Service d'incendie et de secours
Division EM
Bureau de l'instruction

Manuel Incendie

CHAPITRE 1 **Théorie du Feu**

Dossier Instruction SPP		Réf.	**DI.1.1.1** Version n° 1
Création	Adj Decollogny	Date	18.01.2021
Mise à jour	-	Date	-
Mise en ligne	Hottinger	Date	28.02.2021

FEU

Table des Matières

Manuel Incendie – Théorie du feu

1. Théorie du feu 4

1.1. Normes et définitions 4

1.2. Réaction exothermique et endothermique 4

1.3. Réaction d'oxydoréduction 4

2. La Combustion 5

2.1. Modes de combustions 5

2.2. Vitesses de combustion 6

2.3. Types de combustion 6

2.4. Produits de la combustion 7

3. La Propagation 14

3.1. La Conduction 14

3.2. La Convection 15

3.3. Le Rayonnement 15

3.4. La Répartition quantitative 16

4. Triangle et Tétraèdre du feu 17

4.1. Le Combustible 18

4.2. Le Comburant 21

4.3. L'Énergie d'activation 22

4.4. Réaction en chaîne 23

4.5. Agents passifs 24

5. Mécanisme d'extinction 25

5.1. Retrait du Combustible 25

5.2. Retrait du Comburant 26

5.3. Refroidissement 27

5.4. Inhibition ou perturbation de la réaction en chaîne 27

6. Le Développement du feu 28

6.1. La Croissance 29

6.2. Le Plein développement 29

6.3. Le Déclin 30

7. Types d'incendie 30

7.1. Nature du combustible 30

7.2. Forme du foyer 34

7.3. Surface / Volume affecté 35

7.4. Nature de la combustion 36

7.5. Emplacement 36

8. Agents d'extinction 38

8.1. Eau 38

8.2. Émulseurs 41

8.3. Mousses 45

8.4. Poudres 52

8.5. Gaz 53

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

1. Théorie du feu

1.1. Normes et définitions

Le Feu

Dans la norme internationale ISO 13943, la définition générale du feu fait référence à un processus de combustion caractérisé par l'émission de chaleur, de gaz et d'aérosols et généralement accompagné par de la fumée, des flammes, une incandescence ou par une combinaison de ces éléments.
La norme définit également le **feu** sous sa forme contrôlée comme une combustion auto-entretenue qui a été délibérément organisée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée.

L'incendie est une combustion auto-entretenue qui n'a pas été délibérément organisée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est incontrôlable.

La combustion est un processus physico-chimique qui se produit lorsque des espèces chimiques se transforment sous l'effet de la chaleur et forme de nouvelles espèces en s'associant avec le comburant (l'oxygène de l'air par exemple) en dégageant de la chaleur.
La combustion est une réaction dite exothermique.

La vitesse du processus de combustion détermine s'il s'agit d'un feu, d'une explosion ou d'une déflagration.

1.2. Réaction exothermique et endothermique

Les réactions chimiques sont des échanges d'un ou plusieurs électrons entre des espèces chimiques ou des atomes. Le niveau énergétique de la nouvelle espèce chimique ainsi créé peut être différent du niveau énergétique nominal. Il peut être plus énergétique ou moins énergétique.

Les réactions chimiques qui **dégagent** de l'énergie sous forme de chaleur sont appelées **exothermiques**.

Les réactions chimiques qui **absorbent** de l'énergie (qui se refroidissent) sont appelées **endothermiques**.

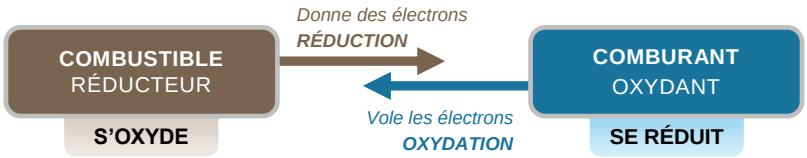
1.3. Réaction d'oxydoréduction

Toutes les réactions chimiques se déroulent au niveau des électrons externes des atomes. Dans le cas ou des atomes ou espèces chimiques s'échangent un ou plusieurs électrons, on parle alors de réactions d'oxydoréduction. Le réactif qui cède des électrons est appelé le réducteur, et le réactif qui capture les électrons est appelé l'oxydant.

La substance qui abandonne les électrons est oxydé, celui qui les gagne est réduit.

Le feu est une combustion dans laquelle intervient un oxydant et un réducteur.

- ⇨ L'oxydant est l'**oxygène (comburant)**
- ⇨ Le réducteur est du **combustible**



Le feu est une réaction chimique ou s'échange un ou plusieurs électrons en fonctions des espèces chimiques présentent, et cet échange d'électron(s) dégage de l'énergie sous forme de chaleur et de lumière. Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction exothermique.

2. La Combustion

La combustion est une réaction exothermique d'une substance combustible avec un comburant.

Cette réaction émet généralement des gaz et aérosols, y compris des particules en suspension, accompagnés de flammes ou d'incandescence.

Si généralement le comburant principal est l'oxygène contenu dans l'air, les types de combustibles les plus communs sont les matériaux organiques composés de carbone et d'hydrogène.

2.1. Modes de combustions

Combustion avec flamme

Combustion qui se développe entièrement en phase gazeux et qui produit de la chaleur, de la lumière et des gaz.

Il s'agit du type de combustion la plus rencontrée par les pompiers, généralement dans les incendies. La combustion de la flamme est représentée par un tétraèdre dont chacun de ses côtés correspond à chacun des quatre exigences de base. (voir « Triangle et tétraèdre du feu »)

Combustion incandescente

Combustion sans flamme, avec émission de lumière visible, qui produit de la chaleur. Se manifeste par des braises.

Dans la combustion sans flamme, le rayonnement lumineux émis est connu sous le nom d'incandescence ou de braise. Ce rayonnement a une longueur d'onde plus longue et donc une énergie plus faible.

Combustion latente

La combustion latente correspond à la combustion d'un matériau sans flamme ni lumière visible.

C'est une réaction d'oxydation exothermique lente dans laquelle aucune lumière est vue et se révèle généralement par une augmentation de la température ou par de la fumée. La combustion latente produit de la chaleur, n'a pas de flamme et se propage dans les combustibles poreux.

De nombreux matériaux peuvent subir une combustion latente, comme le charbon, la cellulose, le bois, le coton, le tabac, la tourbe, l'humus, les savons synthétiques, les polymères carbonisés (y compris la mousse de polyuréthane) et certains types de poussière.

2.2. Vitesses de combustion

La vitesse de réaction entre les éléments peut être différente. La vitesse est généralement caractérisée par le rapport et le mélange entre le comburant et le combustible.

Combustion lente

Moins d'un centimètre par seconde. Cela se produit lorsque combustible à une faible alimentation en oxygène. Exemple : incendie de cheminée

Combustion vive ou directe

Plus d'un centimètre par seconde. Cela se produit lorsque le combustible a une bonne alimentation en oxygène. Exemple : incendie avec flammes

Combustion instantanée

Une combustion instantanée sera le résultat d'un pré-mélange du combustible et du comburant lors de la réaction.

Caractérisée en fonction de la vitesse de l'onde de combustion, la combustion instantanée peut être soit :

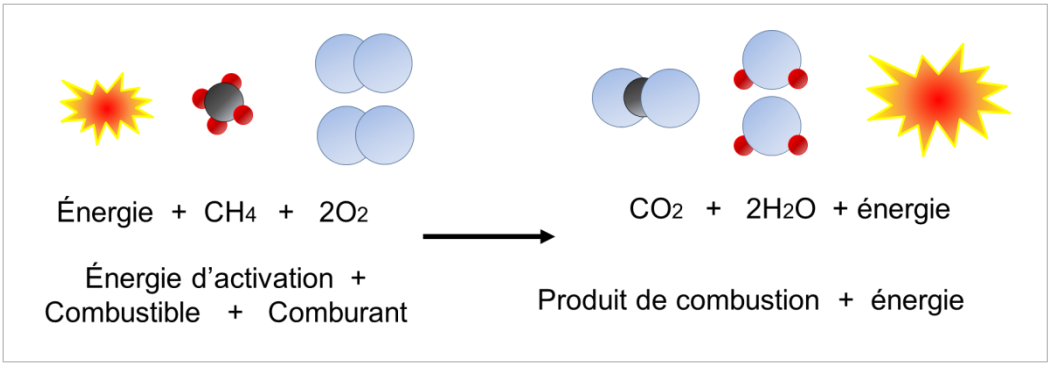
- **Rapide.** Plus d'un mètre par seconde, il s'agit alors d'une **déflagration** : onde de combustion dont l'avant avance à une vitesse inférieure à la vitesse du son (subsonique).
- **Très rapide.** Plus d'un kilomètre par seconde soit, une **détonation** : une onde de combustion dont le front avance à une vitesse supérieure à la vitesse du son (supersonique) et donc accompagnée par une onde de choc.

2.3. Types de combustion

Combustion complète

La Norme ISO13943 définit la combustion complète comme une combustion au cours de laquelle les produits de combustion sont complètement oxydés.

Cela signifie que, lorsque le comburant est l'oxygène, tout le carbone est transformé en dioxyde de carbone (CO_2) et tout l'hydrogène est transformé en eau (H_2O).



Si des éléments autres que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont présents dans les matériaux combustibles, ces éléments sont transformés en produits ; les plus stables dans leur état normal.

Combustion incomplète

En combustion incomplète, lorsque l'oxydant et le combustible ne sont pas dans les bonnes proportions, les produits qui brûlent peuvent ne pas s'oxyder correctement et aboutir à des composés comme le monoxyde de carbone (CO).

2.4. Produits de la combustion

Lorsqu'une réaction chimique exothermique se produit avec une vitesse de réaction suffisante pour qu'il puisse être identifié comme un incendie ou un feu, une équation s'établit entre les éléments qui réagissent et changent leurs caractéristiques chimiques pour donner naissance à de nouveaux produits.

Aucun des éléments initiaux n'est détruit, ils sont tous transformés. Une fois dispersés, les produits de combustion sont égaux en poids et en volume aux éléments initiaux.

⇨ La matière n'est ni créée ni détruite, elle ne fait que se transformer.

Les Fumées

La fumée correspond à la partie visible des gaz, aérosols et particules en suspension, dégagés par la combustion ou par la pyrolyse et diffusés dans l'environnement.

La fumée est donc composée de particules physiques (solides ou liquides) suspendues dans l'air, de taille et de couleur différentes, complètement ou incomplètement brûlées, emportées par les courants de convection d'air (l'air chaud monte). (voir « La Convection »)

Les particules de tailles comprises entre **0,005 et 0,01 millimètres**, riche en carbone et appelé **suie**, se produisent lorsque la plupart des matières organiques brûlent dans des conditions de combustion incomplète. La production de ces substances carbonées est issue de la combustion de pratiquement tous les dérivés pétroliers.

D'autres particules se retrouvent également dans la fumée en plus de la suie, comme :

- **Les Cendres** – Résidus minéraux sous forme de poudre, résultat d'une combustion complète
- **Les Scories** – Agglomérat solide de déchets provenant d'une combustion totale ou partielle et qui peut être une fusion de matériau ou déchet partiel voir complet

La fumée est le principal facteur de risque dans le développement d'un incendie. Elle a des effets irritants sur les muqueuses, provoque des larmoiements et rend la vision difficile. En même temps, elle empêche le passage de la lumière, ce qui complique les tâches de l'extinction et le sauvetage ainsi que l'évacuation des personnes touchées par l'incendie.

Elle peut également devenir inflammable et / ou explosive lorsque la bonne proportion de la chaleur et de l'oxygène existent.

Certains matériaux émettent plus de fumée que d'autres, par exemple les liquides inflammables émettent généralement une épaisse fumée noire.

Estimation des volumes de fumées produits par la combustion de quelques matériaux courants. M³ de fumées produites par la combustion de 10 kg de matériaux.	
Papier	10'000 m³
Bois	15'000 m³
Polyuréthane	22'000 m³
Caoutchouc	25'000 m³
Essence / Gasoil	25'000 m³

Couleurs des fumées

Il est très difficile de déterminer ce qui brûle par la couleur de la fumée, car la perception de la lumière dépend de plusieurs facteurs externes sans rapport avec le processus de combustion.

Les couleurs de fumées décrites ci-dessous sont des exemples dans des cas précis. Lors d'incendie bien d'autres facteurs peuvent venir influencer la coloration des fumées.

Fumées blanches

Le **blanc** peut indiquer que la fumée est composée principalement de vapeur d'eau. Les fumées blanches chargées en vapeur d'eau peuvent provenir de la toute première étape d'évaporation (séchage) des matériaux avant sa température d'inflammation ou lors de l'extinction à l'eau. Son origine peut être des produits végétaux, des fourrages, des allumettes, certains aliments, etc.

Fumées brunes

La fumée **brunâtre** peut indiquer la pyrolyse des matériaux organique. Par exemple, l'observation au toit d'une fumée blanche passant vers une couleur brunâtre peut nous indiquer que les différents matériaux subissent un réchauffement et ont dépassé l'étape d'évaporation et commencent à se décomposer.

Fumées grises

L'apparition d'une fumée **grise** peut indiquer que la flamme est présente dans le compartiment. Elle est également un indicateur que le combustible dégage beaucoup de carbone et peut aussi traduire un manque d'oxygène dans le volume.

Fumées noires

La couleur **noire** indique des incendies avec une charge thermique élevée, normalement avec peu d'oxygène. Généré par les fibres synthétiques, polymères, caoutchoucs ou produits dérivés du Pétrole.

Fumées colorées

- **Jaune** – son origine peut être des substances de produits chimiques contenant du soufre, avec formation d'acides chlorhydriques.
- **Jaune verdâtre** – son origine peut être des produits chimiques qui contiennent du chlore.
- **Violet** – son origine peut être des substances les produits chimiques contenant de l'iode.
- **Bleu** – cette couleur est associée aux hydrocarbures.

Les Flammes

La flamme est un phénomène de combustion, dans un milieu gazeux, qui se manifeste comme un phénomène lumineux accompagné d'une production de chaleur.

Les combustibles gazeux et liquides (et la plupart des solides) brûlent toujours avec une flamme.

Les combustibles solides se décomposent par pyrolyse sous l'effet de la chaleur, puis émettent des gaz inflammables qui s'enflamment. Les flammes se produisent toujours en phase gazeuse. (voir « Nature du combustible »)

⇨ La couleur de la flamme dépend de la composition chimique du combustible et de la quantité d'oxygène présente.

- **Si la proportion d'oxygène est faible, les flammes sont colorées jaune vif.**
- **Si la proportion d'oxygène est forte, les flammes sont bleues et énergétiques.**

Les flammes se produisent dans la plupart des incendies, bien qu'il y ait des exceptions.
Exemple : la combustion du charbon

Les flammes provoquent principalement des réactions hystériques et de la nervosité chez les victimes.

Parfois, ils produisent des reflets dans l'environnement de travail du pompier, qui tout comme la fumée empêche la perception correcte de l'incendie.

Les températures de la flamme dépendent de la nature de la combustion, des combustibles et des produits résultant de la combustion. En pratique, **les températures de flamme atteignent de 600º C à 1200º C**.

