimètres très rapidement.

La perte de vision, le sens principal pour se mouvoir, va influencer tant les victimes pour trouver une issue de secours que les intervenants pour effectuer les opérations de secours et d'extinction.

Si pour les victimes, la recherche d'une issue de secours est une question de survie, pour les intervenants, l'opacité des fumées comporte un risque important de désorientation, chutes ou blessures qui peuvent aller jusqu'à des conséquences désastreuses.

4.3. Mobilité

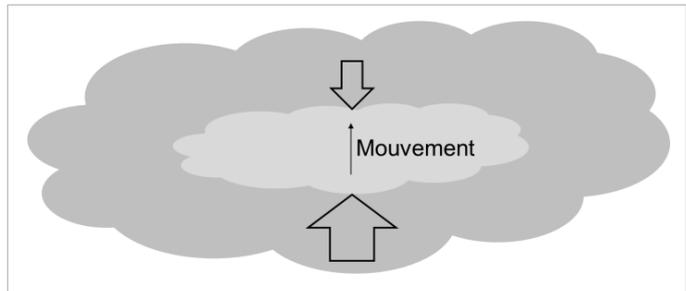
La fumée étant un mélange de gaz chargé en particules solides, elle va se comporter comme un fluide. Sa dynamique répond donc de manière basique à deux causes :

- Effet de flottabilité
- Différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'un compartiment

Effet de flottabilité

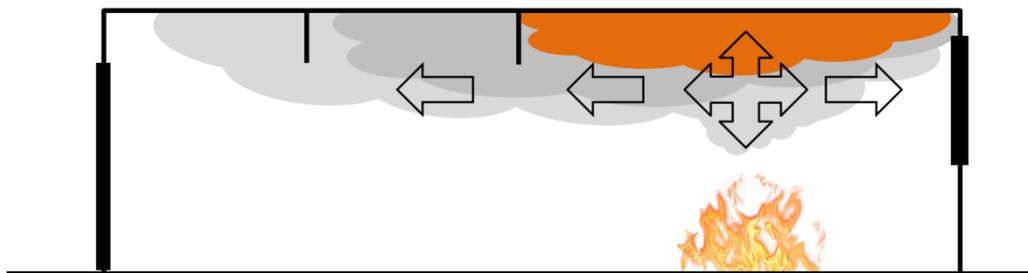
L'effet de flottabilité d'un fluide est directement lié à la densité de celui-ci.

La masse d'un fluide moins dense que celui qui l'entoure, reçoit sur sa face inférieure une pression supérieure du milieu environnant que celle qu'il reçoit sur sa face supérieure, raison pour laquelle il tend à flotter et monter.



Les **différences de densité** peuvent être dues à deux raisons :

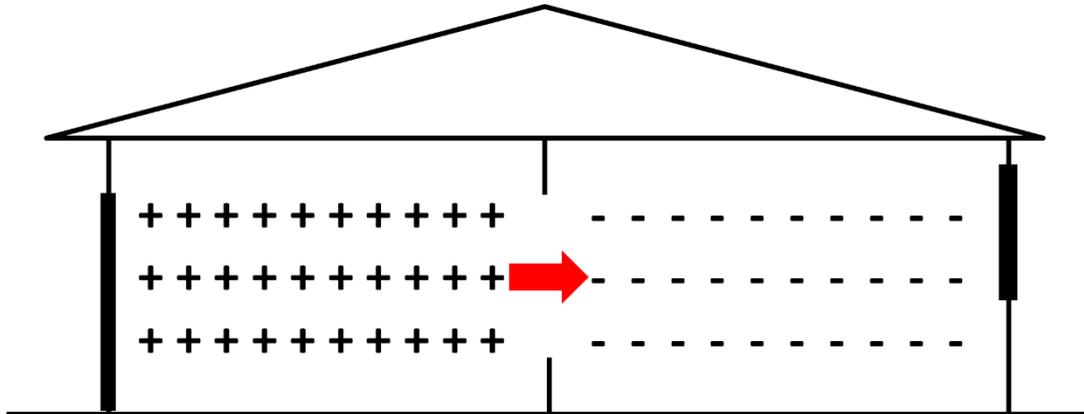
- **Composition chimique différente**, comme dans le cas des dirigeables remplis d'hélium ($0,18 \text{ kg/m}^3$) qui flotte dans une atmosphère beaucoup plus dense formée par l'air ($1,2 \text{ kg/m}^3$)
- **Température différente** et, par conséquent, densité différente comme dans le cas des ballons à air chaud.



Effet de flottabilité des fumées/gaz.

Différence de pression

Dans un compartiment en feu, des différences de pression se produisent entre les différentes pièces du bâtiment, mais également avec l'extérieur, par suite des différences de température. Deux zones de bases vont alors se créer, des zones de haute pression et des zones de basse pression.

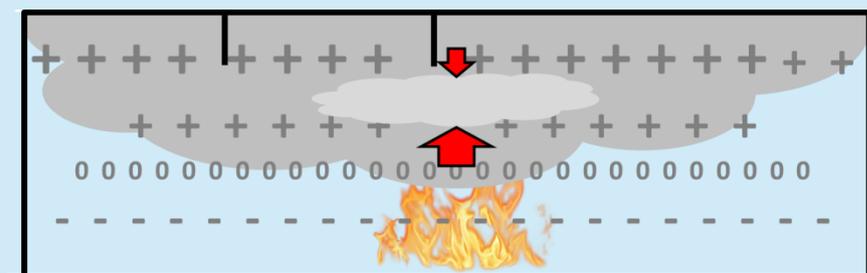


Le flux de fumées tendra à équilibrer la différence de pression, des zones de plus forte pression vers des zones de pression inférieure en suivant le chemin le plus court.



Dans les compartiments en feu, les deux effets interviennent, cependant l'effet de flottabilité est plus important.

Si normalement, par la différence de pression, les fumées devraient descendre (la pression est moindre en partie basse de la pièce en feu), l'effet de flottabilité des fumées chaudes engendré par leur faible densité est plus fort et **au final les fumées montent.**



4.4. Inflammabilité

Dans certaines circonstances et au fil du développement du feu, les gaz combustibles peuvent atteindre leur point d'inflammabilité en générant des phénomènes à développement rapide (flashover, backdraft ou explosion de fumée).

Même sans y arriver, l'inflammation des gaz provoquera une augmentation de la puissance du feu qui compliquera les conditions d'intervention des personnels à l'intérieur.



L'extrême complexité de l'inflammabilité des gaz ne permet pas de la renvoyer à des chiffres prédéterminés.

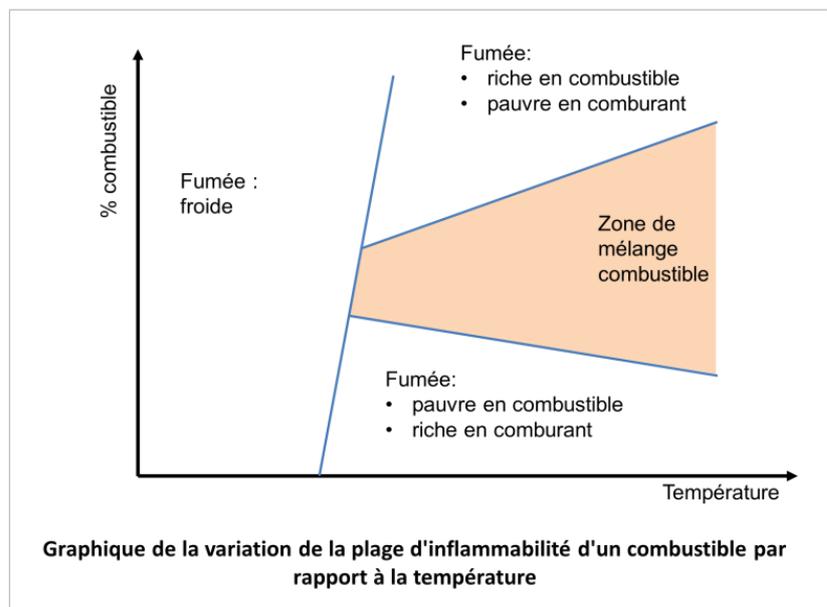
Une multitude de facteurs influencent sur celle-ci :

- ⇒ Composition des fumées/gaz
- ⇒ Proportion de combustible
- ⇒ Température
- ⇒ Concentration d'oxygène

Les fumées/gaz ne contiennent pas seulement des gaz issus de la combustion mais aussi des particules en suspension et des produits de la pyrolyse dans différentes concentrations (en fonction du combustible et du développement du feu).

