



ASSOCIATION DÉPARTEMENTALE-MÉTROPOLITAINE DES JEUNES SAPEURS-POMPIERS

UV J.S.P. 2

Module : INC



Version 4



I. GENERALITES / DEFINITIONS :

Qu'est-ce que le feu ? :



Le feu est la manifestation visible de la combinaison d'un corps combustible avec un corps comburant en présence d'une énergie d'activation.

Cette combinaison s'appelle **la combustion**.

Combustible + comburant + énergie d'activation =



Cette combustion est caractérisée par une émission de chaleur accompagnée de fumées, de flammes ou des deux.

Dans l'ISO 13943 (norme internationale), le feu fait référence à un processus de combustion auto-entretenu pour produire des effets utiles et dont le développement est maîtrisé dans le temps comme dans l'espace.

La combustion : est une réaction **exothermique** qui résulte de la combinaison de deux corps sous l'effet d'une énergie d'activation.

La combustion est une réaction chimique induisant la présence de réactifs (le combustible et le comburant) et la nécessité d'un initiateur (apport d'énergie).

Des produits de combustions résultent de cette réaction qui dégage également de l'énergie sous forme de chaleur.

Cette phrase peut être résumée par un outil pédagogique et visuel courant : le triangle du feu (cf. chapitre II).

Exothermique : se dit d'une transformation qui dégage de la chaleur.



Un incendie : c'est un feu qui échappe au contrôle et à la maîtrise de l'Homme dans l'espace et le temps.

Pyrolyse : processus de dégradations irréversibles de matières sous l'effet de la chaleur.



Les produits de combustion :

Les fumées correspondent à l'ensemble visible des particules solides (suies, poussières, particules fines, etc.) et/ou liquides en suspension (eau, etc.) et des gaz résultant d'une combustion ou d'une pyrolyse. Ces fumées sont plus ou moins diluées dans l'air ambiant.

Les gaz résultant de la combustion sont généralement :

- ↗ Le dioxyde de carbone (CO₂)
- ↗ Le monoxyde de carbone (CO)
- ↗ Le cyanure d'hydrogène (HCN)
- ↗ L'acide fluorhydrique (HF)
- ↗ L'acide chlorhydrique (HCl)
- ↗ La vapeur d'eau
- ↗ Etc.

La nature de ces derniers est intimement liée à la composition des matériaux impliqués dans la combustion (cynaure d'hydrogène, chlorure d'hydrogène, oxyde nitreux, hydrocarbures, etc.). ces gaz de combustion contiennent souvent des gaz combustibles imbrûlés.