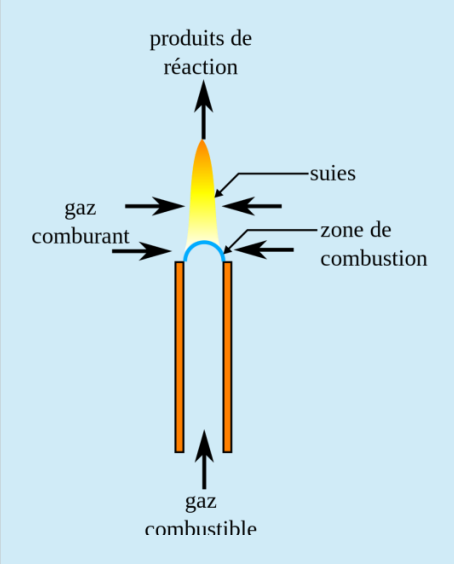
On distingue deux types de flamme :

- **La flamme de diffusion**
  Dans ce cas-là, les réactifs – *combustible et comburant* – sont séparés.
- **La flamme de pré mélange**
  Dans ce cas-là, les réactifs forment une phase homogène.

Flamme de diffusion

La flamme de diffusion est appelée ainsi car, les produits étant séparés, ils doivent venir au contact l'un de l'autre pour réagir, par le phénomène de diffusion.

La flamme de diffusion se compose de trois parties :



1) Une partie bleue

C'est là que se déroule principalement la combustion, on a le combustible d'un côté (la cire qui s'évapore en vapeur de cire), le comburant (l'oxygène) et les produits de réaction de l'autre. La température de luminescence (principalement émission de lumière bleue par le CO_2) est d'environ **1'200 °C**.

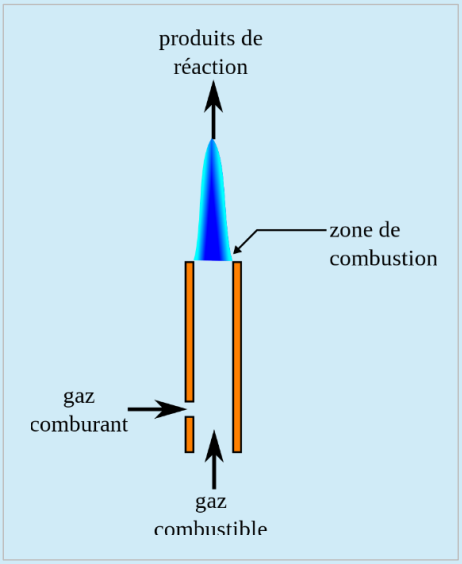
2) Une partie opaque, brillante, plutôt jaune-blanc mais tirant vers le jaune-orangé à son sommet

Les produits de combustion de la zone bleue chassent l'air, la zone est donc plus pauvre en dioxygène, on atteint une température d'incandescence de **1'500 °C** par combustion incomplète et il y a production de suie par excès de combustible. À 1'500 °C, les particules de suie émettent une lumière blanche (rayonnement du corps noir). Puis, en s'élevant, leur température s'abaisse, et elles émettent une lumière jaune orangé.

3) Une zone autour de la mèche quasi transparente et sombre

Cette région est également pauvre en dioxygène si bien que la cire y brûle peu et à une température assez faible pour qu'elle ne forme pas de suies.

Flamme de pré-mélange



Dans le cas de la flamme de pré mélange, le combustible est toujours un gaz, parfaitement mélangé au comburant. On parle aussi de flamme aérée.

Les exemples les plus courants, sont, le bec Bunsen et le brûleur de la cuisinière : ces dispositifs présentent une entrée d'air permettant aux gaz de se mélanger avant de sortir ; le chalumeau : il est alimenté en gaz combustible et en dioxygène pur, le mélange se faisant avant la buse.

La flamme est une mince couche de gaz, qui est la frontière entre deux milieux.

1) Les « Gaz frais »

Mélange combustible-comburant) d'un côté

2) Les Gaz brûlés

Produits de réaction de l'autre

La Chaleur

Les incendies sont des réactions chimiques exothermiques, ils dégagent donc de la chaleur.

La chaleur est une conséquence des mouvements des molécules qui, dans la matière, entrent en collision constamment. Plus l'énergie cinétique des molécules est importante, plus la violence des collisions est grande, et plus la chaleur qui se dégage augmente.

Si l'énergie cinétique d'un système augmente, on observe que son degré thermique augmente ; c'est-à-dire, que sa température est plus élevée.

Différence entre chaleur et température

On peut dire que la chaleur est une énergie produite par interaction des molécules de matière, tandis que la température est la manifestation du degré de chaleur atteint par un corps (état thermique des corps).

Quand la chaleur est appliquée à un matériau, l'effet principal observé est un changement de température.

En étant capable de déterminer une sensation thermique, palpable par le sens du toucher, vous pouvez dire quand un corps est plus chaud qu'un autre et parvenir à déterminer le passage de la chaleur d'un corps à un autre.

Afin de mesurer la température, des thermomètres sont utilisés. Il existe actuellement différentes échelles thermométriques (Centigrades, Fahrenheit, Kelvin, etc.).

La chaleur produit deux effets importants sur les corps :

- **Dilatation**
- **Changements d'état**

Dilatation

La dilatation est l'augmentation du volume que subi un corps lorsqu'il est chauffé, quel que soit leur état.

La dilatation est directement proportionnelle à la variation de la température.
Les gaz ont un plus grand pouvoir d'expansion.

La dilatation peut produire de grandes forces et est prise en compte lors de la construction de ponts, de bâtiments, etc., surtout s'ils ont une structure métallique.

Il y a des **exceptions**, et la plus importante est l'**eau**, qui en abaissant sa température de 4 °C à 0 °C se dilate.

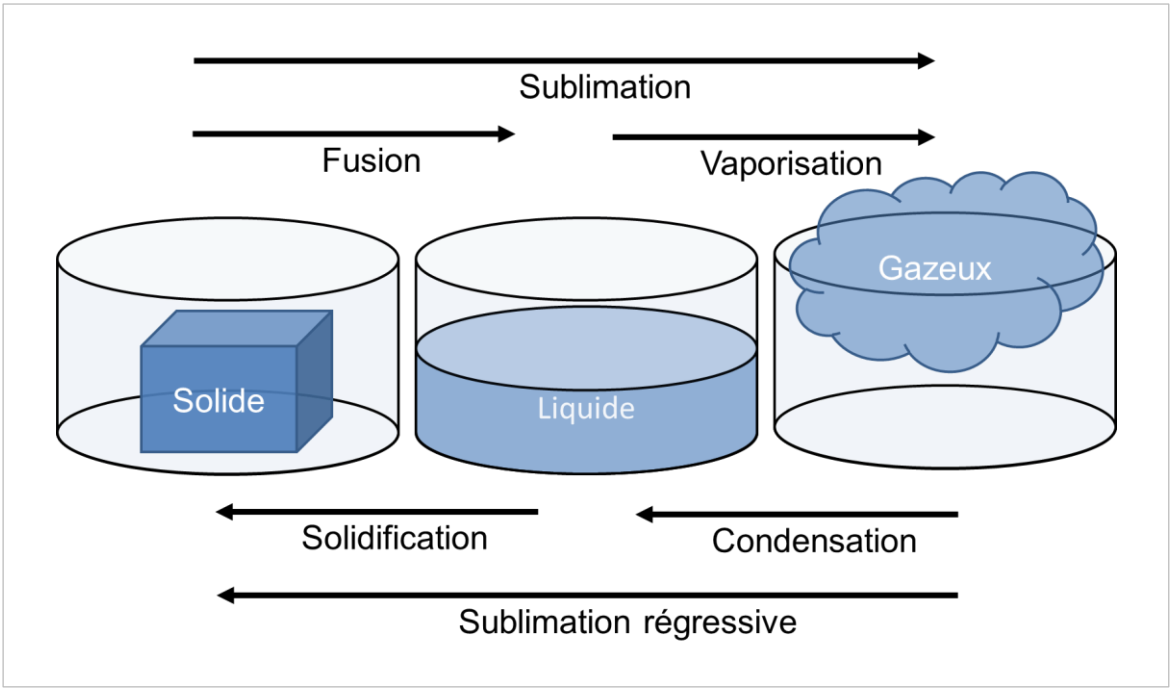
(Dans le reste des intervalles, l'eau se comporte normalement).

Changements d'état

Les changements d'état peuvent être progressifs ou régressifs.

- Les changements d'état **progressifs** sont ceux dans lesquels le corps absorbe la chaleur et sont appelés :
  - **Fusion**. Passage de solide à liquide (exemple : l'eau glacée)
  - **Vaporisation**. Passer du liquide au gaz (exemple : eau-vapeur-gaz)
  - **Sublimation**. Passage du solide au gaz (exemple : neige-poussière-gaz)

- Les changements d'états **régressifs** sont ceux dans lesquels le corps émet de la chaleur, et sont appelés :
  - **Solidification**. Passer du liquide au solide (exemple : eau-glace)
  - **Condensation** (également appelée liquéfaction). Passage du gaz au liquide (exemple : gaz de pétrole liquéfiés)
  - **Sublimation régressive**. Passage gaz ou vapeur à solide



Les Gaz

Une grande partie des éléments qui composent le combustible dans une combustion, forment des composés gazeux quand ils brûlent.

La quantité de gaz produite dans le feu dépend des matériaux présents dans la combustion.

La plupart des matériaux combustibles contiennent du carbone.

Ceux-ci, dans une **combustion complète**, avec un apport d'air suffisant, forment du **dioxyde de carbone** (**CO_2**) lorsqu'il est brûlé.

Dans le cas d'une **combustion incomplète**, issu d'un apport d'air insuffisant, du **monoxyde de carbone** (**CO**) peut être produit.

Ces deux gaz (**CO-CO_2**), avec la vapeur d'eau (**H_2O**), sont les plus abondants dans les incendies.

Mais également :

- du dioxyde de soufre (**SO_2**)
- de l'acide cyanhydrique (**HCN**)
- des oxydes d'azote (**NO_X**)
- de l'acide chlorhydrique (**HCl**)
- du phosgène (**$COCl_2$**)
- etc.

Ces gaz peuvent être toxiques et produire chez l'homme des handicaps physiques respiratoires, la perte de coordination, la désorientation, l'empoisonnement et même la mort.

Ces gaz sont, dans les conditions requises, également combustibles et peuvent avoir une grande incidence sur le développement de l'incendie.

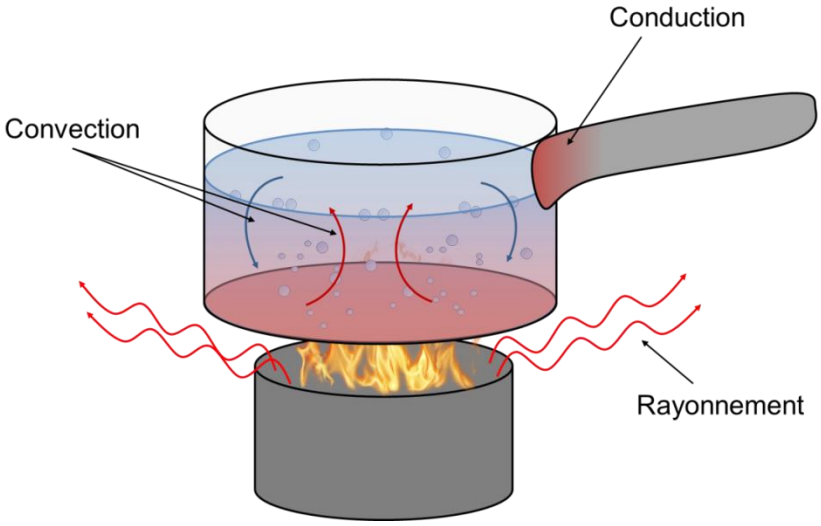
3. La Propagation

Chaque fois qu'il y a une différence de température, l'énergie (chaleur) est transférée de la région de **température la plus élevée vers la température la plus basse**. Il s'agit du principe d'entropie, principe qui caractérise notre univers.

Le transfert de chaleur détermine l'ignition, la combustion, la propagation et l'extinction de la plupart des incendies.

La chaleur est transmise par les trois méthodes suivantes :

- **La Conduction**
- **La Convection**
- **Le Rayonnement**



3.1. La Conduction

Le transfert de chaleur par **contact moléculaire direct** entre deux corps solides, liquide ou gazeux, s'appelle la conduction.

Les parois de la casserole, chauffée par le feu vont petit à petit se réchauffer par conduction. Le manche, en contact avec la paroi va chauffer également par conduction.

Afin de ne pas se brûler lors de la manipulation de la casserole, le manche sera fait dans une matière qui conduit moins la chaleur, par exemple du bois.

Certains des facteurs qui affectent la conduction thermique sont :

- **La Densité**. Plus la densité est élevée, plus la conductivité est grande. La chaleur est mieux transmise dans les solides que dans les liquides, et dans les liquides mieux que dans des gaz. Les meilleurs isolants thermiques commerciaux se composent de petites particules ou de fibres de substances solides dont les interstices sont occupés par l'air.
- **La Surface de contact**. Plus la surface est grande, plus grand est le contact moléculaire entre les corps et plus le transfert de chaleur du chaud au froid est important.
- **La Différence de température** qui impliquera un plus grand flux de chaleur d'un élément à un autre.
- **La Conductivité thermique** ou capacité de conduction de la chaleur d'une matière.

3.2. La Convection

Dans un fluide (gaz ou liquide), la chaleur se transmet par convection.
Comme dans la conduction, la matière doit exister pour qu'une convection soit possible.

Le phénomène est régulé par la densité différente du fluide en fonction de sa température. Le fluide chaud se dilate, sa densité diminue et par conséquent, il monte. L'air chaud, en montant, laisse un vide en partie basse qui se remplit par du fluide plus dense, plus frais. Pour cette raison le transfert de chaleur par convection se produit du bas vers le haut.

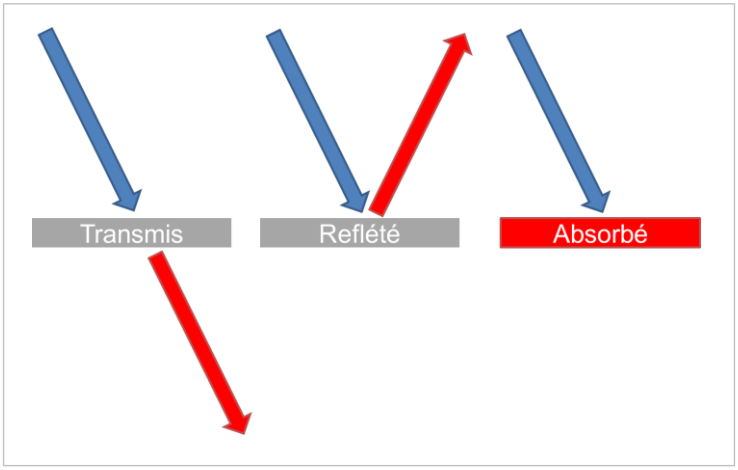
Ainsi, l'eau chaude réchauffée par le feu au travers du fond de la casserole (conduction) va se dilater et monter. Le « vide » laissé par l'eau chaude va être comblé par de l'eau plus lourde, plus froide venant du haut.
Ce mouvement de fluide est la convection.

La transmission de chaleur par convection a plusieurs applications ; elle est utilisée dans les chauffe-eaux, cheminées, ventilateurs et ventilateurs d'extraction, etc.