La proportion de combustible varie en fonction de la quantité initiale de combustible mais également du type de développement que le feu aura connu.

Dans les feux sous-ventilés qui ne seront pas passés par une étape de flashover dans laquelle le combustible aura été consommé, nous trouvons des fractions de combustible plus importantes.



Au cours des dernières années, des maximes du type "La fumée est combustible" dérivée du populaire "Smoke is fuel" des services anglo-saxons se sont popularisées.

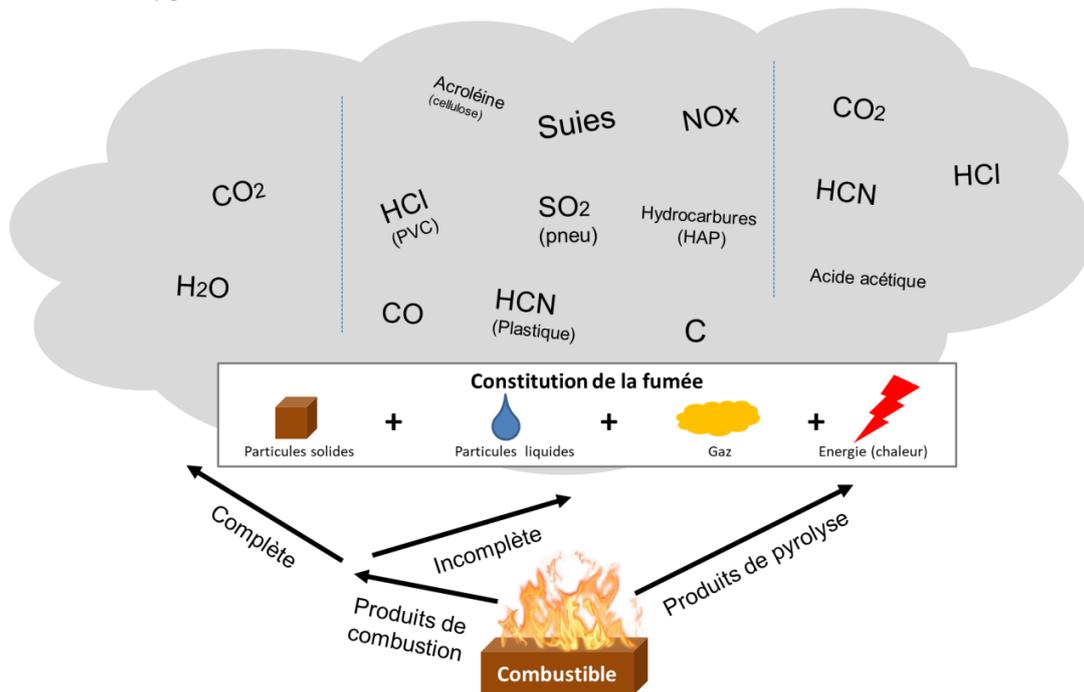
Ce type d'affirmations laissait à entendre que les fumées/gaz seraient inflammables en n'importe quelle circonstance. Dans d'autres cas, on a associé l'inflammabilité des fumées à la présence de monoxyde de carbone au point de faire correspondre leur point d'inflammabilité à celui du monoxyde, postulat qui comme on l'a déjà évoqué précédemment s'avère erroné.

4.5. Toxicité

⇒ Lors des incendies, 60% des décès sont enregistrés en dehors de la zone de feu.
La fumée et son pouvoir toxique en est la cause.

La quantité et la nature des gaz toxiques présents dans les fumées dépendent de multiples facteurs parmi lesquels on soulignera :

- Nature du combustible
- Développement du feu
- Température
- Concentration d'oxygène



Pour les victimes

Les gaz toxiques inhalés ont différents effets nocifs sur le corps humain. Certains affectent directement les tissus pulmonaires et détériorent leur fonction. D'autres passent dans la circulation sanguine en empêchant les fonctions vitales.



Les études réalisées par Underwriters Laboratories ont déterminé une plage de survie pour les victimes de **6 à 12 minutes** à compter du début de l'incendie pour des victimes se trouvant dans une pièce à la porte ouverte.

Cette variation temporelle dépendait de la localisation de la victime par rapport au compartiment en feu.

L'analyse de la toxicité de chaque gaz pris séparément serait intéressante pour comprendre l'impact de chacun d'eux sur l'organisme et définir leurs seuils de toxicité.



Cependant, la nature même de la fumée, parfois composée de plusieurs centaines de composés, sous diverses formes, rend cette approche peu opérationnelle. Au final, avec l'absorption de plusieurs substances simultanément, les effets peuvent être cumulatifs, synergiques ou antagonistes, on parle alors de « **l'effet cocktail** ».

Pour les intervenants

L'inhalation de fumée sur la zone d'intervention va faire pénétrer dans l'organisme différents composés dont des asphyxiants et des irritants. Couplée à la libération ultérieure d'autres composés présents dans les EPI et les matériels souillés, cette inhalation est donc difficilement quantifiable.

Les effets sont d'une part à court terme avec l'irritation des yeux et des voies respiratoires (conséquence d'une exposition aux NOx, aux aldéhydes comme l'acroléine et à la suie), puis des maux de tête et des nausées (conséquence d'un empoisonnement au CO et au HCN).

Les effets sont également à long terme avec des atteintes des fonctions respiratoires et le développement de certains cancers (conséquence de la suie de façon directe ou indirecte : la suie agissant comme vecteur de transport d'autres composés).

Enfin, il n'existe pas une unique voie de pénétration des toxiques dans l'organisme ; les deux principales étant l'inhalation et la voie cutanée.



Nous avons donc une multiplicité des substances toxiques, une multiplicité des effets et une multiplicité des voies de pénétrations.

 FKS CSSP CSP

Hygiène en intervention

Sur le lieu de l'intervention

Identifier ▶ Séparer ▶ Nettoyage sommaire

- 1 Éviter l'absorption de substances nocives par la respiration, la déglutition, la peau et les cheveux
- 2 Nettoyage sommaire
- 3 Restauration dans la zone «blanche» après le nettoyage sommaire

Avant le transport

Séparer

- 4 Vêtements de rechange
- 5 Séparer le matériel contaminé du matériel propre/pré-nettoyé
- 6 Conditionner l'équipement/les EPI contaminés et les transporter hors de l'habitacle des véhicules

Dans les locaux SP

Identifier ▶ Séparer ▶ Nettoyage approfondi

- 7 Que peut-on nettoyer à l'extérieur du bâtiment? Que doit-on nettoyer à l'intérieur/à l'extérieur du bâtiment?
- 8 Nettoyage approfondi
- 9 N'emporter aucun EPI contaminé à la maison

Affiche pour T-02, Hygiène en intervention et séparation noir/blanc.
Coordination suisse des sapeurs-pompiers CSSP, Christoffelgasse 6, 3011 Berne

V.1.1/16.04.2019

5. Comportement des fumées et ventilation

5.1. Pressions dans le compartiment en feu

Abordé dans le chapitre de la mobilité des fumées, les notions de pressions sont importantes pour comprendre les mouvements aérauliques induit par la chaleur dégagée de l'incendie.