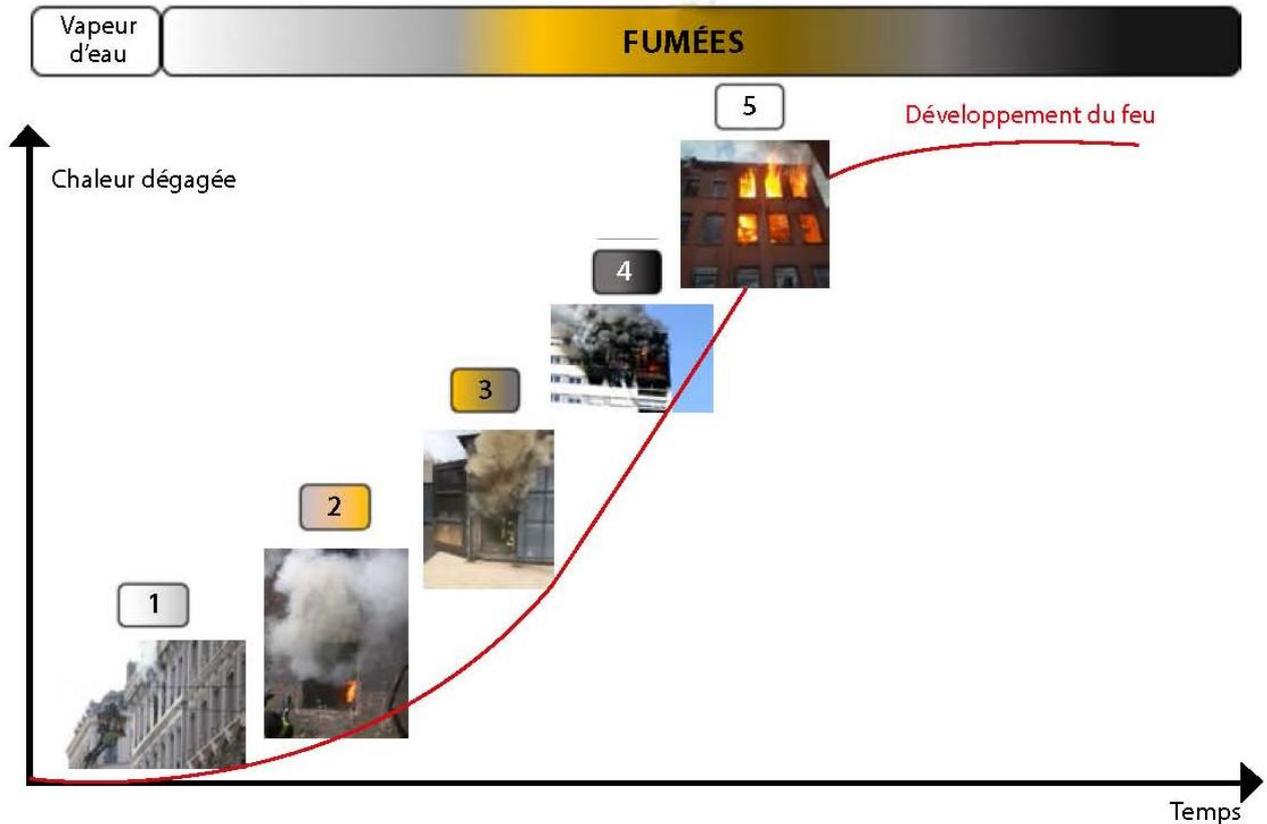
Les dangers associés aux fumées sont :

- ↗ Inflammabilité, explosivité,
- ↗ Toxicité, corrosivité,
- ↗ Emissions de particules,
- ↗ Opacité,
- ↗ Rayonnement,
- ↗ Envahissement et mobilité,
- ↗ Chaleur,

Les fumées peuvent se présenter sous différentes couleurs :

Il est à noter qu'il ne s'agit que d'indicateurs. Les couleurs, sur le schéma de la page suivante, ne sont pas exhaustives. Suivant les matériaux en combustion, certains dégageront plus rapidement et plus facilement des fumées noires (pneumatiques, PVC, etc.) dès le début.

Pour les feux de végétaux, les fumées peuvent être très blanches car le combustible est chargé d'eau (il s'agit de matières organiques).



- | | |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Les fumées sont claires (évaporation de l'eau), traduisant un réchauffement significatif. |
| 2 | Les fumées brunissent (pyrolyse), l'évaporation est terminée, les matériaux se dégradent. |
| 3 | Les fumées deviennent grisâtres, les combustibles dégagent beaucoup de carbone et peuvent traduire un manque d'o ₂ . |
| 4 | Les fumées deviennent noires et foncées, chargées de carbone. |
| 5 | Une fois le plein développement atteint, il n'y a plus de fumées. |

Pour les feux de structures, compte tenu qu'il y a peu d'eau, les fumées claires peuvent indiquer la présence de gaz de pyrolyse. Le dégagement gazeux très blanc, serait alors la vapeur d'eau d'extinction.