La convection, via la fumée, est la principale raison de propagation des incendies. Les mouvements de convection dans la fumée peuvent emporter des particules enflammées ou incandescentes dans d'autres milieux pas encore atteint par le foyer.

3.3. Le Rayonnement

Le rayonnement est le processus de transmission de la chaleur au moyen d'ondes électromagnétiques, qui se propagent d'un corps à l'autre à la fois dans un environnement matériel comme en l'absence de celui-ci, comme la chaleur du soleil, qui voyage dans l'espace et réchauffe la terre.



Toutes les formes d'énergie radiante se propagent en ligne droite à la vitesse de la lumière (dans le vide) et dans toutes les directions.

Quand ils tombent sur un corps, les rayons, sont **absorbés**, **réfléchis** ou **transmis**.

Le rayonnement émis par un processus de combustion occupe principalement la région infrarouge

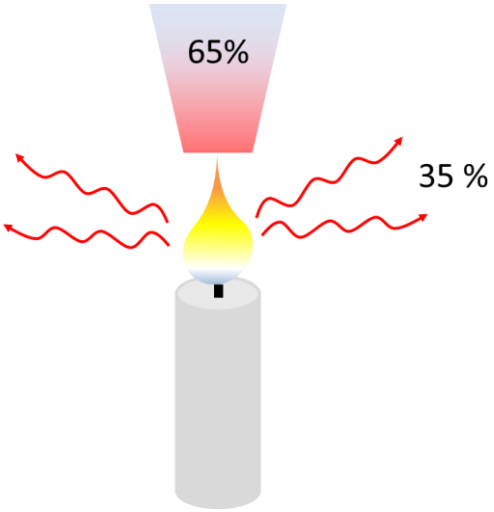
Un exemple courant de l'utilisation de la chaleur radiante (rayonnement) sont les chauffages des terrasses ou des restaurants.

3.4. La Répartition quantitative

Toute la chaleur générée dans la flamme s'en échappe principalement par convection dans le panache de fumées et par rayonnement autour de la flamme.

La conduction est négligeable au niveau de la flamme puisqu'il s'agit d'un milieu essentiellement gazeux.

En pratique, la **chaleur émise dans la flamme** est transportée à **65%** par convection dans le panache et à **35%** par rayonnement.



Cette répartition n'est valable que dans le cas des feux ouvert, la répartition sera différente dans un système feu. (voir Chapitre Feux intérieurs)

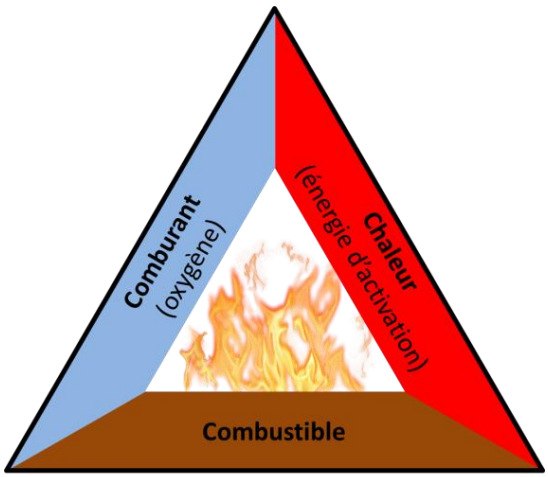
MODE DE PROPAGATION	SUPPORT	DIRECTION DE PROPAGATION
Conduction	Matériau solide	Selon la forme du matériau
Convection	Fluide (Liquide ou Gaz)	Du bas vers le haut
Rayonnement	Aucun	Toutes les directions

4. Triangle et Tétraèdre du feu

Les incendies se produisent lorsqu'un produit inflammable (***combustible***), un produit qui favorise la combustion (***comburant***) et une source avec suffisamment d'énergie d'activation (***chaleur, étincelle, flamme***) sont présents.

⇨ Lorsque ces trois facteurs sont disponibles dans des proportions correctes, **une combustion se produit**.

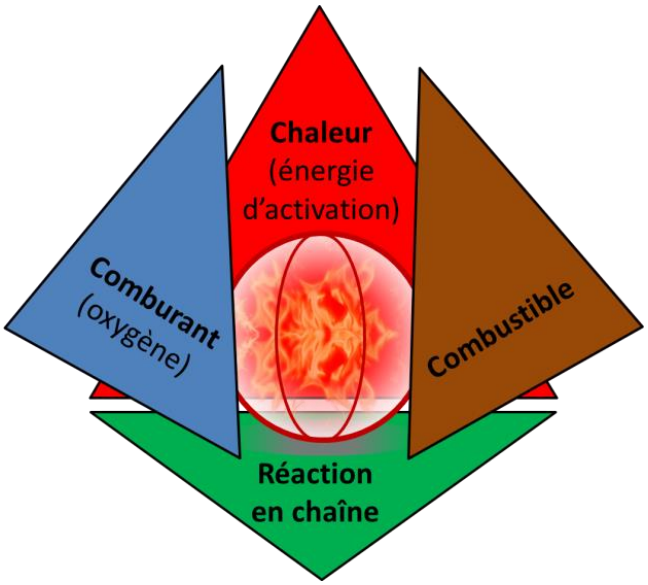
Ces trois facteurs (combustible, comburant et chaleur) sont souvent représentés au moyen d'un triangle, appelé le **Triangle du feu**.



⇨ La suppression d'un des côtés du triangle (facteur) rend impossible le démarrage d'un feu, ou l'éteint si la combustion est déjà présente.

Cependant, le triangle du feu (combustible, comburant et chaleur) représente uniquement la combustion incandescente.

Lors d'une combustion avec flamme un quatrième facteur, étroitement lié avec tous les précédents, qu'on appelle la **réaction en chaîne**, est présent et donne lieu au **Tétraèdre du feu**.



4.1. Le Combustible

Le combustible est défini comme toute substance capable de brûler en présence d'une énergie d'activation ; c'est-à-dire, toute substance susceptible de se combiner avec un oxydant dans une réaction exothermique.

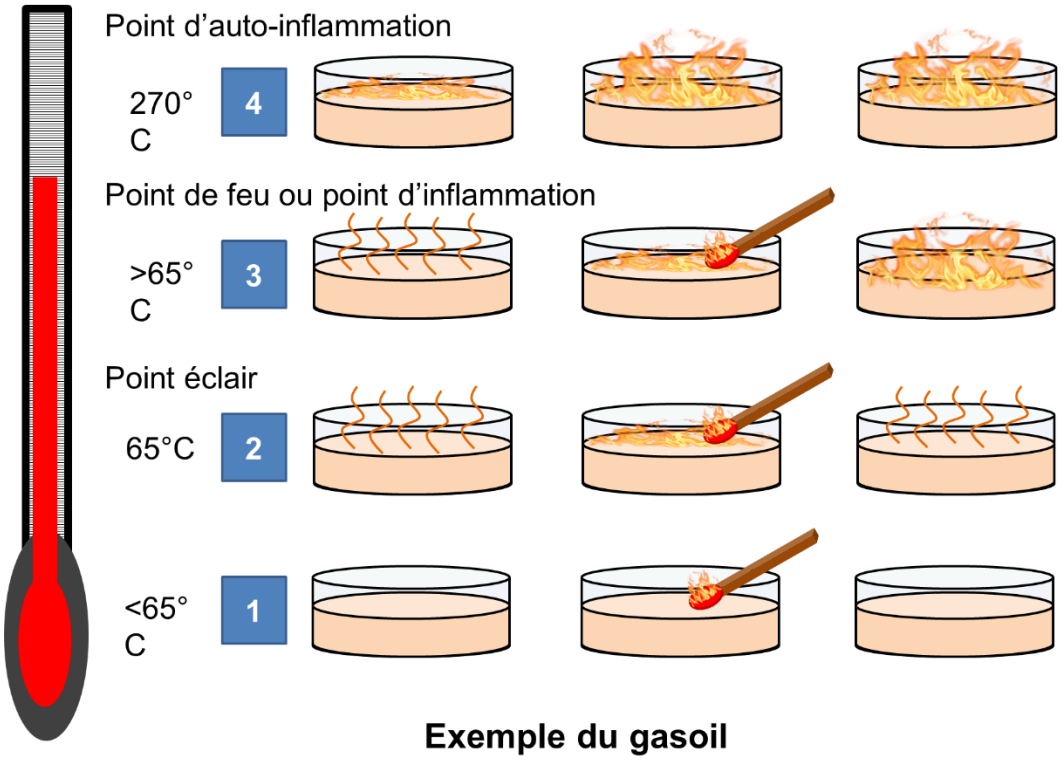
Le degré d'inflammabilité des combustibles dépend de la source d'inflammation nécessaire à une combustion.

Les substances inflammables et facilement inflammables peuvent s'enflammer dans l'air à température ambiante sans la nécessité d'une énergie d'activation ou après un bref contact avec l'une d'elles.

Les combustibles peuvent être **solides**, **liquides** ou **gazeux**, bien que quel que soit son état initial, ils s'enflamment toujours à l'état gazeux (pyrolyse). Lorsque le carburant est solide ou liquide, il faut un apport d'énergie préalable pour l'amener à l'état gazeux. (voir « Classes de feu **A** et **B** »)

L'allumage d'un combustible, et donc le danger d'incendie, dépend de plusieurs facteurs. Ceux-ci, peuvent être analysés au moyen de constantes physiques spécifiques propre à chaque combustible, telle que :

- **Le point éclair**
- **Le point de feu ou point d'inflammation**
- **Le point d'auto-inflammation**



Point d'éclair

Température minimale à laquelle doit être chauffé un matériau ou un produit pour que les vapeurs émises s'enflamment momentanément en présence d'une flamme dans des conditions spécifiées (pression).

⇨ Cela signifie que si la flamme est retirée du produit, la combustion s'arrête.

Point de feu ou point d'inflammation

Température minimale à laquelle un combustible émet suffisamment de vapeurs susceptibles de s'enflammer au contact d'une flamme et continue de brûler.

⇨ Dans ce cas-ci, lorsque la flamme est retirée du produit, la combustion continue.
Habituellement quelques degrés au-dessus du point d'éclair.

Point d'auto-inflammation

Température minimale à laquelle les vapeurs émises par un combustible commencent à brûler sans avoir besoin d'une source d'allumage (sous des conditions normales).

⇨ Elle est également définie comme la température minimale auquel une substance solide, liquide ou gazeuse au contact de l'air, brûle spontanément sans besoin d'aucune entrée d'énergie dans le mélange.

Concentration des vapeurs

Tous les mélanges de combustible / comburant ne peuvent pas entrer en combustion.
Il y a des limites d'inflammabilité répertoriée ci-dessous :

Limite inférieure d'inflammabilité (LII)

Concentration minimale de combustible dans l'air au-dessous de laquelle la propagation d'une flamme ne se produit pas en présence d'une source d'allumage.

⇨ Sous la LII la combustion ne se produit pas par manque de combustible.

Limite supérieure d'inflammabilité (LSI)

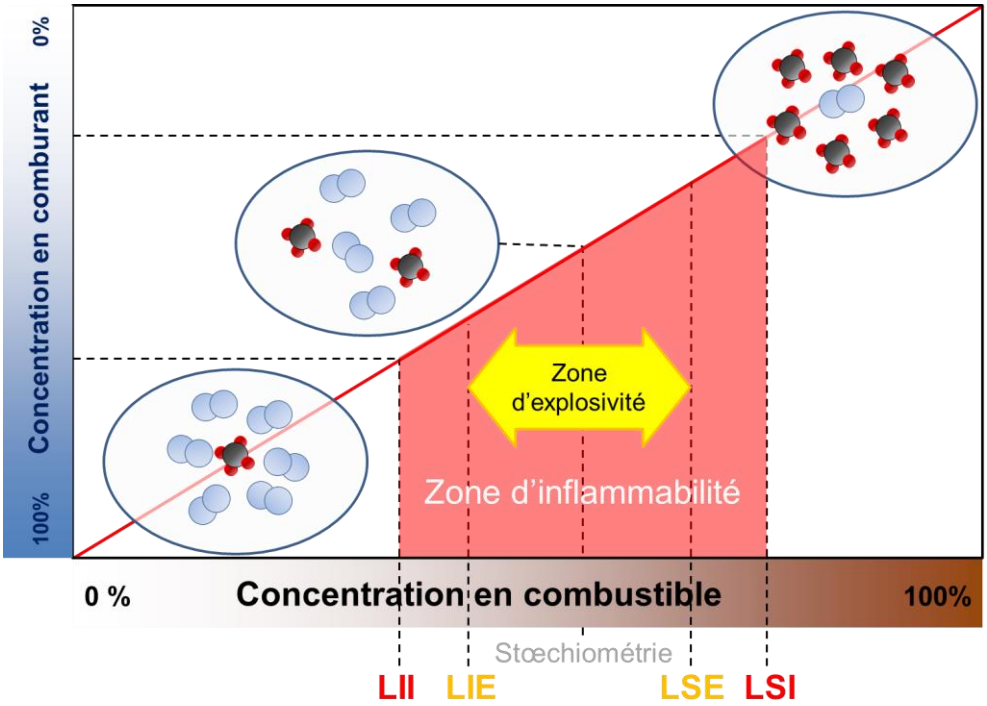
Concentration maximale de la vapeur de combustible dans l'air au-dessus de laquelle la propagation d'une flamme ne se produit pas en présence d'une source d'allumage.

⇨ Au-dessus de LSI, le mélange ne brûle pas en raison du manque d'oxydant.

L'intervalle entre les deux limites est appelé **Zone d'inflammabilité**.
Dans cette plage, il existe un point où la combustion se fait de manière idéale, c'est-à-dire que la vitesse de combustion est la plus rapide et la plus complète : **le point stœchiométrique**.

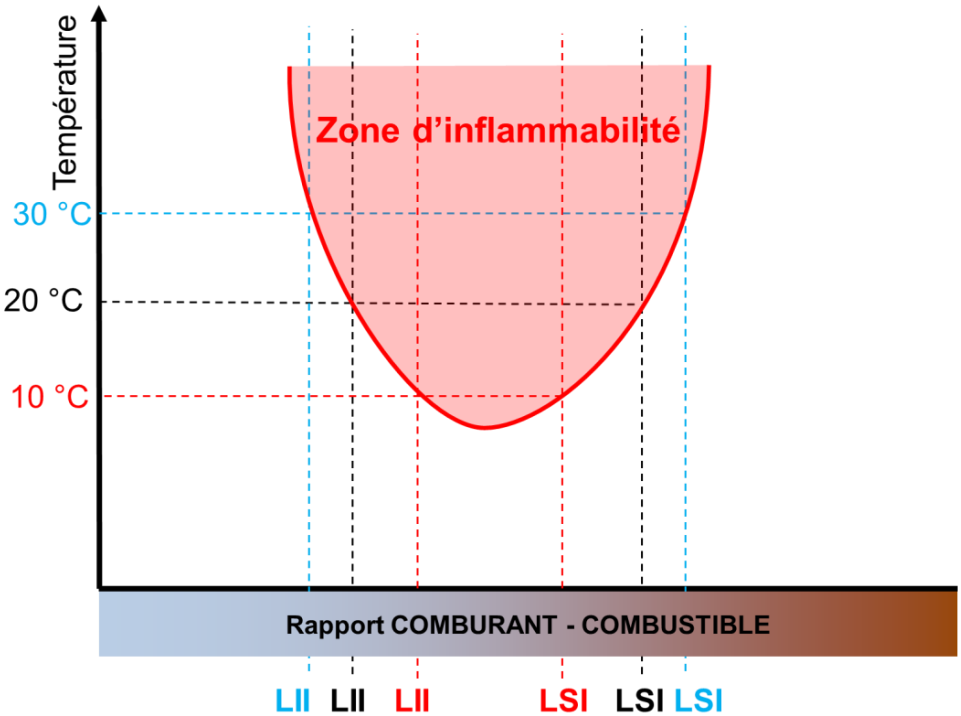
⇨ Entre la **LII** et le **point stœchiométrique** existe la limite inférieure d'explosibilité (**LIE**)
⇨ Entre le **point stœchiométrique** et la **LSI** on trouve la limite supérieure d'explosivité (**LSE**)
⇨

Ne pas confondre les LII et LSI avec les LIE LSE !