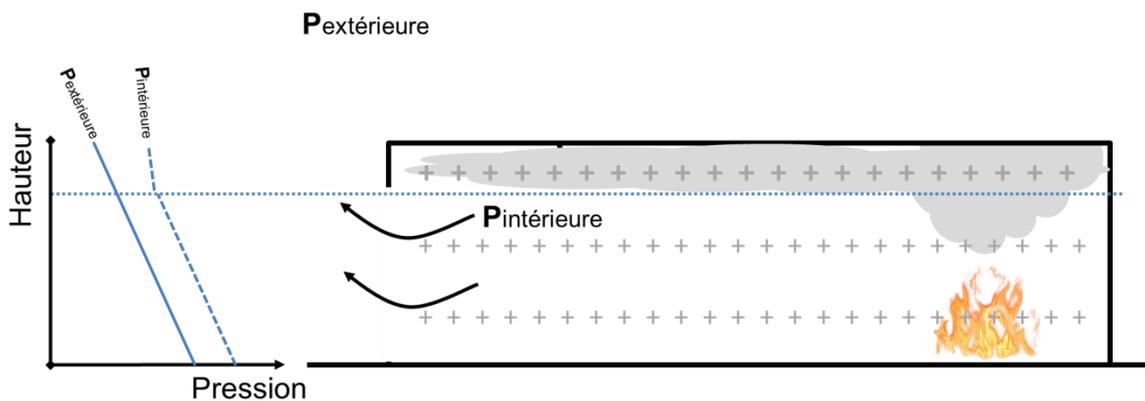


Les pressions sont exprimées en Pascal [Pa],
unité de mesure qui représente une force de 100 gr/m².

La pression tout au long du développement du feu

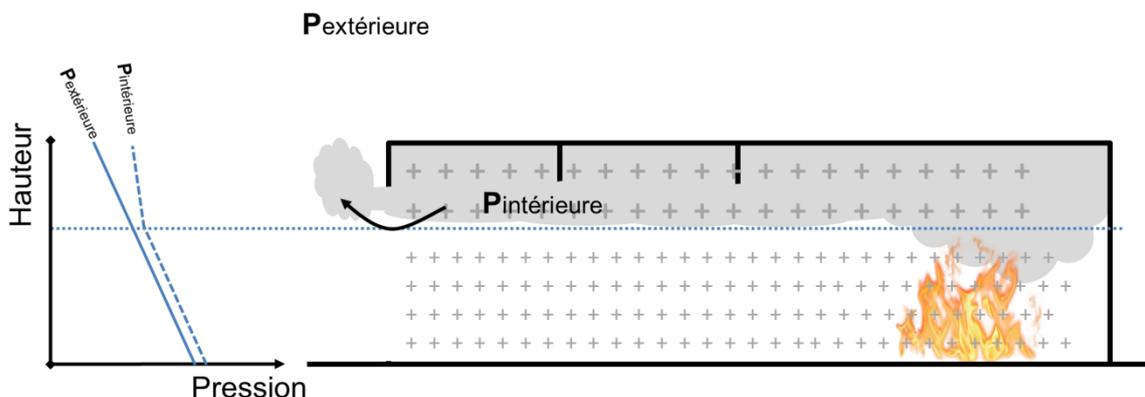
Les schémas suivants montrent la variation de la pression dans un feu intérieur avec une ouverture sur l'extérieur tout au long des différentes phases de développement de l'incendie.

Les graphiques de gauche montre la différence de pression qu'il existe entre la pression intérieure du compartiment et la pression extérieure, valeur de référence, par rapport à la hauteur de la pièce. Le **trait bleu** indique la hauteur des fumées.

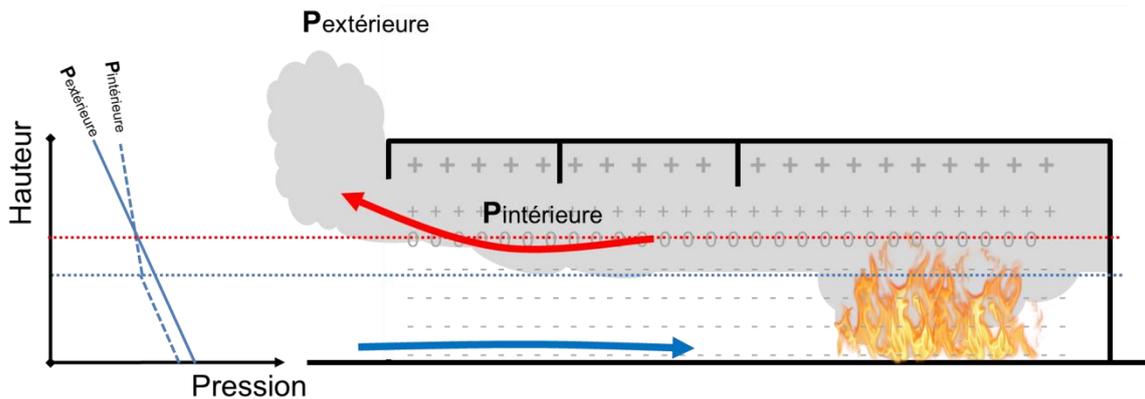


Dans un premier temps, la pression intérieure, du fait de l'incendie naissant, est supérieure à la pression extérieure, surtout en partie haute, là où les gaz chauds commencent à s'accumuler.

Dans sa globalité, la pression du volume est supérieure à la pression extérieure.



La pression en partie supérieure augmente, du fait de l'augmentation de la température des fumées et de la convection. Les fumées descendent progressivement et la différence de pression entre la pression extérieure et intérieure, commence à diminuer.



Avec l'augmentation de l'incendie et l'augmentation de sa consommation en air une dépression va se créer dans le compartiment.

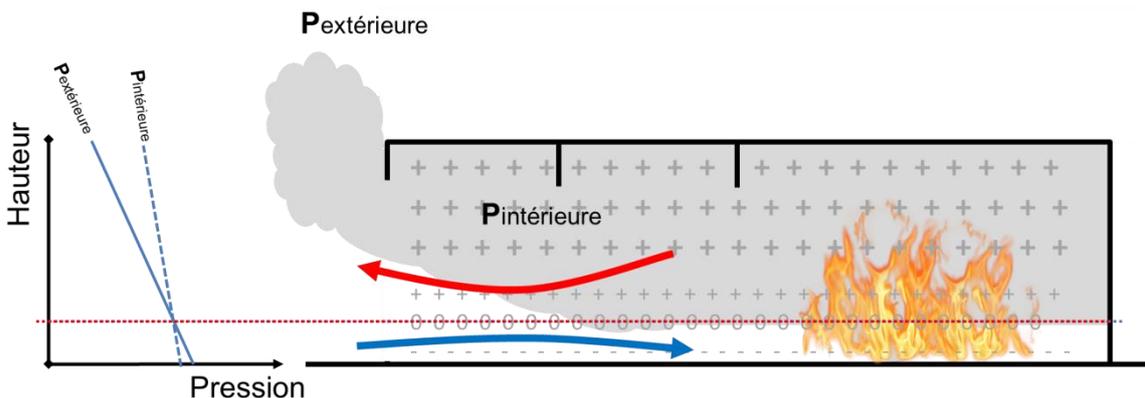
L'intersection entre les deux courbes de pressions, soit la hauteur à laquelle la pression intérieure s'égalise à la pression extérieure est appelé : plan neutre (**trait rouge**)

La pression en dessous du plan neutre va être inférieure à la pression extérieure, l'air est alors attiré par la dépression (flèche bleue) pour venir alimenter le foyer.

À cet instant les fumées vont sortir largement du volume (**flèche rouge**).