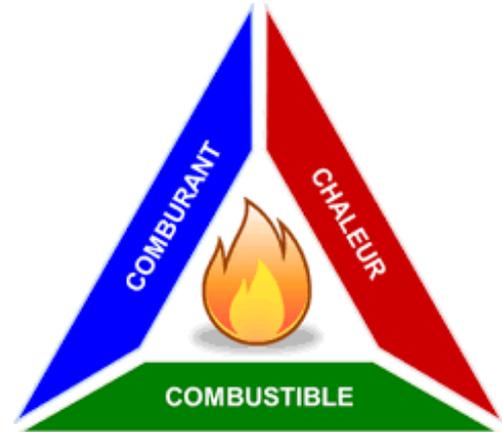
L'évolution des couleurs de fumées est un indicateur essentiel à prendre en compte par le sapeur-pompier pour la lecture de feu.

Le changement de couleur et/ou la présence de gaz clairs parmi des fumées noires indique que tout n'est pas oxydé. Un apport soudain d'air peut représenter un danger pour les sapeurs-pompiers et engendrer une augmentation significative de la puissance du feu.



II. TRIANGLE DU FEU :

Traditionnellement le phénomène de feu est schématiquement représenté par le triangle du feu dont les trois côtés symbolisent les **trois éléments** nécessaires à une combustion.



A. COMBUSTIBLE :

On dit qu'un corps est **combustible** lorsqu'il a la propriété de "brûler".

Contraire : incombustible.

→ Sont dits "**inflammables**" les corps combustibles qui s'allument au contact d'une flamme.

→ Sont dits "**inflammables**" ceux qui, tout en étant combustibles, cessent de brûler lorsqu'ils ne sont plus soumis à l'action de la chaleur : exemple la laine.

Le corps peut se présenter sous les trois états de la matière :



Solide



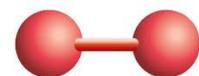
Liquide



Gazeux

B. COMBURANT :

Au niveau du **comburant**, un seul est à considérer c'est : l'oxygène de l'air.



Il faut au minimum 16 % d'oxygène pour alimenter un feu.
Celui de l'air est d'environ 21 %.



C. L'ÉNERGIE D'ACTIVATION :

Source de chaleur nécessaire pour activer une combustion. Elle peut avoir des origines diverses :

- ↪ Thermique : flammes, bout rouge de cigarette, foudre, etc.,
- ↪ Électrique : étincelle, électricité statique,
- ↪ Biologique : fermentation,
- ↪ Mécanique : frottement, choc, compression, etc.,
- ↪ Chimique : réaction exothermique,

III. TYPES DE COMBUSTION :

Nous distinguons différents types de combustion caractérisée par leur vitesse de réaction :



A. LENTE :

C'est une combustion qui entraîne une faible élévation de la température, une absence de flamme et peu de phénomènes lumineux (ex : les braises d'un feu de bois).

Il existe aussi une combustion « très lente » appelée « spontanée » (ex : la fermentation, la rouille).



B. VIVE : RAPIDE :



C'est une combustion rapide caractérisée par une forte élévation de la température, des flammes visibles, des phénomènes lumineux et l'émission de gaz et de fumées (ex : incendie).

Nous parlerons de « flamme de diffusion ». C'est la flamme la plus courante. Elle consomme rapidement la quantité en O₂ qui est disponible.



C. TRES RAPIDE : DEFLAGRATION :

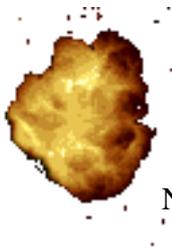
Elle est caractérisée par la vitesse de déplacement du front de flamme qui est inférieure à la vitesse du son, une forte élévation de la température, puis une certaine pression qui crée une onde de surpression.

Une « flamme de pré-mélange » est une combustion très vive.

Nous sommes dans le 1^{er} régime de l'explosion.



D. INSTANTANEE : DETONATION :



Elle est caractérisée par la vitesse de déplacement du front de flamme qui est supérieure à la vitesse du son, une forte élévation de la température, puis une certaine pression qui crée une onde de choc.

Nous sommes dans le 2^{ème} régime de l'explosion.

E. COMBUSTION COMPLÈTE :

Elle se traduit par un maximum de chaleur et un dégagement de fumées peu importantes lorsque celle-ci a lieu dans un volume suffisamment aéré.