Les valeurs de **LII** et **LSI** varient en fonction de la température et de la pression (négligeable dans le domaine de l'incendie).

⇨ Lorsque la température augmente, la zone d'inflammabilité s'élargit et lorsque la température diminue, le domaine d'inflammabilité diminue.



Cette augmentation de la zone d'inflammabilité est due à la loi des gaz parfaits où : $PV = nRT$
Donc si T augmente, P augmente et engendre une dilatation du gaz.

4.2. Le Comburant

Substance susceptible de provoquer une réaction d'oxydation.

Bien qu'un comburant soit une substance susceptible de provoquer une réaction d'oxydation, ce terme est généralement appliqué aux mélanges de gaz dans lequel l'oxygène est en proportion suffisant pour que la combustion puisse s'y développer.

L'oxygène, contenu dans l'air, environ 21% en volume (23% si considéré en poids)**, est donc l'oxydant le plus courant dans tous les incendies.**

La combustion nécessite la présence d'une proportion minimale d'oxygène dans l'environnement. En dessous de 15%, le feu s'éteint généralement.

Certains composés tels que la nitrocellulose, contiennent les deux facteurs, soit un oxydant et un réducteur dans sa composition, ils peuvent donc subir une combustion sans autre apport externe que l'énergie d'activation.

Au contact de la matière organique, certains acides forts oxydants (par exemple l'acide sulfurique ou nitrique) peuvent provoquer une combustion et déclencher des incendies sans une source d'inflammation supplémentaire.

Quand elles sont trouvées directement affectées par le feu, les matières comburantes libèrent de l'oxygène et entraînent une combustion auto-entretenue, même dans une atmosphère sans oxygène. L'existence d'un oxydant n'est pas dangereuse en soi, mais dans un incendie, le danger et la virulence augmentent.

4.3. L'Énergie d'activation

L'énergie d'activation ou source d'allumage est une source d'énergie qui provoque une combustion.

Les sources d'allumage ont des origines diverses :

- **Origine chimique** — Toute réaction exothermique provoque de la chaleur
- **Origine mécanique** — Heurts ou frottements entre matière génère de la chaleur et des étincelles
- **Origine électrique** — Le passage d'un courant électrique provoque de la chaleur
- **Origine biologique** — Certains métabolismes biologiques sont exothermiques
- **Origine naturelle ou atmosphérique** — Comme la foudre

La cause principale des débuts d'incendie, soit la contribution énergétique initiale, provient essentiellement des formes suivantes :

- **Les Flammes**
  Les flammes sont une source d'inflammation sûre pour le mélange de vapeur inflammable et d'air trouvé dans sa plage d'inflammabilité.
- **Étincelles électriques, statiques et de friction.**
  Les étincelles produites par des installations électriques commerciales sont plus chaudes que les flammes et sont généralement capables d'enflammer les mélanges inflammables.
- **Surfaces chaudes**
  Les surfaces chaudes peuvent devenir des sources d'ignition dès lors où elles ont une dimension et une température suffisantes.
- **Braises**
  Les braises, une fois les flammes éteintes, dans les derniers instants de la combustion du bois, produisent de la chaleur par rayonnement et peuvent réenclencher une combustion auto alimentée si un nouveau combustible vient produire de nouvelles vapeurs inflammables à proximité.

4.4. Réaction en chaîne

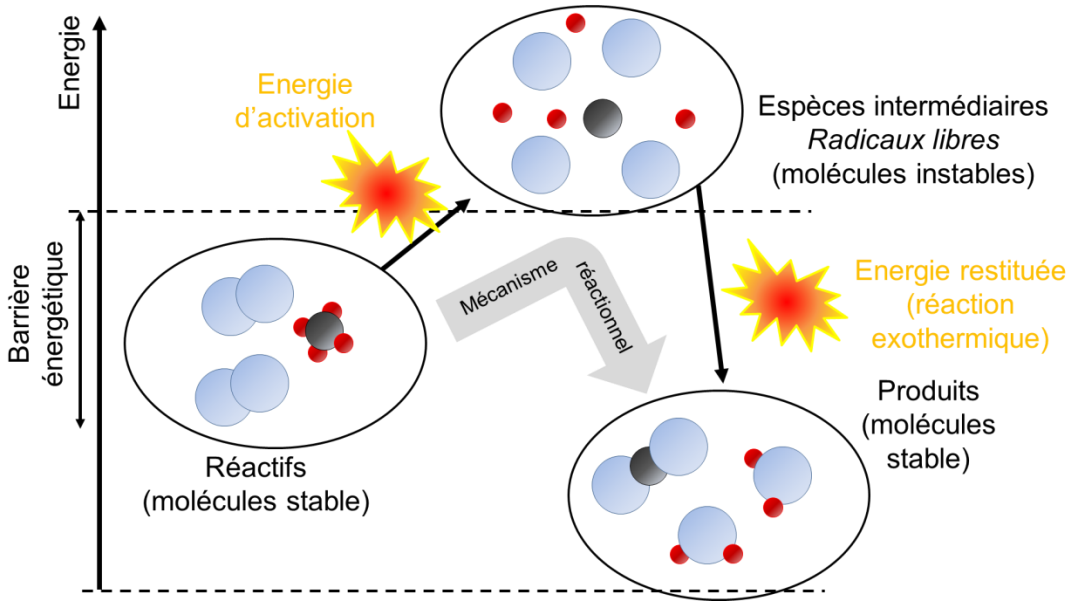
Une réaction de combustion fait intervenir des espèces très complexes du point de vue atomique.

Les produits (produits de combustion) résultants de la combustion de ces espèces sont obtenus après de nombreuses étapes (sous-réactions).

Cet ensemble de réactions partant des réactifs pour aller jusqu'aux produits est appelé mécanisme réactionnel.

En effet, avant que les produits ne soient complètement formés, les molécules des réactifs passent par un état de dissociation permettant de casser leur liaison sous l'effet de l'énergie d'activation apportée.

Ce **craquage des molécules** est représenté dans la figure ci-dessous.



Au cours des étapes de la réaction des espèces intermédiaires non-stables chimiquement sont formées, ces espèces sont appelées des radicaux libres.

Ces derniers sont très énergétique (molécules instables) et cherchent alors à regagner une certaine stabilité en se réarrangeant avec d'autres atomes ou molécules.

Lors de ce réarrangement, ils vont alors casser les liaison d'autres atomes et molécules créant à leurs tours de nouveau radicaux libres qui vont eux-mêmes créer d'autres radicaux libres, et ainsi de suite.

Ce phénomène est appelé la réaction en chaîne.

Une réaction en chaîne est une séquence de réactions où un produit ou un sous-produit réactif provoque des réactions supplémentaires

Lors de l'apport d'une énergie d'activation importante telle qu'une étincelle, de très nombreuses espèces radicalaires sont créées.

Ainsi la vitesse de réaction en chaîne double avec l'élévation de 10 ºC et peut être multipliée par un million ou plus avant une augmentation de 200 °C.

4.5. Agents passifs

Comme vu précédemment, pour que la combustion se produise, il est nécessaire d'avoir du combustible, de l'oxygène, une source d'énergie (triangle du feu) et, une réaction en chaîne (tétraèdre de feu).

Cependant, il existe un facteur supplémentaire qui affecte à la fois le triangle comme le tétraèdre, ce sont les agents passifs.

Les agents passifs, comme ils le sont généralement appelés, sont présents dans tout processus de combustion, cependant ils ne participent pas à la réaction chimique de combustion.

Mais le fait qu'ils absorbent ou volent de l'énergie (chaleur), a une influence sur le comportement du feu.

Exemples d'agents passifs :

- **Gaz non inflammables** – Dioxyde de carbone et vapeur d'eau
- **Suies** – Particules de carbone
- **Eau** – Température et humidité
- **Azote** – Un composant de l'air (79% de celui-ci en volume environ) qui reste inerte lors de la combustion

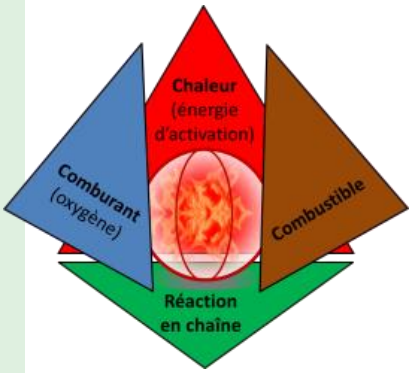
5. Mécanisme d'extinction

Les mécanismes d'extinction sont basés sur la disparition ou la diminution de l'un des facteurs qui compose le tétraèdre du feu : combustible, comburant, énergie d'activation (chaleur) et réaction en chaîne.

Bien qu'en salle de théorie ou en laboratoire il soit facile de différencier les mécanismes d'extinction par la disparition ou la diminution de l'un des pans du tétraèdre du feu, la réalité opérationnelle, lors des incendies, est toute autre.

Très souvent l'action de la lance du sapeur-pompier aura une action combinée sur plusieurs pans du triangle du feu simultanément. (La réaction en chaîne est plus concernée par l'action de la poudre.)

Ainsi, sur le terrain, il n'est souvent pas possible de déterminer avec précision quel mécanisme a permis l'extinction, cependant la compréhension des mécanismes d'extinction reste primordiale pour les sapeurs-pompiers.



5.1. Retrait du Combustible

Il consiste en un **prélèvement partiel ou total du combustible**, pour autant que sa vitesse de retrait soit supérieure à la vitesse de propagation du feu.

Il est possible de couper l'alimentation ou de retirer le combustible de plusieurs manières :

- **Direct**

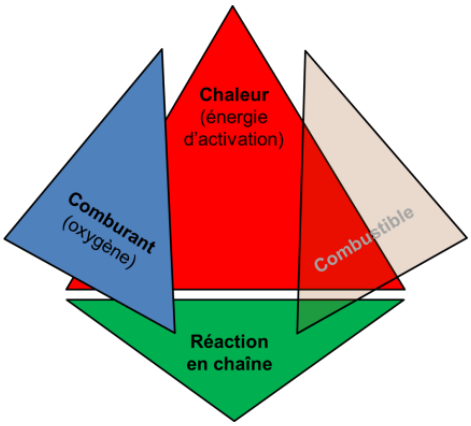
Les carburants sont physiquement séparés de la source de l'incendie (par exemple, une palette d'une autre qui brûle) ou couper l'écoulement du fluide à travers les tuyaux en fermant les robinets pour empêcher la fuite de laisser s'échapper du gaz ou des liquides à l'extérieur.

- **Indirect**

La propagation du feu est entravée par le refroidissement du combustible en contact du foyer ou par la mise en place d'éléments incombustibles qui les empêchent d'entrer en combustion.

- **Dilution du combustible (inertage du combustible)**

La diminution de concentration du combustible par dilution va permettre de passer en dessous de sa limite inférieure d'inflammabilité et ainsi stopper sa combustion. Cette méthode de dilution du combustible s'appelle l'inertage.



5.2. Retrait du Comburant

Il consiste à éliminer ou déplacer l'oxydant. Le comburant peut être séparé des produits de combustion ou l'on peut aussi réduire la concentration de l'oxydant (dans le cas de l'oxygène, en dessous de 15%).

Ceci afin d'empêcher les vapeurs combustibles d'entrer en contact avec l'oxydant ; ou d'obtenir une concentration d'oxydant si basse qu'elle ne permet pas la combustion.

Cette méthode d'extinction peut être effectuée de deux manières différentes :

- **Retrait complet de l'oxygène**

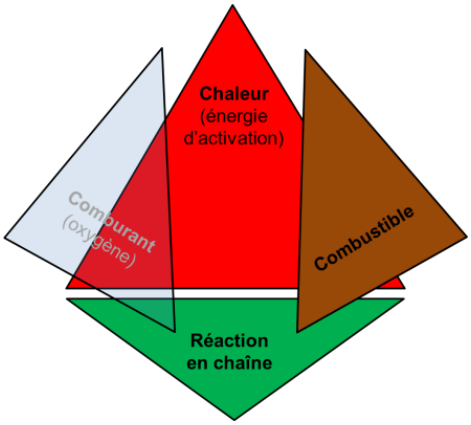
Une séparation complète de l'oxydant est effectuée du combustible. Ceci est réalisé en isolant le combustible qui brûle pour empêcher son contact avec l'air et empêcher la réaction de se poursuivre. Dans ce cas, le combustible peut être recouvert de sable, de mousse, de poudres, ou simplement avec le couvercle d'une poêle.

- **Déplétion de l'oxygène (inertage du comburant)**

L'oxygène présent dans l'atmosphère entourant le foyer est remplacé par un autre gaz non comburant. L'ajout d'une substance incombustible (gaz inerte, vapeur d'eau) à l'air ambiant va faire chuter la proportion d'oxygène dans le volume. Le but de cette méthode n'est pas d'éliminer complètement l'oxygène, mais de réduire sa proportion en dessous de la concentration nécessaire à la combustion (15%).

Cette méthode de **diminution** de l'oxydant est également appelée inertage.

Le dioxyde de carbone, le halon (actuellement plus utilisé) et l'azote sont des gaz inertes qui sont utilisés à cet effet dans les installations fixes d'extinction.

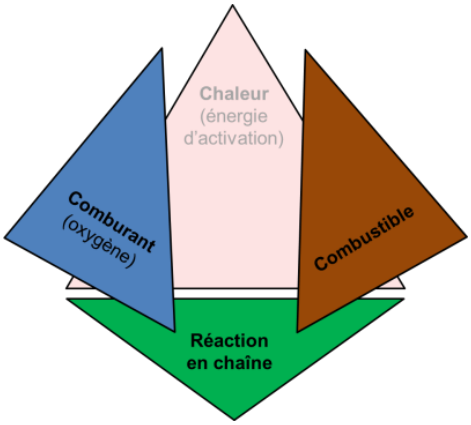


5.3. Refroidissement

Il consiste à **éliminer la chaleur pour réduire la température du combustible** en dessous de son point d'inflammation, soit diminuer la température du combustible pour stopper la production de vapeurs inflammables.

Il est réalisé en jetant de l'eau correctement sur les surfaces chaudes. L'eau est l'agent qui refroidit le plus, principalement dans son étape de phase liquide à vapeur. (voir « Agents d'extinction – Eau »)

C'est la méthode d'extinction la plus utilisée.