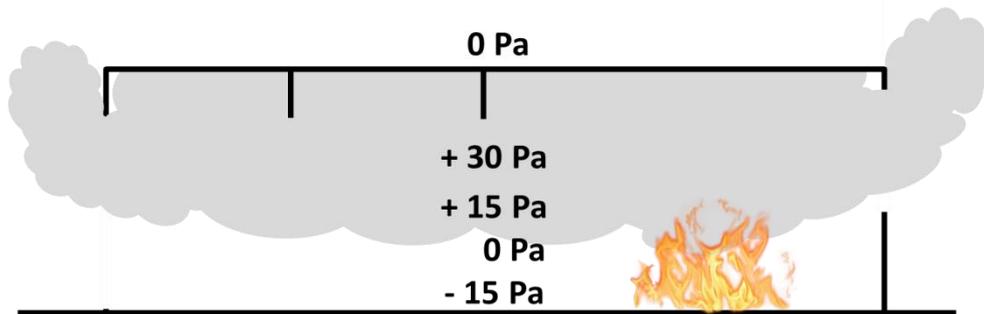
i

Très souvent le niveau du plan neutre (hauteur) est assimilé à la hauteur des fumées. Cependant à ce moment de l'incendie une différence existe entre les deux.



Finalement, signe du plein développement, le plan neutre et la hauteur des fumées sont liés et seule existe une zone de basse pression vers le sol, tout le reste du volume est en surpression par rapport à l'extérieur.

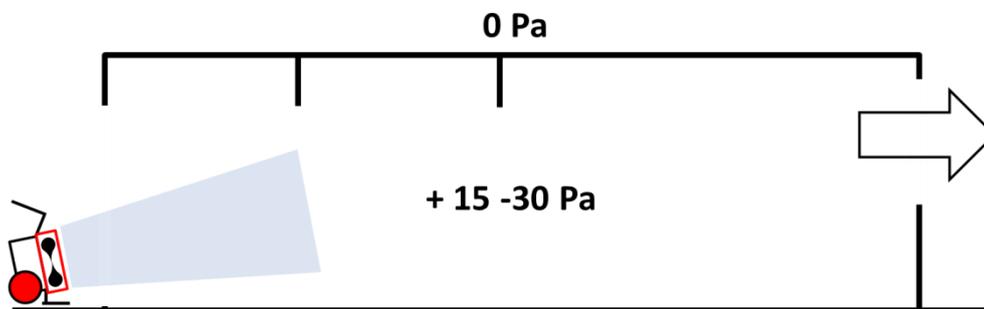
Lors du plein développement, comme dans l'image précédente, les valeurs typiques de différence de pression dans le compartiment varient de **- 15 Pa** dans la zone gazeuse basse à **+ 30Pa** dans la zone gazeuse haute.



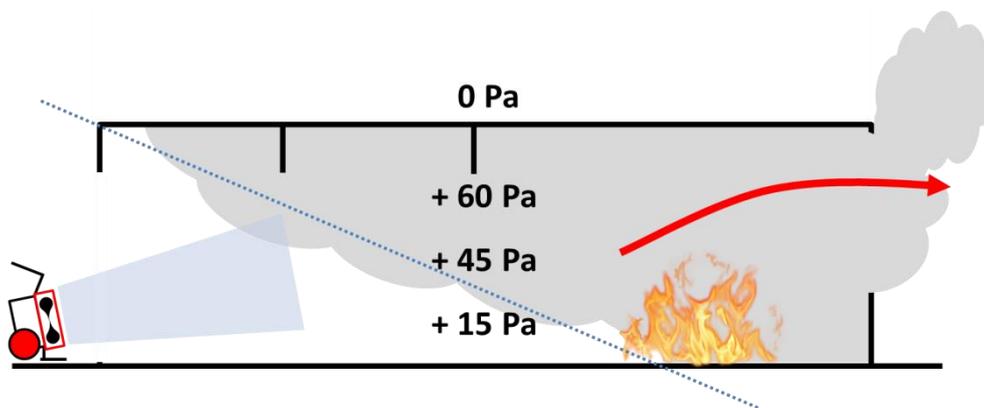
Les compartiments soumis aux effets du vent ou de ventilateurs à pression positive connaissent une augmentation de pression dans la totalité du volume.

Le principe de Pascal établit que la pression exercée en un point d'un fluide est transmise de manière identique en tout point du fluide.

Dans un compartiment ordinaire, sans feu, les valeurs de pression typiques générées par un ventilateur à pression positive varient de **15 Pa** à **30 Pa** en fonction de la géométrie de l'entrée et surtout de la sortie des fumées.



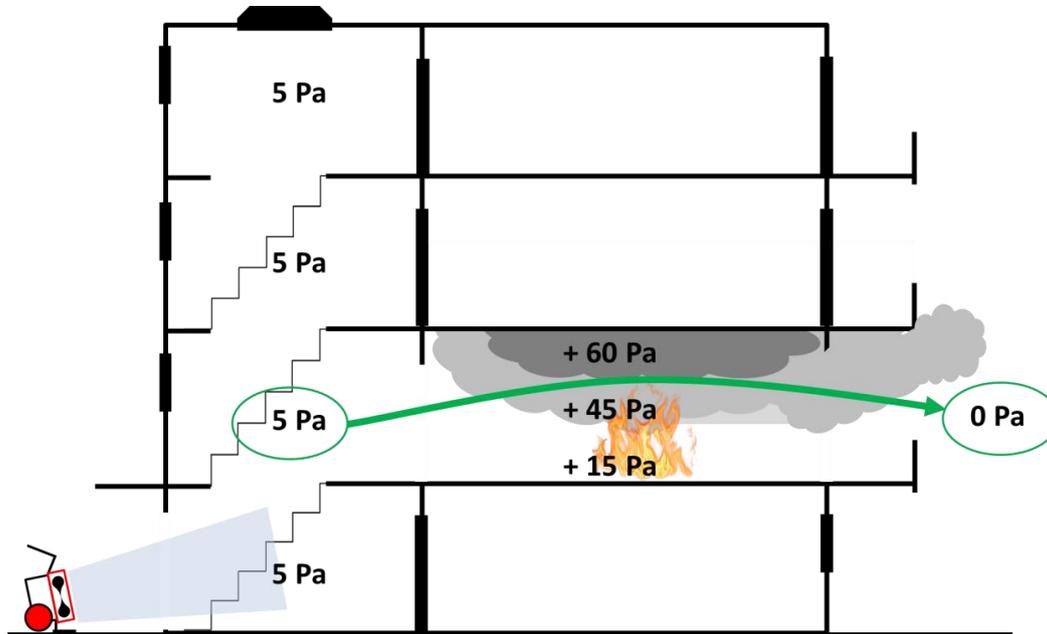
Lorsque l'effet de l'air du ventilateur à pression positive s'ajoute au feu, il se produit une composition de pressions résultant de la superposition de cette dernière configuration avec celle obtenue pour un feu ventilé.



Effet sur la propagation de l'incendie

Les gaz chauds rechercheront de préférence la sortie présentant la plus forte chute de pression et le chemin le plus court de la pression maximale à la pression minimale.

Des différentiels de pression relativement petits (5 Pa) permettent d'éviter la propagation même s'il existe des pressions supérieures dans le compartiment en feu.



Dans cet exemple, le différentiel de pression est plus grand avec l'extérieur (0 Pa – Pression atmosphérique) qu'avec l'intérieur du bâtiment (5 Pa).

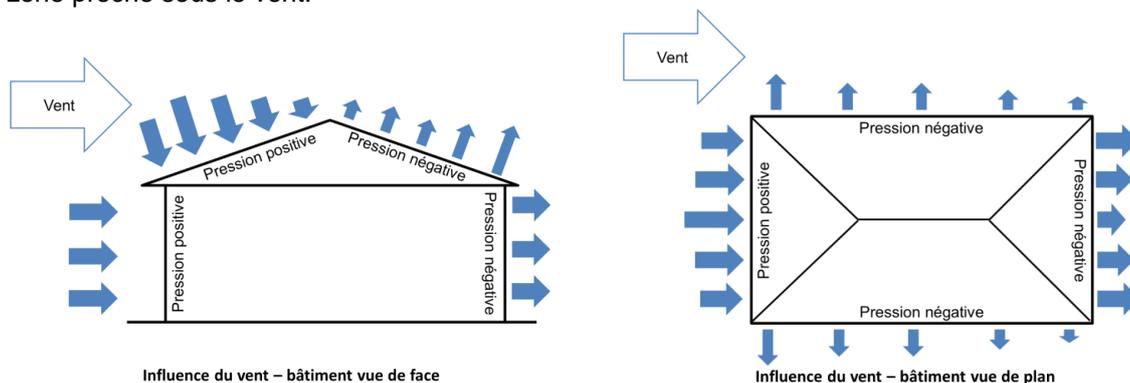
⇒ **Le courant ira donc de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment.**

Influence du vent extérieur

Lorsque le vent souffle sur les façades d'une construction, il crée des différences de pression dont l'ampleur dépend de la vitesse du vent, de la géométrie du bâtiment et de la position de la façade par rapport au vent.

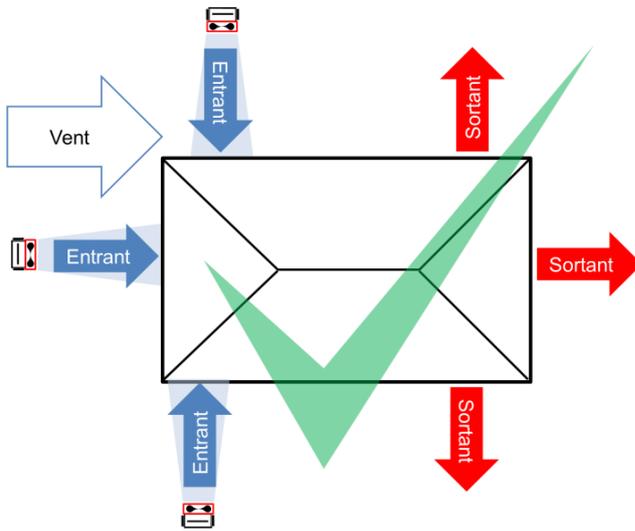
D'une manière générale, il se produit une surpression sur les façades au vent et une dépression sur les façades sous le vent.

Sur les toitures et façades latérales (non directement exposées au vent), la différence de pression varie de valeurs positives (surpression) dans la zone proche au vent à des valeurs négatives (aspiration) dans la zone proche sous le vent.

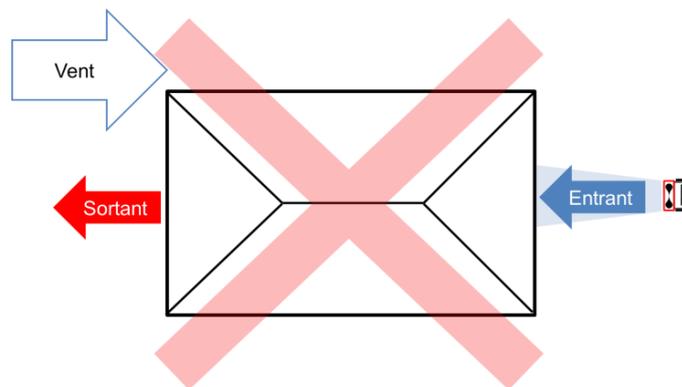




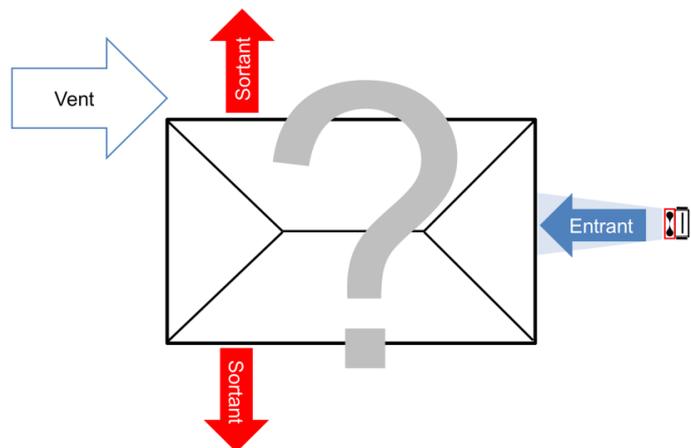
L'analyse du vent extérieur est capitale dans la compréhension du système aéraulique et doit être pris en compte lors de la lecture du feu. (voir Feux pilotés par le vent)



Influence du vent – positionnement favorable des entrant et sortant



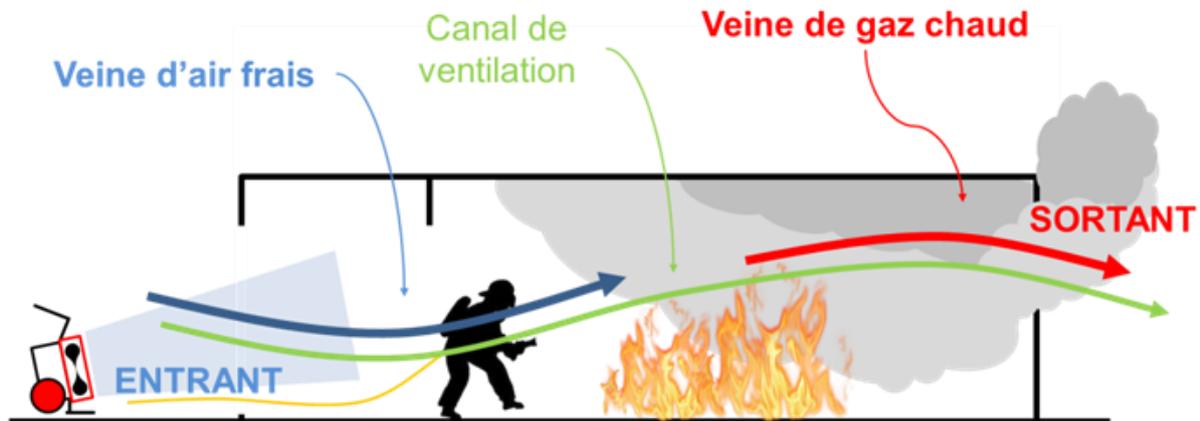
Influence du vent – positionnement défavorable des entrant et sortant



Influence du vent – positionnement incertain des entrant et sortant

5.2. Identification des flux de fumées

Dans tout feu non confiné (où il existe des ouvertures de ventilation vers l'extérieur), il se produit un mouvement des fumées qui englobe l'alimentation en air de l'incendie et les gaz produits. Ce volume est ce qu'on dénomme le **canal de ventilation**.