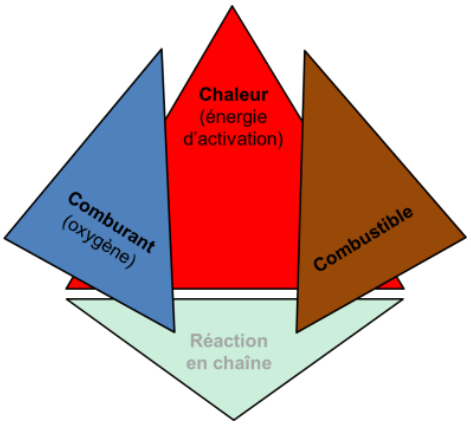


5.4. Inhibition ou perturbation de la réaction en chaîne

Aussi appelée **action catalytique**, cette action consiste à **provoquer la rupture de la réaction en chaîne** en désactivant les radicaux libres.

Lors de la combustion, les radicaux libres sont occupés par l'oxygène, qui oxyde toutes les molécules. Quand un agent d'extinction, telle que la poudre sèche, vient occuper le radical libre, l'oxygène ne peut plus se lier avec lui.

L'oxydation est donc stoppée, la combustion ne se fait plus et la réaction en chaîne est coupée.



Cette méthode est très efficace, mais elle n'est pas applicable aux feux sans flammes (incandescent ou braises).

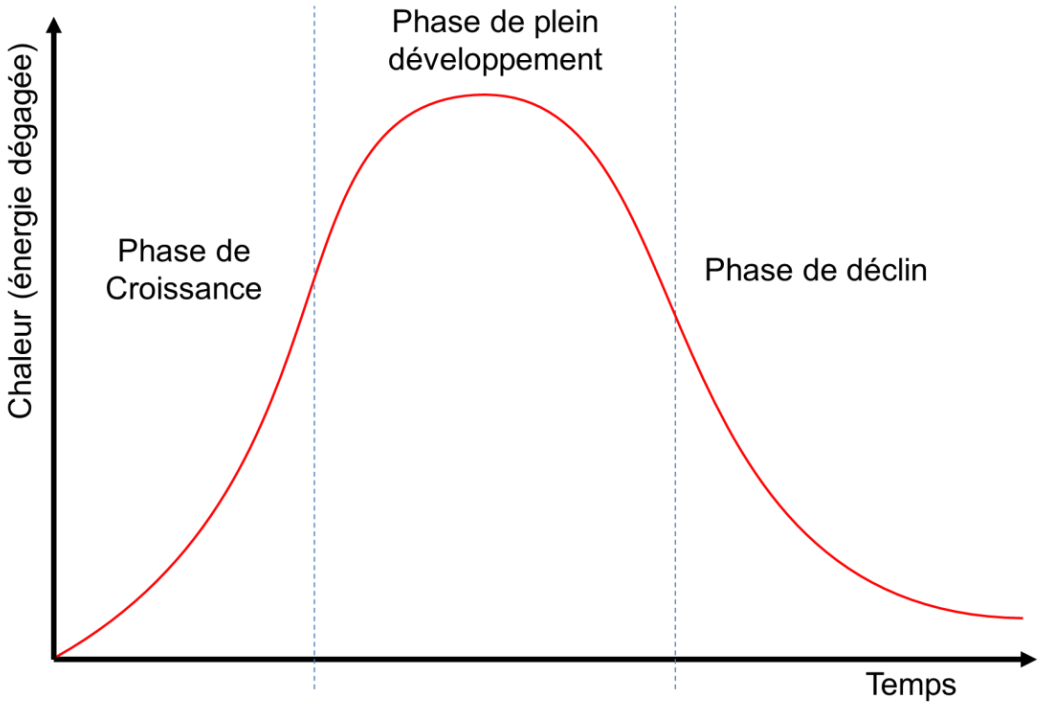
6. Le Développement du feu

Si le phénomène de la combustion explique la réaction physico-chimique d'un incendie, le développement de celui-ci va suivre systématiquement plusieurs phases dans son évolution.

Trois phases vont se succéder dans l'ordre :

- **La Croissance**
- **Le Plein développement**
- **Le Déclin**

La naissance du feu est parfois utilisée dans la littérature comme phase initiale, avant la phase de croissance.



6.1. La Croissance

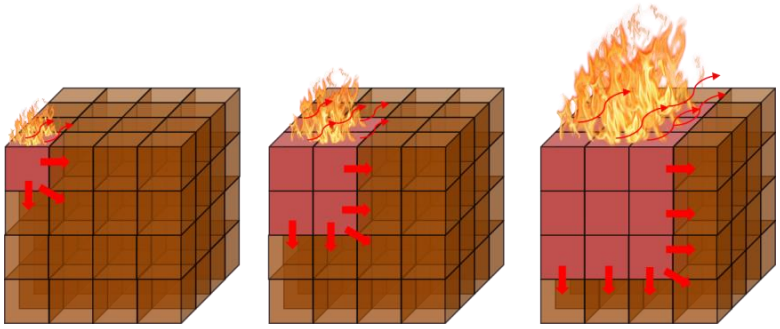
L'incendie commence à se développer dans le foyer d'ignition.

Dans les premiers instants, à la naissance du feu, la puissance de celui-ci est très limitée et sa croissance est lente, les combustibles commencent par « sécher », l'eau contenu dans ceux-ci s'évapore.

Les matières combustibles dans l'environnement proche 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. On parle alors d'une limitation due au combustible.

La chaleur est transmise par conduction et rayonnement aux combustibles qui se trouvent à proximité.
Le feu se propage de part en part. Ce processus s'accélère à mesure que le feu prend de l'ampleur.

⇨ La principale caractéristique de la phase de croissance est son **développement exponentiel.**

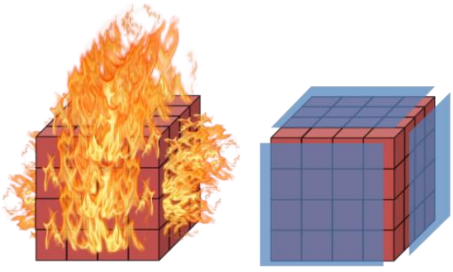


6.2. Le Plein développement

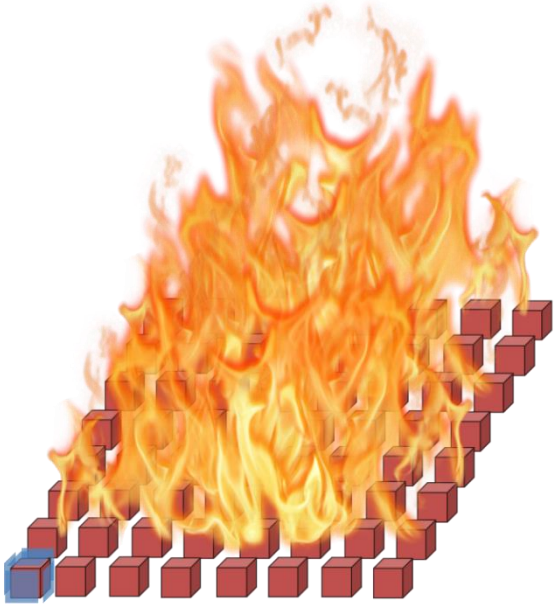
Le foyer initialement limité par la quantité de combustible disponible (gaz de pyrolyse) atteint un plafond lorsqu'il est entièrement en feu.

L'incendie atteint alors une **puissance maximale** équivalente à la zone d'échange avec l'air ambiant (surface au contact de l'air). On parle alors d'une limitation due à la ventilation (apport d'air).

Ainsi plus les matériaux sont fractionnés, plus la surface disponible avec l'air sera grande et plus la puissance du feu importante.



Surface d'échange gazeux
16 x 5 = 80



Surface d'échange gazeux
64 x 5 = 320

6.3. Le Déclin

Dans la phase de déclin, après avoir atteint une puissance maximale, ce sont les **gaz de pyrolyse qui vont venir limiter la puissance du feu**.

La puissance de feu va décliner au fur et à mesure que les gaz de pyrolyses diminuent, jusqu'à l'arrêt du processus de combustion et l'extinction du foyer.

7. Types d'incendie

Les incendies peuvent être classés en fonction d'une multitude de paramètres, cependant nous pouvons les classifier selon :

- **La Nature du combustible**
- **La Forme du foyer**
- **La Surface/Volume affectés**
- **La Nature de la combustion**
- **Son Emplacement**

7.1. Nature du combustible

Feux de Classe **A** .....

Ce sont des incendies impliquant des **matériaux solides**, généralement de nature organique, dont la combustion se fait normalement avec formation de braise incandescente, composés entre autres de carbone et d'hydrogène (bois, charbon, paille, tissus et, en matériaux carbonés généraux).

Ces incendies retiennent l'oxygène à l'intérieur et forment des braises. Ils sont appelés feux profonds.

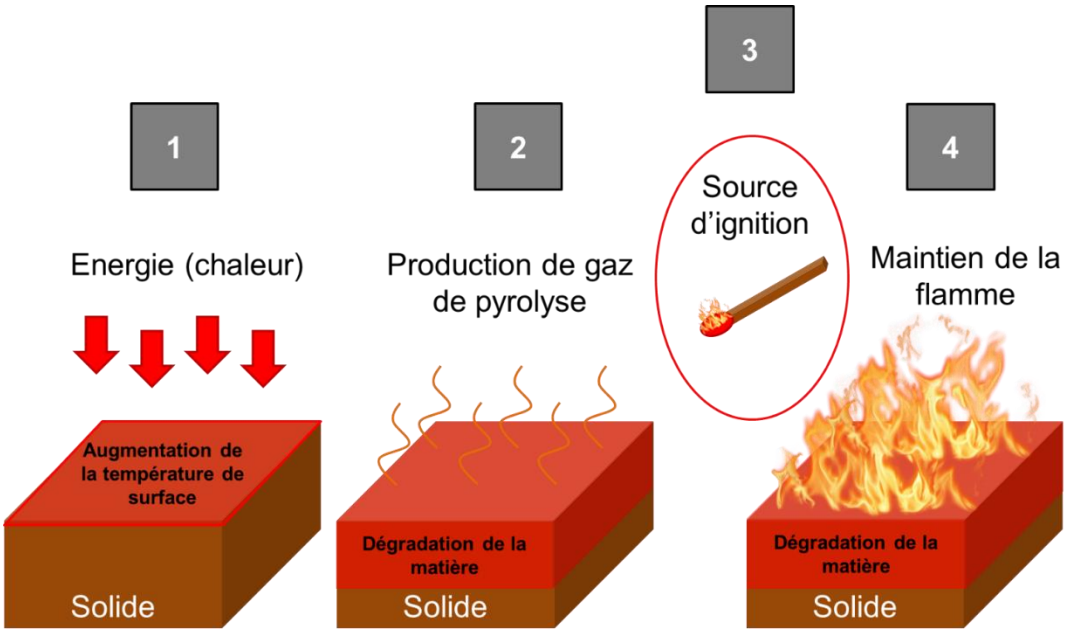
Les combustibles solides ne brûlent pas. La flamme est un phénomène de combustion visible en phase gazeuse ; soit, des gaz qui résultent de la décomposition par la chaleur des combustibles solides, phénomène appelé pyrolyse.

La Pyrolyse

La pyrolyse est une décomposition chimique d'une matière produit par une élévation de température, sans réaction avec l'oxygène. L'oxygène n'est pas impliqué dans la pyrolyse, car il n'y a pas encore de combustion.

Le *schéma* suivant illustre les notions essentielles pour comprendre comment une flamme se forme et se maintient à partir de la dégradation de la matière combustible solide.

Ce processus peut être décrit en quatre étapes :



1) **Echauffement de la matière**
   La matière voit sa température augmenter en surface par l'intermédiaire d'un transfert thermique.

2) **Production des gaz de pyrolyse**
   La matière voit sa température augmenter en son sein et débute sa décomposition en émettant des gaz inflammables.

3) **Inflammation des gaz**
   Lorsqu'une quantité de gaz suffisante est dégagée par la matière et mélangée à l'air. L'apport d'une source d'énergie suffisante permet alors l'inflammation du mélange.

4) **Etablissement et maintien de la flamme**
   Suite à l'inflammation, la flamme est maintenue en surface si les gaz combustibles dégagés par la matière sont en quantité suffisante, si l'apport en air est suffisant et si les conditions thermiques sont adéquates.

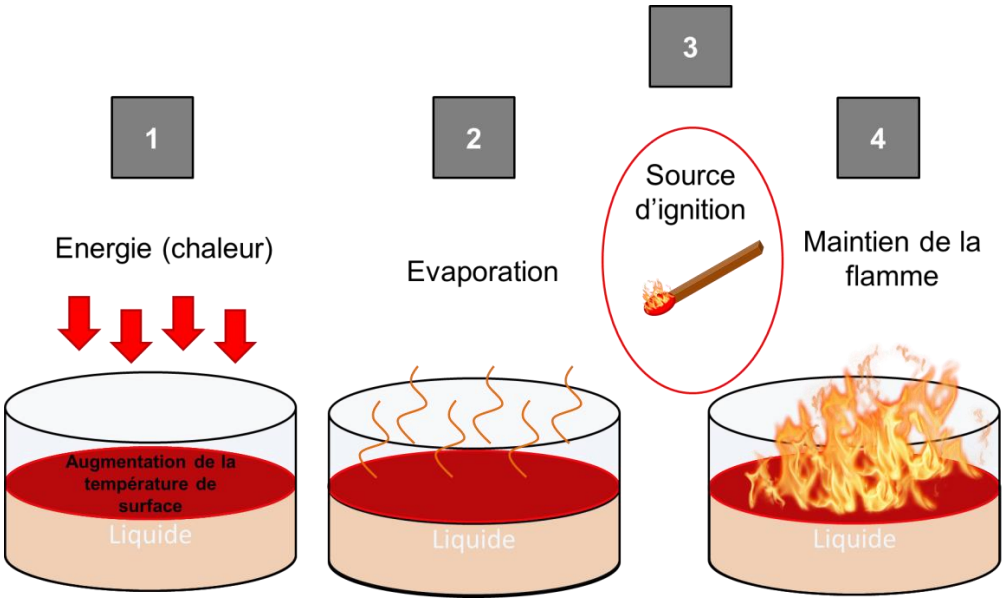
Incendie causé par des **combustibles liquides** ou **solides liquéfiables**. Les solides liquéfiables sont des combustibles qui, même solides, se liquéfient avant d'atteindre leur température d'inflammation (certains plastiques). L'une des principales caractéristiques de ces combustibles est qu'ils ne produisent pas de braises.

Comme les solides, les combustibles liquides ne brûlent pas, la flamme étant un phénomène de combustion visible en phase gazeuse ; dans le cas des liquides, ce sont les vapeurs générées par l'action de la chaleur qui brûlent.

L'Évaporation

Le *schéma* suivant illustre les notions essentielles pour comprendre comment une flamme se forme et se maintient à partir de l'évaporation de la matière combustible liquide.

Ce processus peut être décrit comme précédemment en <u>quatre étapes</u> :



1) **Echauffement de la matière**
   La matière voit sa température augmenter en surface par l'intermédiaire d'un transfert thermique.

2) **Evaporation de la matière**
   La matière voit sa température augmenter en son sein et débute son changement d'état en émettant des vapeurs inflammables.

3) **Inflammation des gaz**
   Lorsqu'une quantité de vapeurs suffisante est dégagée par la matière et mélangée à l'air. L'apport d'une source d'énergie suffisante permet alors l'inflammation du mélange ;

4) **Etablissement et maintien de la flamme**
   Suite à l'inflammation, la flamme est maintenue en surface si les vapeurs combustibles dégagés par la matière sont en quantité suffisante et si l'apport en air est suffisant et si les conditions thermiques sont adéquates.