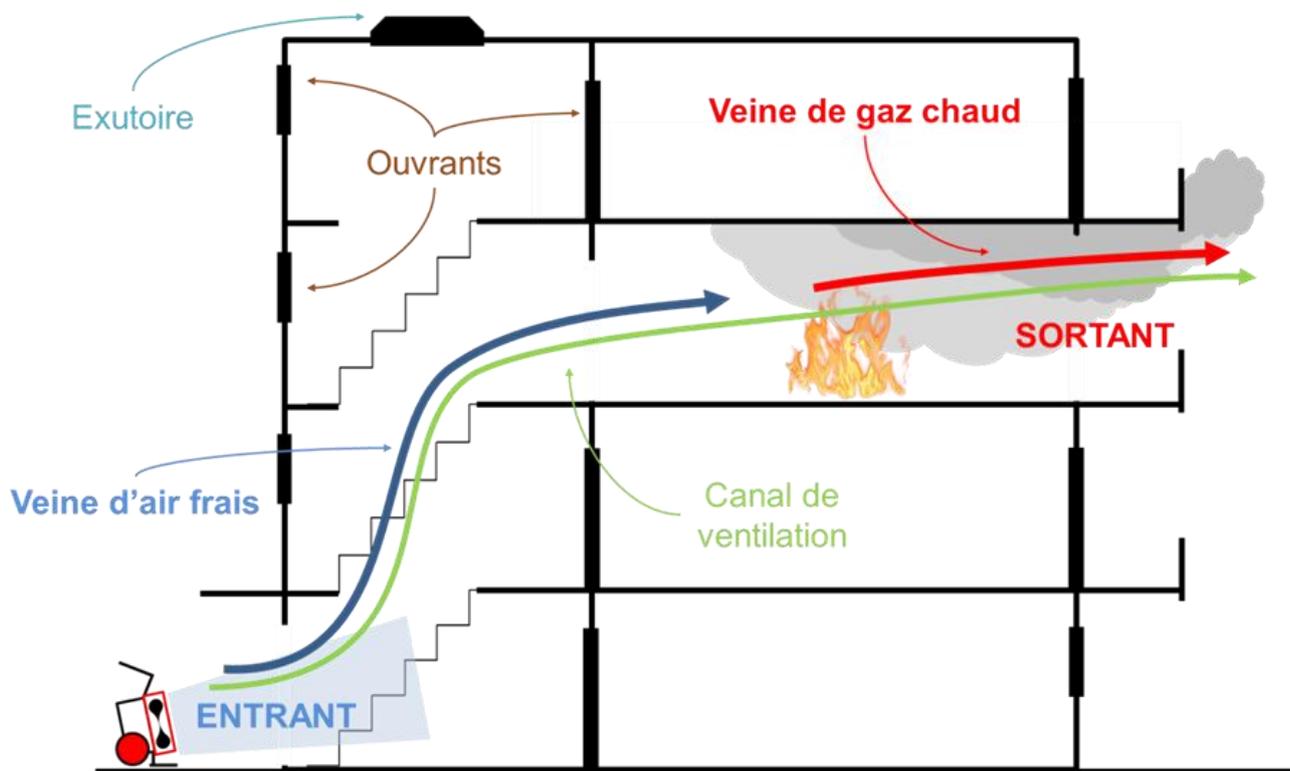


On pourra clairement y identifier une veine d'air frais depuis l'entrée de ventilation (entrant) jusqu'au foyer de l'incendie et une veine de gaz chaud formée des gaz à la recherche de la sortie (sortant).

Veine d'air frais	Veine de gaz chaud
<ul style="list-style-type: none">• Bonne visibilité• Basse température• Concentration élevée d'oxygène• Bonnes conditions de survie	<ul style="list-style-type: none">• Faible visibilité• Température élevée• Concentration élevée de gaz toxiques• Gaz potentiellement inflammables• Conditions de survie critiques

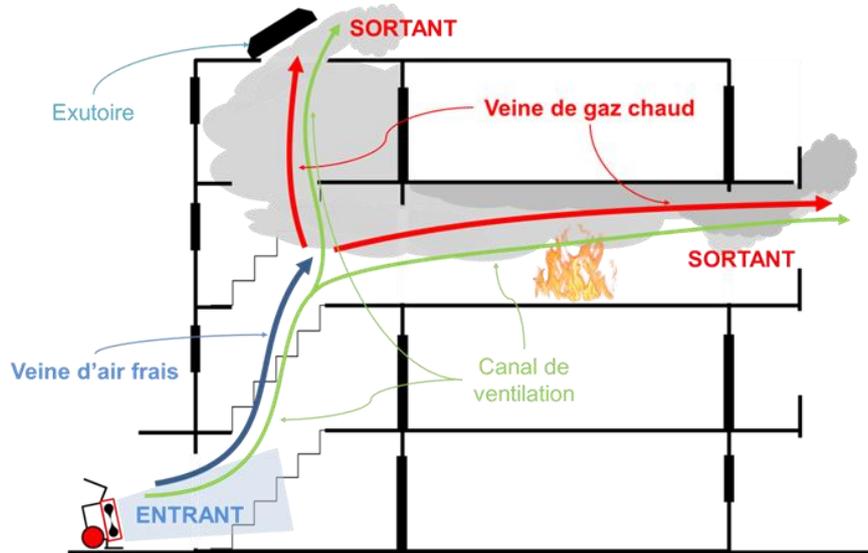
5.3. Terminologie

Afin de faciliter la compréhension d'un **schéma de ventilation**, il est important de définir une terminologie précise.

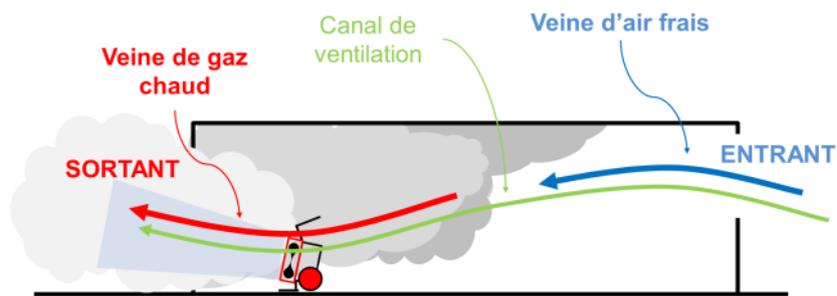


ENTRANT	Ouverture à l'origine de l'apport d'air (depuis l'extérieur du volume)
SORTANT	Ouverture à l'origine de la sortie d'air (vers l'extérieur du volume)
Ouvrants	Parties mobiles (portes, fenêtres, battants) permettant le passage de l'air et des fumées
Exutoire	Dispositif fixe au bâtiment prévu à l'évacuation des fumées d'incendie
Veine d'air frais	Chemin emprunté par l'air frais, de l'entrant jusqu'au foyer ou jusqu'aux fumées (zone de sécurité)
Veine de gaz chaud	Chemin emprunté par les fumées et gaz chauds issus du foyer, jusqu'au sortant (zone de danger)
Canal de ventilation	Chemin emprunté par l'air, de l'entrant au sortant, réunissant la veine d'air frais et la veine de gaz chaud

Exemples :



Terminologie du schéma de ventilation : séparation du canal de ventilation avec deux sortants



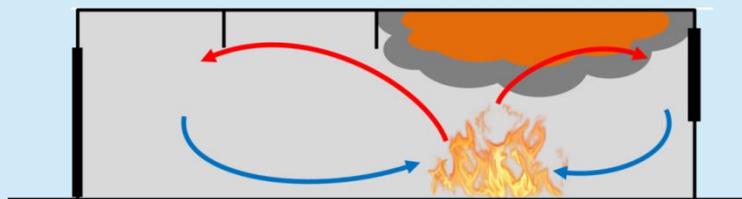
Terminologie du schéma de ventilation : ventilation en dépression



Dans les feux confinés, il n'existe pas de canal de ventilation.

L'absence d'ouvertures vers l'extérieur empêche l'alimentation du feu en air frais et l'expulsion des fumées.

Il existe toutefois un mouvement de fluides à l'intérieur alimenté par la colonne de convection que provoque le foyer de l'incendie.



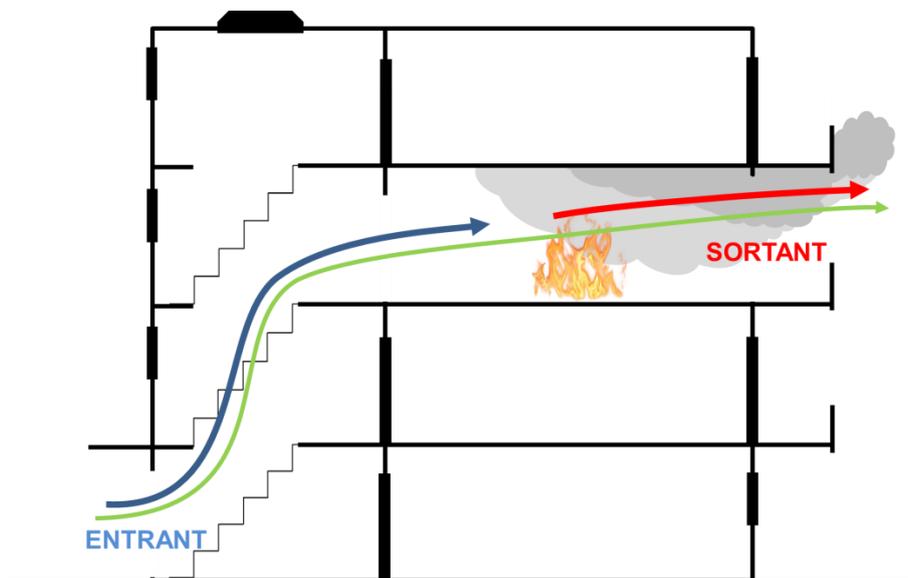
Mouvement de fluides dans un feu confiné

Flux unidirectionnels

Pour qu'un flux unidirectionnel se produise, il faut au moins **deux ouvertures** :

– un **entrant** et un **sortant**, tous deux bien différenciés.

Les flux unidirectionnels sont typiques dans les feux ventilés de manière naturelle dans lesquels l'alimentation et la sortie des fumées s'opère à des étages différents, avec une différence de hauteur qui contribue à favoriser la différence de pression.

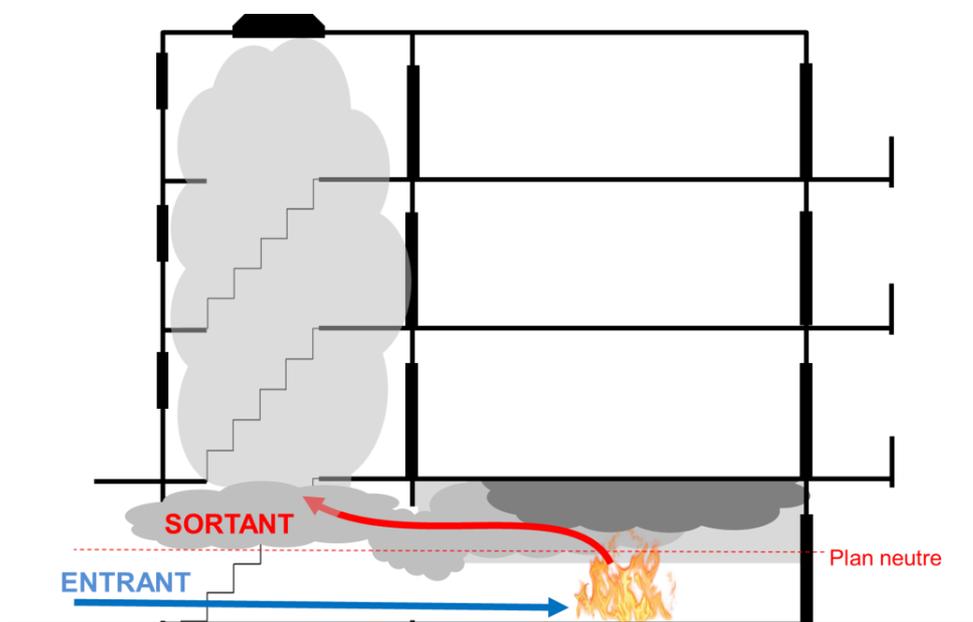


Flux unidirectionnel généré grâce à une différence de hauteur qui contribue à favoriser la différence de pression

Flux bidirectionnels

Les flux bidirectionnels se forment sur les ouvrants dont la hauteur englobe les zones gazeuses hautes et basses.

De cette manière, un courant de sortie (sortant) des fumées sera créé dans la zone située au-dessus du plan neutre tandis que sous celui-ci, nous aurons un courant d'entrée (entrant).



Flux bidirectionnel – l'entrant sera situé sous le plan neutre et le sortant au dessus de celui-ci



Les techniques de ventilation par pression positive (VPP) parviennent à créer des flux unidirectionnels en utilisant des entrées et sorties par lesquelles des flux unidirectionnels ne se créeraient pas de manière naturelle.

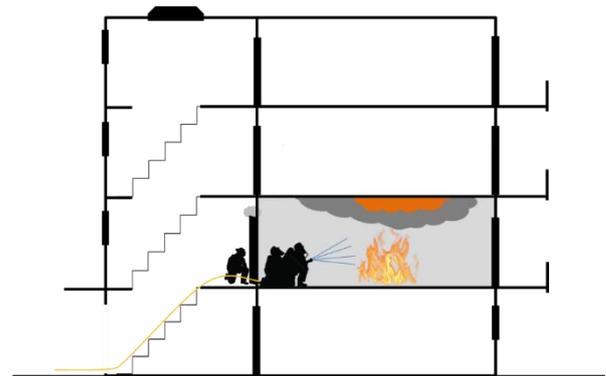
De fait, la VPP constitue l'une des manières les plus efficaces de garantir un courant de fumées unidirectionnel qui facilitera les opérations intérieures.

5.4. Types de ventilation

Anti Ventilation

Le feu est confiné.
Par conséquent, il n'existe pas de ventilation effective et le courant de fumées est inexistant.

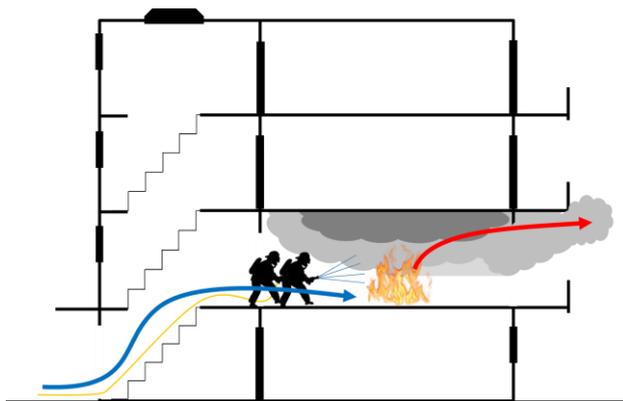
Cela ne veut pas dire qu'il n'y aura pas de mouvement de fumées à l'intérieur du compartiment en feu, celui qu'aura généré la convection provoquée par le foyer de l'incendie.



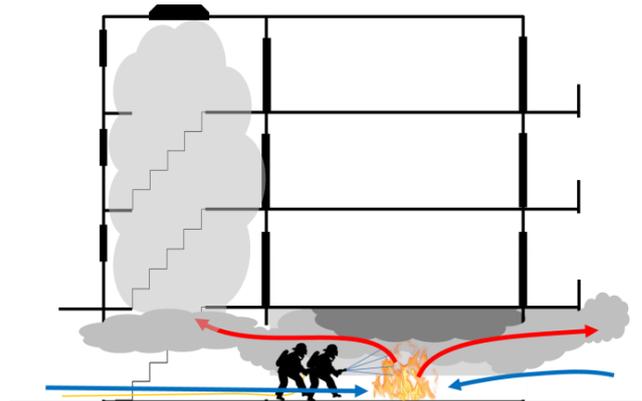
Extinction en anti-ventilation

Ventilation naturelle

Dans un feu non confiné, il y aura des ouvertures par lesquelles s'établiront des flux unidirectionnels d'entrée ou sortie ou des ouvertures par lesquelles s'établiront des flux bidirectionnels. Dans ces cas-là, c'est la différence de pression existant entre l'intérieur du compartiment et l'extérieur qui constituera le moteur du courant de fumées.