Feux de classe **C**

Ce sont les **feux de gaz** ; c'est-à-dire que le combustible est directement en phase gazeuse contrairement aux feux de classe A et B dans lesquels, le gaz est produit lors de l'évaporation de combustibles solides ou liquides.

Produit ou généré par des substances gazeuses, telles que le propane, le butane, le méthane, l'hexane, le gaz de ville, etc.

Feux de classe **D**

Ce sont des incendies causés par les **métaux**. C'est une catégorie de feu très spéciale et l'extinction de ces feux est très difficile et dangereuse.

Ces incendies conduisent à des réactions chimiques complexes et généralement ce type de feux de métaux est capable de séparer l'hydrogène de l'eau, provoquant des explosions par combustion de ce gaz.

Leur extinction a besoin d'agents extincteurs spécifiques si possible sans eau : sable, poudre.

Feux de classe **F**

La classe F a été créé pour les feux liés aux **auxiliaires de cuisson (huiles et graisses)** dans les appareils de cuisson.

En effet, bien que ces feux soient à proprement parler de classe B, la présence généralement d'appareils sous tension dans le voisinage du feu et le besoin d'agents extincteurs compatibles avec la chaîne alimentaire ont nécessité la création de nouveaux extincteurs plus adaptés.

Ceux-ci contiennent des agents chimiques secs (par ex. acétate d'ammonium) qui ont le même effet que la mousse : ils étouffent le feu par la création d'un film (par saponification) à la surface du liquide.

Feux électriques

L'ancienne Classe **E** (feux électriques) n'est plus reconnue par la réglementation en vigueur parce que l'électricité n'est pas un combustible. Ce groupe comprenait tous les combustibles qui brûlent en présence d'équipements ou de câbles électriques sous tension.

Si l'énergie d'activation est l'électricité, le combustible qui définirait cette classe serait la classe A.

7.2. Forme du foyer

Par la forme du foyer, ou selon la répartition de la matière, les incendies peuvent être classés en :

- **Foyers plats**
- **Foyers verticaux**
- **Foyers alimentés**

Foyers plats

Quand un feu se manifeste sur le plan horizontal et l'arrangement du produit en feu n'est pas caché à l'observation ni à l'extinction depuis n'importe quel point, tel que : incendies de combustibles liquides (nappes), solides dispersés et proches.

Foyers verticaux

Lorsque le feu se manifeste dans plusieurs plans, horizontaux ou inclinés et verticaux ; ou lorsque plusieurs zones en combustion sont cachées à l'observation et l'extinction (exemples : balles de paille, empilement, etc.).

Foyers alimentés

Lorsque le feu, plat ou vertical, est entretenu par le combustible dans des réservoirs non touchés (exemples : citernes (fuites), tuyaux (fuites de gaz), etc.).

7.3. Surface / Volume affecté

Surface

Cette classification n'est utile que dans les incendies de forêt.
Les classifications suivantes peuvent être spécifiées :

Grade	Dénomination	Superficie en flamme
I	Jusqu'à 4 m2	Petit
II	4m2 à 10 m2	Moyen
III	10m2 à 100 m2	Grand
IV	100m2 à 1'000 m2	Important
V	1'000m2 à 5'000m2	Important
VI	5'000m2 à 10'000m2 (1Ha)	Important
VII	1Ha à 12Ha	Important
VIII	12HA à 100Ha	Important
IX	100Ha à 500Ha	Important
X	Plus de 5'000HA	Important

Volume

Feux naissants

C'est un **petit feu** qui peut être éteint rapidement avec des extincteurs standards.

Feux partiels

Ces incendies s'étendent sur une partie d'une installation, d'une maison ou d'un bâtiment. **Ce feu est très dangereux et pourrait se propager et devenir incontrôlable**, ce qui en ferait un feu généralisé. Dans ces cas, il n'est plus utile d'affronter le feu avec des extincteurs, des moyens plus conséquents sont à mettre en place.

Feux généralisés

C'est le feu qui est totalement **hors de contrôle** qui affecte complètement une maison, un bâtiment ou une installation. Il est presque impossible de le combattre, par conséquent les pompiers vont essayer qu'il ne s'étende pas aux autres bâtiments voisins.

7.4. Nature de la combustion

Comme vu précédemment (voir chapitre « La Combustion »), la nature de la combustion va dépendre de :

- **Mode de combustion** Avec ou sans flammes
- **Vitesse de combustion** Lente, vive ou instantanée
- **Type de combustion** Complète ou incomplète

Une combustion avec ou sans flamme influencera la rapidité de la propagation de l'incendie et donc la vitesse de combustion.

Lorsqu'une explosion intervient, d'autres problématiques que l'incendie peuvent apparaître, notamment dans la structure et la stabilité des édifices si une onde de choc puissante est produite par celle-ci.

Finalement, une combustion incomplète va générer de grands volumes de fumées qu'il va falloir prendre en compte dans l'évaluation de l'intervention.

7.5. Emplacement

Feux intérieurs

Les feux intérieurs se manifestent dans les volumes des bâtiments. Sans apport direct d'oxygène, les feux intérieurs vont générer passablement de fumées et de produits de combustion incomplets, toxique, inflammable et donc dangereux.

Feux extérieurs

Les feux extérieurs, sont ceux qui ont une manifestation visible à l'extérieur du bâtiment.

Ce sont ceux qui sont produits avec les matériaux en dehors des bâtiments ou ceux qui proviennent de l'intérieur et se manifestent avec des flammes vers l'extérieur par des portes ou des fenêtres.

Ils s'alimentent par l'oxygène de l'air extérieur, et auront donc une vitesse de propagation plus élevée.

Affectation

Les feux sont généralement associés au type de dangers liés à l'utilisation des locaux dans lesquels l'incendie se déclare. On parle alors de l'affectation des locaux :

- Maisons et bureaux
- Les industries
- Garages et parkings
- Hôpitaux et résidences pour personnes âgées
- Lieux de spectacles et magasins
- Entrepôts
- Voie publique (mobilier urbain, etc.)
- Bâtiments haut

8. Agents d'extinction

Définition et caractéristiques

Par agent extincteur, nous comprenons le produit qui, appliqué sur le feu, provoque l'extinction du feu lorsqu'il agit sur un ou plusieurs des composants du tétraèdre du feu.

A ne pas confondre avec l'extincteur, qui n'est rien de plus que le récipient contenant l'agent.

Il faut garder à l'esprit que des facteurs nombreux et variés affectent l'extinction d'un incendie, on ne peut donc pas dire a priori quelle est la tactique et l'agent le plus appropriés. Ce sera l'expérience et l'étude de tous ces facteurs qui indiqueront les choix à faire.

8.1. Eau

Parmi la diversité d'agents extincteurs connus, l'eau est assurément celui le plus employé par les sapeurs-pompiers, car elle est :

- ⇨ Abondante
- ⇨ Pratique d'emploi (il est possible de la déplacer sur de longues distances dans des tuyaux et la projeter avec force grâce aux pompes et aux lances) ;
- ⇨ Économique par rapport aux autres agents extincteurs (Poudre, CO_2, Halon, …)
- ⇨ Facile à stocker (à condition d'être hors gel)

Actions extinctrices .....

Les principaux effets d'extinctions de l'eau sont le **refroidissement** et l'**inertage, c**ependant l'eau possède d'autres modes d'extinctions qui sont tous liés :

- **L'Étouffement**

  La vapeur d'eau produite forme une barrière qui limite l'apport d'air aux flammes.
  > Action sur le comburant

- **Le Soufflage**

  Si l'eau est projetée violemment sur les flammes, l'écoulement des vapeurs combustibles dans l'air est perturbé comme lorsque l'on souffle la flamme d'une bougie.
  > Action sur l'émission des vapeurs inflammables, le combustible

- **La Dispersion**

  En jet plein, l'eau arrive avec force sur les matériaux en feu ce qui permet de les disperser.
  > *Action sur le combustible*

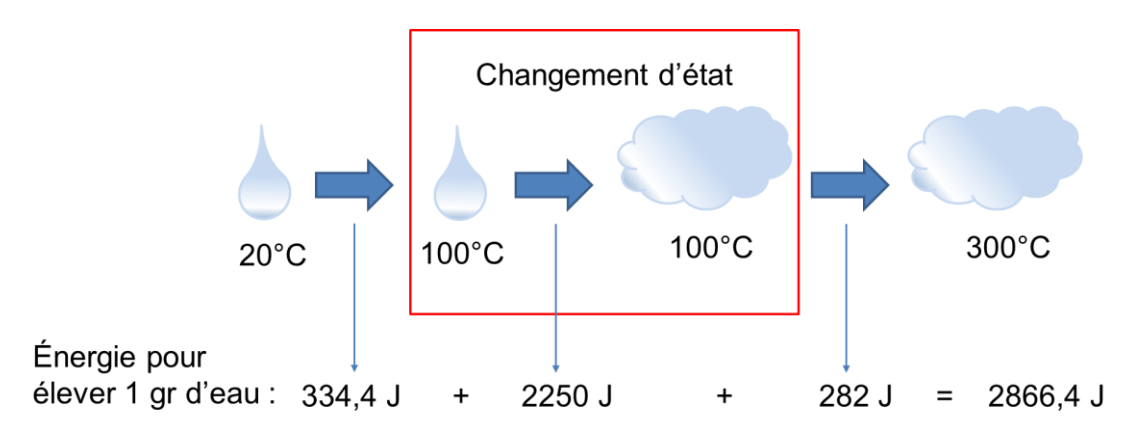
Le Refroidissement

On distingue 3 étapes dans le refroidissement par l'eau :

1) L'Énergie absorbée pour élever la température ambiante de l'eau à 100°C
> Changement de température sans changement d'état

2) L'Énergie absorbée pour transformer l'eau liquide en eau vapeur a une température de 100 °C
> Changement d'état de la matière sans changement de la température

3) L'Énergie absorbée pour élever la température de la vapeur au-delà de 100°C



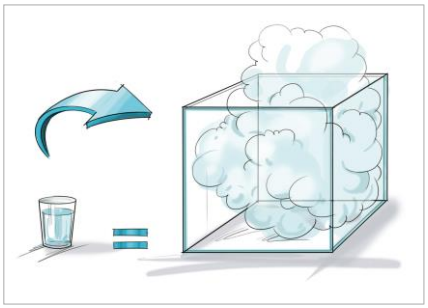
On constate que la plus grande capacité d'absorption d'énergie intervient dans la phase de changement d'état de l'eau, de liquide à gazeux.

L'objectif du sapeur-pompier sera de faire vaporiser l'eau de sa lance au contact du combustible. Ainsi, afin de faciliter l'échange thermique entre l'eau et la matière, il est important d'avoir une surface de contact la plus grande possible en divisant l'eau en fines gouttelettes.

L'Inertage

L'inertage est une procédure qui consiste à remplacer une atmosphère réactive (oxydante, inflammable, explosive) par un gaz inerte.

Un litre d'eau liquide produit 1'700 litres (1,7 m^3) de vapeur lors du passage de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur).



Nous comprenons dès lors que la projection d'eau dans la pièce en feu modifie les concentrations de gaz combustibles (fumées) puisque 1,7 m^3 de vapeur se forme par litre d'eau projetée en plus dans le volume (à 100 °C). (voir tableau ci-dessous)

Résultats

- ⇨ La concentration en gaz combustibles baisse jusqu'à passer en dessous de la L.I.I.
  > La vapeur d'eau étant incombustible, l'inertage du combustible se produit
- ⇨ La concentration en comburant (oxygène) baisse jusqu'à passer en dessous de 15%
  > La combustion n'est plus possible, l'inertage du comburant se produit

Volume de vapeur pour un litre d'eau en fonction de la température

100 °C	1722 litres
200 °C	2164 litres
300 °C	2645 litres
400 °C	3107 litres
500 °C	3568 litres
600 °C	4030 litres
1000 °	5876 litres

8.2. Émulseurs

Le terme EMULSEUR, bien qu'utilisé dans le domaine de la protection incendie, n'est pas répertorié comme tel dans tous les dictionnaires.

Larousse : **émulseur n.m**
Appareil servant à réaliser des émulsions.
Liquide qui, brassé avec l'eau, produit une mousse extinctrice.

Le mot EMULSIFIANT serait plus correct :

Le Robert : **émulsifiant n.m.**
Produit qui favorise la formation et la stabilité d'une émulsion.

Un émulseur est une préparation liquide concentrée qui se dilue dans l'eau au dosage d'emploi spécifié pour former de la solution moussante.
Dans l'industrie, il existe quasiment un émulseur par produit afin d'être le plus efficace possible. Pour les sapeurs-pompiers, il n'est pas envisageable d'avoir une telle diversité. C'est pourquoi, les émulseurs généralement utilisés par les professionnels du secours sont polyvalents, ce qui permet un emploi sur tous les types de produits : hydrocarbures ou produits polaires.

Même s'ils sont polyvalents, ces émulseurs, utilisés correctement, restent d'une bonne qualité et d'une bonne efficacité.

Tension superficielle

La tension superficielle, appelée aussi **tension de surface**, est une force qui existe au niveau de tout interface entre deux milieux : solide/liquide ou liquide/gaz par exemple.

Cette force peut s'expliquer par le fait que les molécules préfèrent être entourées par leurs congénères. Par conséquent, le système tend à minimiser la surface de contact entre les deux milieux. Autrement dit, le système veut prendre, pour un volume donné, la surface la plus petite possible.

⇨ Afin de diminuer cette tension et ainsi faciliter l'étalement de la mousse ou sa pénétration, cette tension peut être abaissée, notamment grâce à un **tensioactif**.

Tensioactif

Un tensioactif modifie de façon importante la tension de surface. Il est toujours composé d'une partie hydrophile et d'une partie hydrophobe permettant ainsi de lier deux éléments non miscibles.
Il en existe des milliers.

Dans un émulseur, les tensioactifs jouent <u>plusieurs rôles</u> :

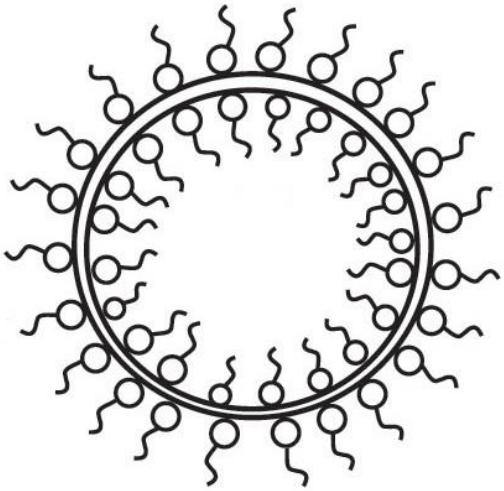
- Ils permettent la formation des bulles en emprisonnant un important volume d'air dans un faible volume de solution.
- Il donne à la mousse des propriétés différentes :
  - Pour des émulseurs de classe **A** :
    Une meilleure pénétration de la solution moussante dans la matière. D'où le terme mouillant.
  - Pour des émulseurs de classe **B** :
    Un meilleur étalement de la mousse sur le produit.

Afin de mieux comprendre, voici un tensioactif qui est représenté par une tête ronde, et une queue allongée :

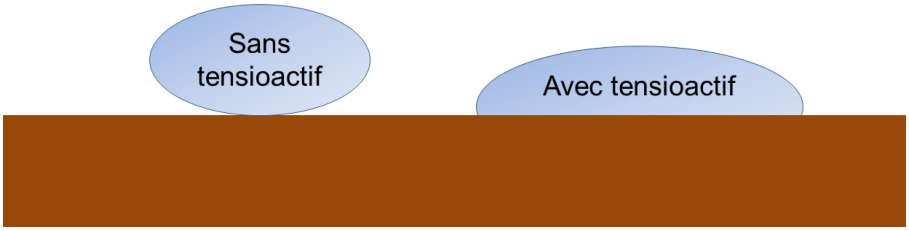
La tête, ici le cercle vert, est dite **hydrophile**, c'est-à-dire qu'elle s'entoure facilement de molécules d'eau, et qu'au contraire elle repousse tout ce qui ressemble à de l'huile ou du gras.

La queue, constituée d'une longue chaîne carbonée, est dite **hydrophobe**, et contrairement à la tête, elle repousse l'eau et s'entoure de molécules de graisse.

Voici la disposition du tensioactif avec une bulle de mousse :



Exemple de l'effet d'un tensioactif sur une goutte d'eau :



Le tensioactif le plus répandu pour les feux de classe B, était le **fluor** durant de longues années. Cependant, depuis 2006, leur utilisation est restreinte dans le monde entier.

La Convention de Stockholm a classé les produits fluorés et leurs substances dérivées comme Polluants Organiques Persistants (POP).

En 2017, la Commission européenne a adopté d'autres restrictions supplémentaires, ce qui à amener les producteurs d'émulseurs à trouver d'autres alternatives plus écologiques avec des **dérivés fluorés de dernières génération moins polluants**.

Types d'émulseurs

Il existe une multitude d'émulseurs différents. Seuls les principaux sont répertoriés dans ce tableau.

Classe de feu	Type	Spécificité	Descriptif
A	**Synthétiques**		Ces émulseurs sont généralement appelés **mouillants**, dopants ou additifs et se présentent sous forme liquide. Ils sont dédiés aux feux de solides. (voir schéma ci-dessous)
B	**Protéiniques**	**Ordinaires**	**Mousse** lourde, décantation lente.
		Fluoroprotéiniques	Adjonction de **fluor**, meilleure résistance à la contamination.
		FFFP	**Film Flottant Fluoré Protéinique** Création d'un film aqueux (croûte) lors du contact avec le produit qui permet de stopper les vapeurs.
		FFFP-AR (polyvalent)	**Film Flottant Fluoré Protéinique – Alcool Résistant** Ce produit convient aux produits polaires.
	Synthétiques	**Ordinaires**	**Mousse** ayant des caractéristiques standards.
		Fluorosynthétiques	**Adjonction de fluor**, meilleure résistance à la contamination.
		A3F (AFFF)	**Agent Formant un Film Flottant** Création d'un film aqueux lors du contact avec le produit qui permet de stopper les vapeurs. Ne convient pas pour les produits polaires.
		A3F-AR (polyvalent)	**Agent Formant un Film Flottant – Alcool Résistant** Ce produit convient aux produits polaires.
		A4P (APPPP)	**Agent Produisant une Pellicule Protectrice Polyvalente** au contact de produit polaire.

Les **émulseurs synthétiques** sont issus de l'industrie chimique, alors que les **émulseurs protéiniques** sont eux issus d'une décomposition de protéines animales (cornes, sabots) ou végétales.

La protéine subit encore une série de modifications, notamment l'ajout de fer et de magnésium, avant d'être conditionnée dans un émulseur.

La mousse venant de cet émulseur va créer une croûte protéinique au contact du feu.

Effet du mouillant sur les matériaux solides

SANS produit mouillant

⇨ L'eau ruisselle, elle reste sous la forme de gouttes à la surface et ne pénètre pas.

AVEC produit mouillant

⇨ L'eau s'étale et peut mieux pénétrer dans les matériaux solides en feux.

Eau et épaississants ou agents visqueux .....

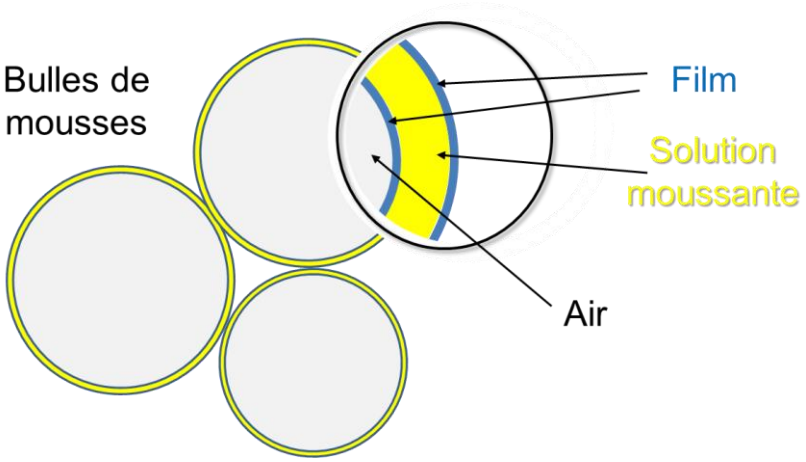
Les épaississants parviennent à augmenter la viscosité de l'eau (en augmentant sa tension superficielle) ce qui diminue sa capacité à s'écouler.

Ces produits sont utilisés dans la lutte contre les incendies de forêt et pour que l'eau flotte sur des liquides inflammables insoluble. L'eau épaissie adhère plus au matériau et forme une couche continue épaisse à la surface du combustible.

Ces additifs, toxiques, peuvent transformer l'eau en gel à haute adhérence.

8.3. Mousses

La mousse est une émulsion obtenue par un **mélange entre de l'eau, un émulseur et de l'air** donnant un assemblage de bulles d'air enveloppées dans une paroi aqueuse.



La **mousse chimique**, n'est pas abordée dans ce document car elle n'est pas utilisée par les sapeurs-pompiers.

La mousse chimique est obtenue par la réaction d'un mélange entre un acide, une base et un « moussant », donnant du gaz carbonique, de l'eau et un sel neutre de soude.

Action extinctrice

L'utilisation première d'un agent moussant est dédiée à l'extinction d'un feu de classe **B**. Le but est d'amener cette solution moussante au-dessus du liquide enflammé.

La façon dont la mousse va agir sur un liquide en feu est dépendante du type d'émulseur.
Elle peut agir par :

- **Isolation**

  Elle empêche l'action de l'air (comburant) et dans le cas d'un émulseur A3F ou A4P, bloque l'émission de vapeur.

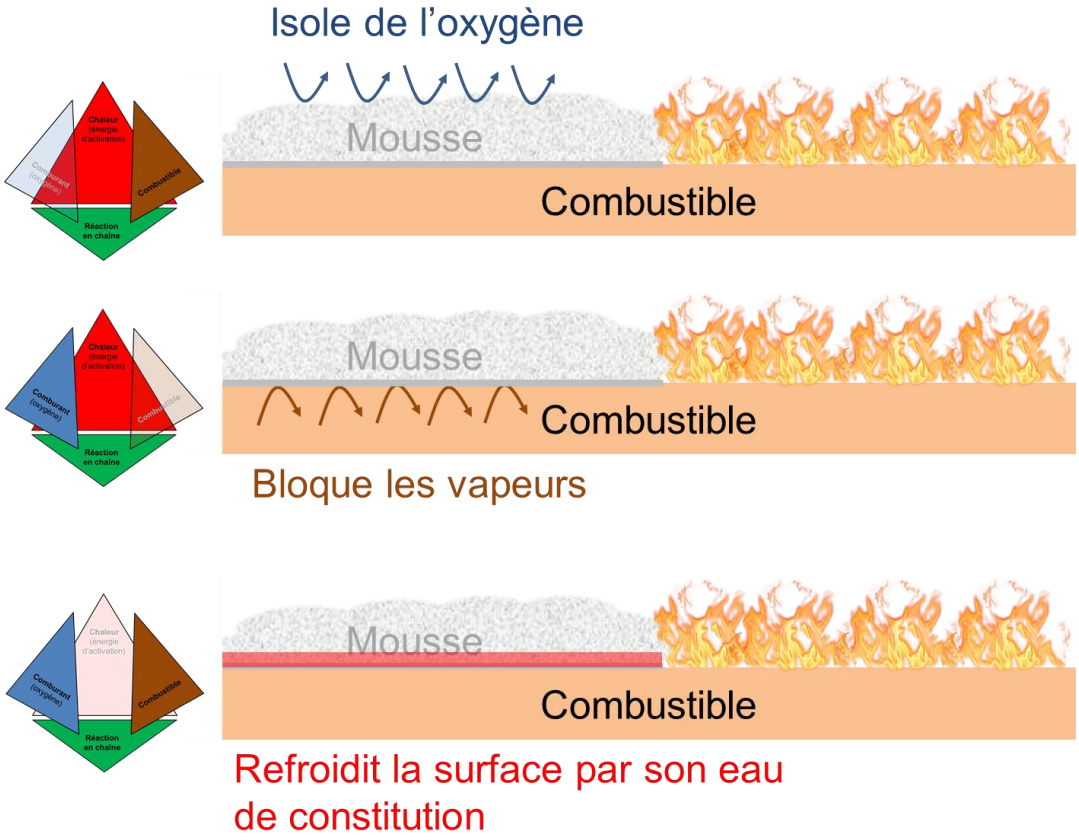
- **Refroidissement**

  L'eau contenue dans les bulles décante et s'évapore, diminuant l'énergie dégagée par la combustion.

- **Inertage**

  Dans le cas d'une mousse légère utilisée dans un milieu clos, l'évaporation de l'eau contenue dans les bulles diminue la teneur en O_2.

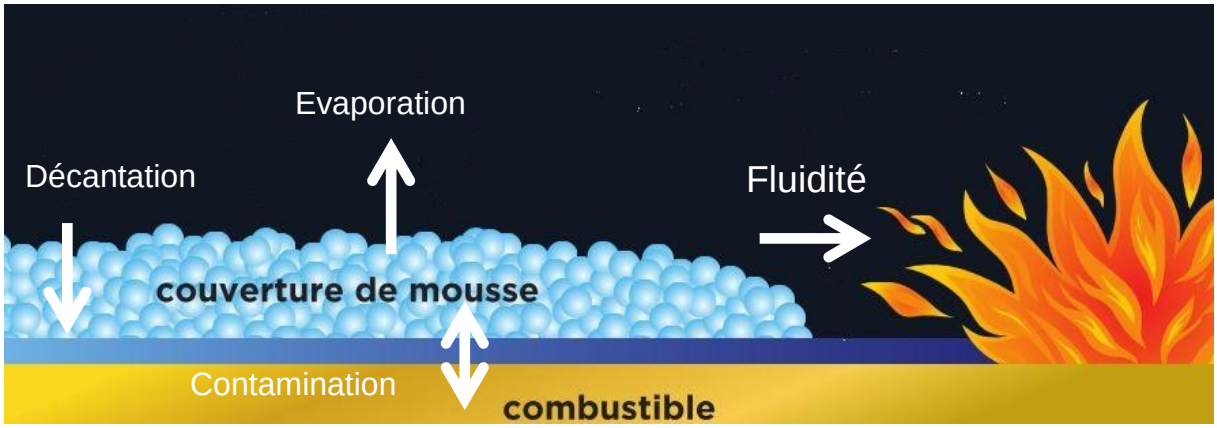
Agissement de la mousse à l'aide d'un émulseur produisant un film ou un gel flottant :



Propriétés des mousses

La qualité d'une mousse peut être jugée par de nombreux critères indépendamment de son homologation. Quatre sont intéressants pour les sapeurs-pompiers :

- **La Décantation**
- **La Contamination**
- **L'Évaporation**
- **La Fluidité**



Cette illustration résume les quatre qualités recherchées dans une mousse.

La Décantation

La mousse a tendance à se détruire pour revenir à son état initial de solution moussante.
Trois phénomènes provoquent cette décantation :

- L'irrégularité de la taille des bulles
- L'amincissement du film de la bulle
- La rupture du film de la bulle

Le pouvoir de rétention de cette solution moussante dans l'enveloppe de la bulle se traduit par le temps de décantation. Dans les fiches techniques d'un émulseur, le temps de décantation est spécifié.

Exemple : « **Décantation 25% : 7min** »
Cela correspond au temps (7 min) que la mousse aura mis pour abandonner 25% de son eau.

Un temps court n'est pas forcément un indice de mauvaise performance car pour un agent filmogène, c'est-à-dire qui isole le produit inflammable par la création d'un film, ce dernier est généré au cours de la décantation (et du contact entre la mousse et le produit).

La Contamination

Lorsque la mousse entre en contact avec le produit, elle se contamine. Cette contamination peut être plus ou moins importante en fonction de la technique d'application, de la qualité de l'émulseur ou de la nature du produit.

Une bonne mousse, donc un bon émulseur, ne sera que très peu contaminée et permettra une application directe sur les hydrocarbures. Sauf si la situation l'impose, l'application sur un produit polaire s'effectue toujours en mode indirect.

L'Évaporation (résistance à la chaleur)

Le rayonnement, la convection et la conduction sont les trois phénomènes qui détruisent la mousse. Bien que les deux premiers phénomènes soient logiques, la conduction l'est un peu moins sachant que l'on considère qu'un liquide en feu est froid.

Pour de l'essence ou un produit polaire, l'évaporation du liquide en feu est de l'ordre de 1 à 2 mm par minute. Ce qui ne laisse pas le temps à un produit de mont er en température.

A contrario, pour un produit dit « lourd » (forte densité et viscosité, point éclair bas), sa combustion est lente et monte doucement en température. Une transmission horizontale de la chaleur se produit, de l'ordre de 50 cm par heure. Le problème de résistance à la chaleur est bien présent pour ce type de produit.

Dans le cas d'un feu de bac, la conduction se propage également par les parois métalliques chaudes. Si le bac est quasi vide, l'échauffement d'un liquide (hydrocarbure ou produit polaire) se fait rapidement !

La Fluidité

Une bonne fluidité d'une mousse lors de son application permet une couverture rapide. Dans le cas d'une mousse filmogène, le terme « coefficient d'étalement » est employé. Il qualifie la capacité de formation d'un film flottant d'eau sur les hydrocarbures.

Ce coefficient est l'expression de la différence entre la tension superficielle du cyclohexane (produit de référence) et la somme des tensions superficielles et inter faciales de la solution moussante. Plus le coefficient est élevé, plus la formation du film est possible.

Recommandations

- **Compatibilité**

Le mélange d'émulseurs ne fait pas bon ménage ! Il est fortement déconseillé de les mélanger, sauf préavis favorable du fabricant.

En revanche, des mousses différentes peuvent être utilisées sur un même sinistre. Cependant, il faut rester très vigilant face à leurs propriétés. Si le but recherché est une mousse filmogène et que celle-ci a besoin du contact avec le produit pour sa mise en œuvre (cas du SFPM 3/6), il ne faut pas contrarier cette réaction en interposant une mousse au comportement différent !

- **Stockage**

Toujours contrôler sur la fiche technique les caractéristiques afin d'adapter le lieu du stockage. Par exemple, s'assurer que l'émulseur résiste au gel ou à des températures élevées s'il est entreposé à l'extérieur. Garder également l'émulseur dans un récipient fermé.