Extinction en ventilation naturelle - unidirectionnelle



Extinction en ventilation naturelle - bidirectionnelle

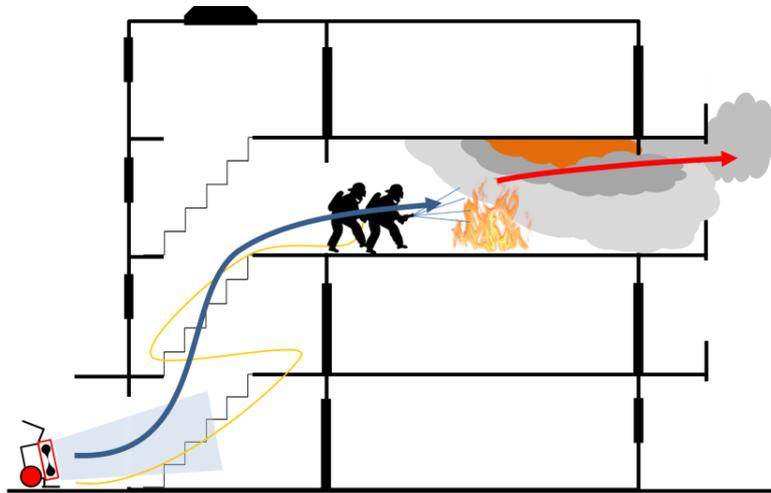


Les feux avec ventilation naturelle peuvent présenter une stratification claire avec une zone de visibilité dans la partie basse maintenue par le courant d'alimentation en air frais.

Le maintien de cet équilibre thermique à l'intérieur du compartiment durant l'intervention favorisera la visibilité durant les opérations intérieures.

Ventilation forcée

L'emploi de ventilateurs à pression positive (comme option tactique pour l'extinction) génère une masse d'air en mouvement qui pénètre, pressurise l'intérieur du compartiment et établit un courant de fumées unidirectionnel à travers le compartiment en feu.



Extinction en ventilation par pression positive offensive



Une application correcte de cette tactique permettra de **restaurer de la visibilité, réduire la température, augmenter la survie des victimes** à l'intérieur et **expulser rapidement les fumées** accumulées riches en produits combustibles.

Cependant, **l'apport en air frais génèrera une augmentation de la puissance du feu** "Certains auteurs l'évaluent **jusqu'à 60%** sur la base d'expériences réelles" qui dépendra de l'efficacité avec laquelle s'effectuera le balayage des gaz et du niveau de turbulences.

L'emploi de la VPP à travers le foyer de l'incendie favorise l'extinction de deux manières :

- **Effet balayage**

Il survient en raison de la densité différente entre l'air frais introduit par le ventilateur et les gaz chaud qui, se mélangeant à peine, génère une poussée ou un effet piston par lequel s'opère le balayage des fumées. Cela contribue à l'expulsion des gaz combustibles et à la restauration de la visibilité.

- **Refroidissement et dilution**

Dans les zones de mélange qui connaissent des turbulences, l'air frais contribue à diluer et refroidir la masse de fumées. L'inflammabilité des fumées est particulièrement sensible à cette baisse de température et à la dilution qui est provoquée.

Même si dans certaines zones, l'effet de balayage ou les effets conjoints du refroidissement et de la dilution garantiront que les fumées soient en dehors de leur point d'inflammabilité ; d'autres zones - se trouvant dans des plages et températures d'inflammabilité - peuvent entrer en combustion et augmenter ainsi la puissance du feu.



Du fait que les FLV soumis à une ventilation par pression positive à travers le compartiment peuvent connaître une importante augmentation de leur puissance, **la ventilation doit être coordonnée avec les tâches d'extinction par application d'eau.**

5.5. Perte d'efficacité : mauvaise étanchéité et frottements

Lorsqu'un compartiment fait l'objet d'une ventilation ou pressurisation au moyen d'un ventilateur, deux facteurs relatifs au compartiment ont une influence sur son efficacité :

- **Pertes de flux** : le manque d'étanchéité ou des sortants non souhaités (et qui ne peuvent pas être fermés) constituent une perte constante de flux et de pression.

Il s'agit par exemple d'un cumul de petites pertes au niveau des caissons des volets roulants, grilles de ventilation, conduits d'évacuation, fenêtres coulissantes, entrebâillements de portes.



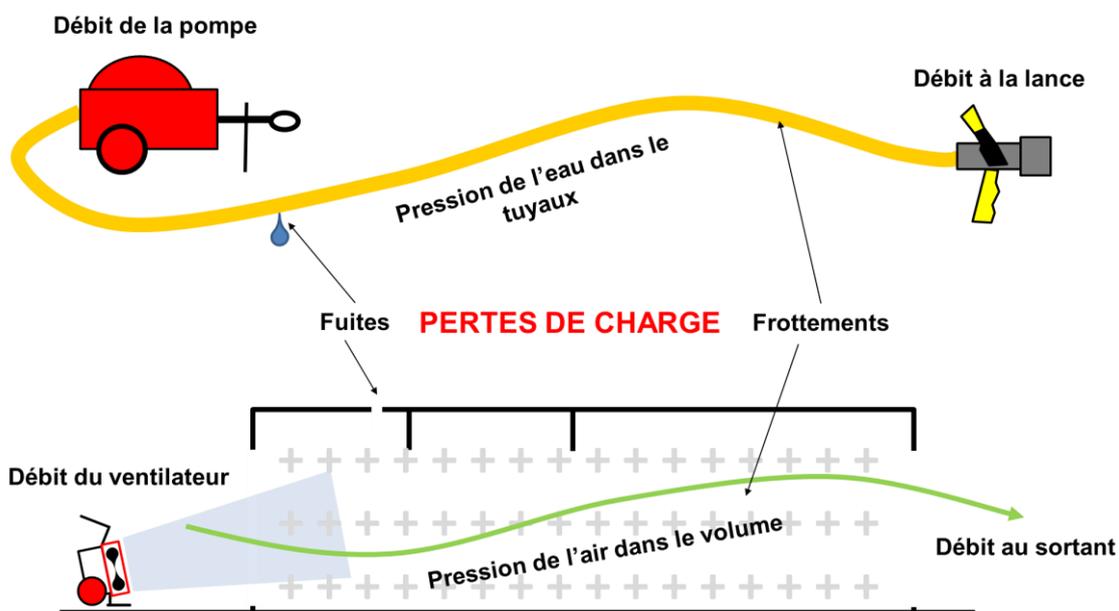
Les logements possédant une bonne isolation thermique bénéficient d'une meilleure étanchéité que les logements traditionnels.

- **Frottement** : le long du canal de ventilation, il se produit des virages, rétrécissements et heurts avec des éléments fixes qui impliquent une accélération et décélération des particules d'air avec la perte d'énergie consécutive.

Plus le parcours du canal de ventilation sera long et sinueux, plus le frottement sera grand, une plus grande quantité d'énergie sera alors nécessaire pour maintenir le flux.



Le volume de la structure en lui-même ne représente pas une perte de flux ou pression. La **diminution de l'efficacité** est directement liée à la **quantité d'ouvertures non souhaitées** et **aux éléments de frottement** sur le parcours. Dans l'application d'une ventilation, **l'intégralité du canal de ventilation devra être vérifiée** dès que possible, **dans le sens du flux**, de **l'entrant au sortant**, en bouchant les sortants inutiles.



Comparaison hydraulique



L'efficacité dans la ventilation constitue un facteur critique dans les opérations de VPP offensive. Son emploi dans les logements possédant un faible niveau d'étanchéité ou exigeant un long parcours du courant de fumées doit être évalué avec soin car un débit réduit peut ne pas être capable de réaliser le balayage des fumées et entraîner en revanche un mélange de fumées/gaz et d'air jusqu'à leur plage d'inflammabilité.

Sources et Références :

- Manual de incendios – Dirección general de protección civil y emergencias – CEIS Guadelajara
- Guide de doctrine opérationnelle – intervention sur les incendies de structures
– Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises – Ministère de l'intérieur – République Française
- Règlement Connaissances de base – Coordination suisse des sapeurs-pompiers
- Compréhension du Système feu – Feu urbain – Alpha T2 – Nicolas Struski
- Compréhension du Système feu – Autopsie d'une meurtrière – Alpha T2 – Nicolas Struski
- La Ventilation opérationnelle – Editions Carlo Zaglia – Ronan Vinay
- Norme ISO13943 :2017(fr)
- ALSP, La ventilation opérationnelle, Sgt Pache
- ALSP, Phénomène thermique, Sgt Barbey