- **Effet corrosif**

Les mousses sont des produits plus au moins corrosifs avec des métaux usuels (aciers doux, laiton, alliages légers, etc.).

- **Rinçage**

La solution moussante et la mousse collent ! De ce fait, il faut rincer à l'eau clair pendant quelques minutes afin de nettoyer tous les éléments qui ont été au contact d'une solution moussante (pompe, mélangeur, tuyaux, lance, etc.). Les vannes des lances restent ouvertes lors de leurs rangements.

- **Contact**

Attention, les émulseurs, la solution moussante voir les mousses sont potentiellement dangereux pour la santé. Eviter le contact prolongé avec la peau. Se rincer à l'eau en cas de contact.

Le port de lunette de protection est indispensable lors de la manipulation d'émulseurs !

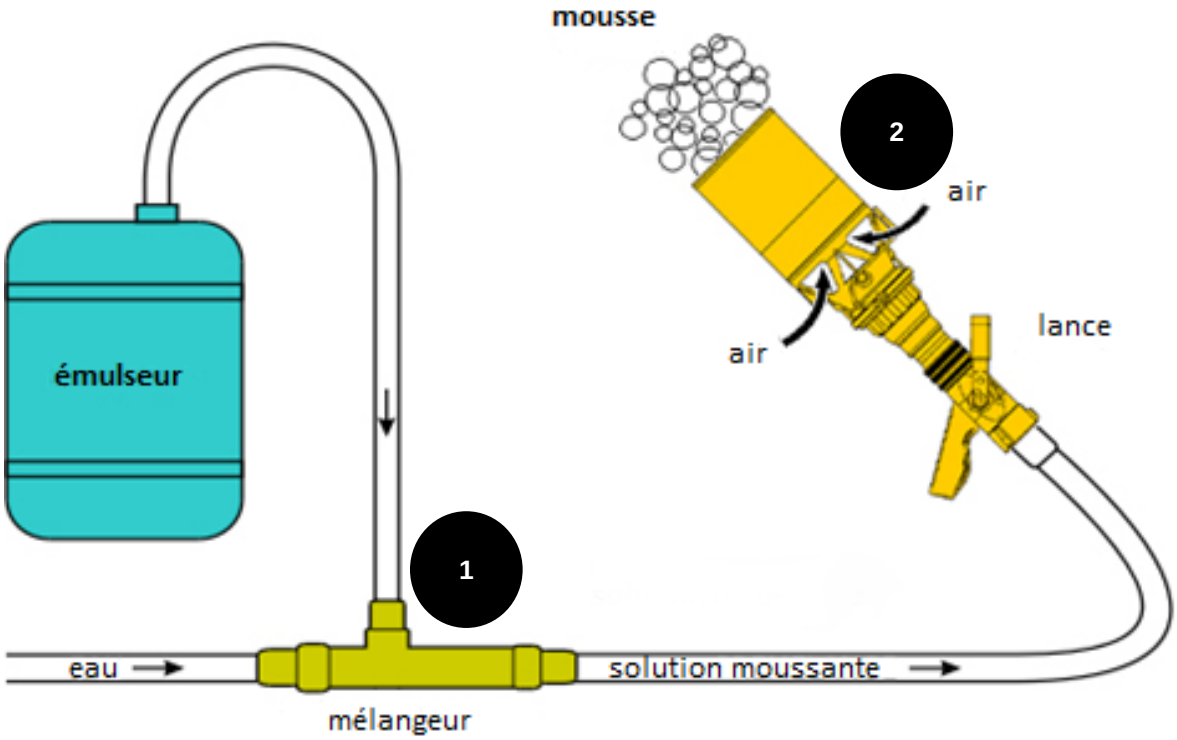
Respecter les consignes de sécurité fournies par les fabricants.

Obtention de la mousse

Comme écrit plus haut, **la mousse est le produit fini**.
Pour l'obtenir, il faut nécessairement passer par deux étapes.

1) Diluer un émulseur dans de l'eau afin d'obtenir une solution moussante

2) Ajouter de l'air à la solution moussante



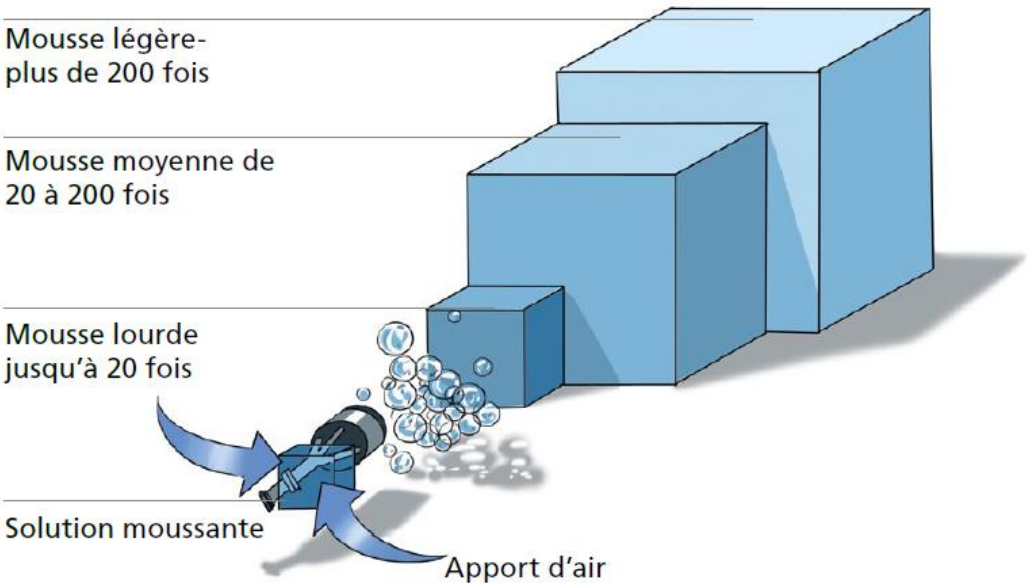
Le Foisonnement

Le foisonnement est le rapport entre le volume de solution moussante [ℓ/min] et le volume de mousse obtenu [dm^3/min].

C'est la quantité d'air qui permet de faire varier ce rapport.
Plus il y a d'air, plus le foisonnement est élevé.

Le résultat de ce rapport permet de classifier le genre de mousse. Il en existe trois :

- **Mousse lourde** (bas foisonnement) : ≤20
- **Mousse moyenne** (moyen foisonnement) : ≥20 à ≤200
- **Mousse légère** (haut foisonnement) : ≥200



Le foisonnement dépend de deux éléments :

- La nature de l'émulseur
- Le type de lance ou de générateur utilisé

Plus le foisonnement est élevé et plus les bulles sont grosses. Plus les bulles sont grosses et plus elles sont fragiles !

⇨ Le choix du genre de mousse à utiliser découle de la typologie de l'intervention.

La mousse lourde

La mousse à **bas foisonnement** est généralement utilisée pour l'extinction de feux d'hydrocarbure et de produits polaires.

Le tapis qu'il forme s'élève d'environ **10 cm**.

Sa densité plus élevée permet une grande portée, soit une vingtaine de mètres avec une lance à main et une soixantaine pour une lance-canon.

Les lances mousses lourdes sont reconnaissables par leurs formes allongées et se caractérisent par une petite entrée d'air.

La mousse moyenne

La mousse à **moyen foisonnement** est utilisée pour consolider un tapis préventif, d'extinction ou pour de l'extinction sur des surfaces restreinte.

L'épaisseur du tapis peut-être jusqu'à **50 cm** en fonction du foisonnement.

La portée de la lance est d'un ou deux mètres au maximum, la mousse moyenne devra donc être déposée plus que projetée.

Les lances mousses moyennes sont reconnaissables par une forme de gros cylindre et une entrée d'air importante.

A noter que certains modèles de lance à main peuvent être multi-foisonnements.

Ils peuvent créer soit de la mousse moyenne, soit de la mousse lourde.

La mousse légère

La mousse à **haut foisonnement** est utilisée dans les espaces clos et des locaux abritant des risques mixtes. Elle n'est pas créée par une lance mais par un ventilateur appelé : générateur.

La **hauteur** du tapis peut être **très importante** puisque le but est de remplir un volume.

La portée de la mousse légère est nulle. De par sa très faible densité, elle est également très sensible au vent et se détruit rapidement au contact du feu.

Pour obtenir de la mousse légère, le volume d'air nécessaire est très important. Le ventilateur intégré dans le générateur permet d'amener un grand volume d'air. La solution moussante est pulvérisée par des petites buses et la formation des bulles se fait grâce à un tamis en textile.

8.4. Poudres

Poudre BC (feux de classes **B** et **C**)

Elle est composée principalement de bicarbonate de sodium ou de bicarbonate de potassium (**85-95%**) qui sous l'effet de la chaleur se décomposent en donnant notamment du CO_2. Elles ont également une action inhibitrice sur la réaction en chaîne au sein de la combustion.

On leur adjoint souvent des produits afin de la rendre moin volatile et afin d'éviter que la poudre ne s'agglomère sous l'effet de l'humidité.

La plupart de ces poudres sont également dotées de pigments bleus ou violets.

Ils sont presque exclusivement destinés au **secteur de l'automobile ou de l'industrie**.

Poudre ABC (feux de classes **A**, **B** et **C**)

Elle est composée principalement (jusqu'à **95%**) de phosphate ou sulfate d'ammonium, de phosphate monoamonique ou de carbamate ou bicarbonate de sodium. Les sels d'ammonium, outre de dégager du CO_2 et d'être de meilleurs inhibiteurs que ceux de sodium/potassium, ont la propriété de fondre sous l'effet de la chaleur et de former à la surface des solides une croûte les isolant de l'air. C'est ce qui rend cette poudre utilisable aussi bien sur les feux de classe A, B ou C.

On leur adjoint souvent des produits afin de la rendre moin volatile et afin d'éviter que la poudre ne s'agglomère sous l'effet de l'humidité.

Certaines de ces poudres sont également dotées de pigments bleus ou jaunes.
Ce sont les extincteurs les plus polyvalents et les plus vendus.

Poudre D (feux de classe **D**)

Elle est principalement composée (**80-90%**) de carbonate ou chlorure de sodium et de phosphate de calciumet de la poudre de ciment, du laitier, des grenailles de fonte qui aident à former une croûte en fondant ainsi que des produits pour la rendre moin volatile et afin d'éviter que la poudre ne s'agglomère sous l'effet de l'humidité.

On rencontre ce type de poudre dans des environnements spéciaux : **industries, laboratoires, etc.**, bien que les transports et la construction utilisent de plus en plus de métaux inflammables.

En raison du caractère très particulier des feux de métaux, la poudre D sert principalement à isoler le feu sous une croûte afin d'éviter sa propagation et dans le meilleur cas de l'étouffer. La composition de la poudre va ainsi dépendre du métal particulier à éteindre.

8.5. Gaz

Les gaz peuvent être stockés sous pression, partiellement liquéfié ou liquéfié. Le dioxyde de carbone CO2 peut également être solidifié mais cela n'a pas d'intérêt en termes de lutte contre les incendies.

Les gaz se rependent dans les volumes qu'on leur offre avec une grande facilité. Ils ne laissent souvent pas de traces ou résidu, et sont principalement utilisés à l'intérieur des bâtiments, notamment dans des installations fixes de protection incendie (cuisines, serveurs informatiques)

Les gaz les plus courants sont l'azote, le dioxyde de carbone, les hydrocarbures halogénés (halons) et autres gaz inertes.

Azote

Caractéristiques et propriétés

- C'est un gaz incolore, inodore et insipide.
- Il est très stable aux températures élevées qui se produisent dans les incendies (de 700 °C à 1 330 °C).
- Il n'est pas toxique mais suffocant, car il déplace l'oxygène et diminue sa concentration (déplétion).
- Il n'est pas corrosif.
- Ne laisse aucun résidu.

Dioxyde de carbone

Caractéristiques et propriétés

- C'est un gaz à faible coût.
- À température ambiante, il est incolore, inodore et insipide.
- Il est facilement liquéfiable (par compression et refroidissement) et est transporté et stocké dans des récipients sous pression.
- Lorsqu'il est retiré des conteneurs, il se transforme en gaz et absorbe de grandes quantités de chaleur (rejets à des températures inférieure à -40 ºC) – en se développant, il crée un nuage blanc (neige carbonique) à -79 ºC.
- Il est 1,5 fois plus lourd que l'air.
- Il n'est pas corrosif.
- Ne laisse aucun résidu.
- Dans une très moindre mesure, il agit par refroidissement au vu de sa température de sortie de **-79 °C**

Halons

Les hydrocarbures halogénés sont des hydrocarbures dans lesquels les atomes d'éléments halogènes se substituent aux radicaux hydrogène.

Ce sont des gaz produits industriellement à partir de méthane (CH_4) et éthane (CH_3). Substitution d'un atome d'hydrogène par un autre élément (chlore, fluor et brome) donne lieu à ces composés halogénés et passent de gaz inflammable à agents d'extinction.

Caractéristiques et propriétés

- Haute densité à l'état liquide.
- Ils ne laissent pas de résidus.
- Ils contiennent des éléments appelés « halogènes » d'où leur nom Halon.
- Le Chlore, le Brome et le Fluor sont des halogènes qui composent les halons
- Les halogènes participent à modifier le point d'ébullition et à augmenter la stabilité des halons à la chaleur.
- Soumis à des températures extrêmes, les halons peuvent se décomposer et libérer les halogènes qui le composent (Chlore, Fluor, Brome) et ces halogènes libérer sont très toxiques.

Le mécanisme principal d'extinction est l'inhibition, par action catalytique négatif (casse la réaction en chaîne). Il agit également par étouffement, en diminuant fortement la concentration d'oxygène alimentant le feu.

Autres gaz inertes

En raison de la pollution produite par l'utilisation d'hydrocarbures halogéné, l'industrie chimique à produit une série de nouveaux agents extincteurs qui ont les principales propriétés des halons et n'ont pas son degré de pollution.

Le résultat a été l'apparition de nouveaux composés chimiques appelés agents propres (halocarbures), mélanges de gaz inertes :

- **Inergen** – nom commercial d'un mélange d'azote, Argon et CO_2
- **Argonite** – nom commercial d'un mélange à 50% Azote et Argon
- **Argon 100%**

Les gaz inertes agissent principalement par déplétion de l'oxygène de l'air qui alimente le feu (inertage du comburant).

La diminution de la teneur en oxygène lors de l'extinction par gaz impose le port d'un appareil respiratoire isolant.

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
- Guide de techniques opérationnelles – Etablissements et techniques d'extinction – Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises
- Règlement connaissance de base – Coordination suisse des sapeurs-pompiers
- Analyse de la fumée et de l'incendie – Flash Formation – Steve Brisebois, Martin Fournelle
- Compréhension du système feu – feu urbain – Alpha T^2 – Nicolas Struski
- Wikipedia – Combustion, flamme
- Norme ISO13943 :2017(fr)
- ALSP, La mousse, Cpl Mautone
- ALSP, La combustion, Sgt Barbey
- ALSP, Les extincteurs, Cpl Rey
- ESPPG : Introduction à la chimie, Notions de base Cap Tschopp
- Bréviaire du spécialiste NRBC SIS Cap Tschopp
- Principes de chimie, Atkins & Jones 4ième édition de boeck
- Introduction à la chimie, Curchod, Gonthier, Miéville, Risse, Editions LEP