F. COMBUSTION INCOMPLÈTE :

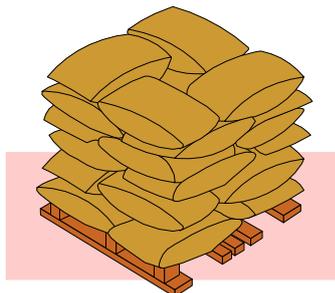


Elle produit beaucoup de fumées et de monoxyde de carbone lorsqu'il y a un déficit en oxygène.

A l'inverse, trop d'oxygène cause un faible dégagement de fumées.

G. FACTEURS AFFECTANT LA VITESSE DE COMBUSTION :

→ **État de division de la matière :** la combustion est fonction du rapport/volume du combustible.



→ **Disposition de la matière et des matériaux :** la vitesse de propagation dépend des facteurs géométriques, mais aussi de la disposition dans l'espace et par rapport à d'autres éléments.

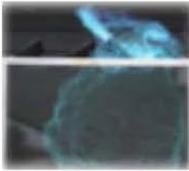




→ **La température** : la vitesse des réactions d'oxydation est approximativement doublée pour chaque élévation de 10° C.

→ **Autres facteurs** : humidité, teneur en oxygène.

H. LES DIFFERENTES FLAMMES :

Types de combustion			
Lente	Vive	Très vive	Instantanée
Pas de flamme	Flamme de diffusion	Flamme de pré-mélange déflagrante	Flamme de pré-mélange détonante
			Détonation Vitesse de la flamme > 340m/s 

1. Flamme de diffusion :

La flamme de diffusion est celle que nous rencontrons le plus souvent. Elle est jaune et vacillante. Le combustible et le comburant ne sont pas mélangés avant la mise en contact avec une énergie d'activation. Par exemple, la flamme d'une bougie.



Elle libère de nombreux déchets signe d'une mauvaise combustion appelée « combustion incomplète ».

Nous pouvons en déduire que les incendies que nous rencontrons sont constitués très majoritairement de flamme de diffusion.



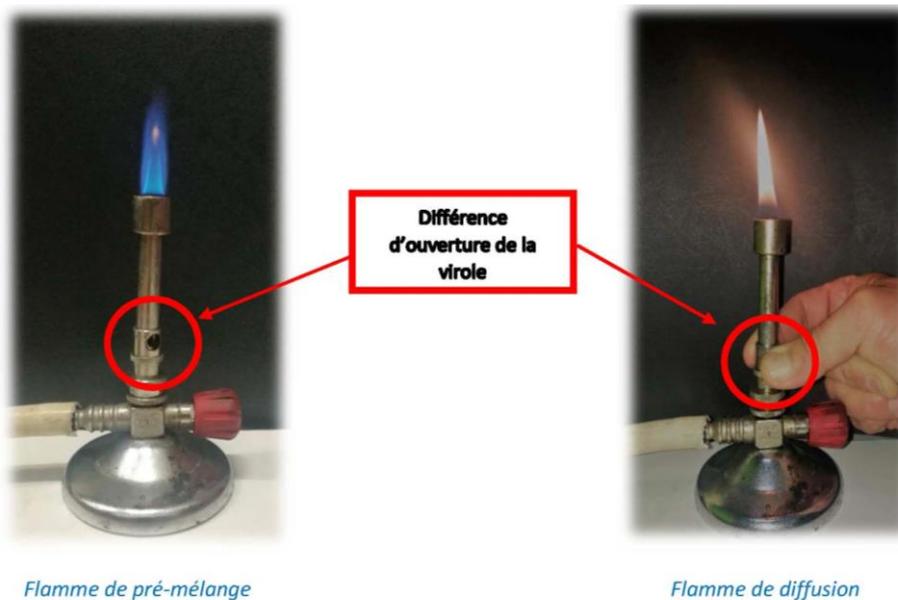
2. Flamme de pré-mélange :

Nous retrouverons une flamme de pré-mélange dans le cas d'une combustion très rapide. Celle-ci est produite grâce au mélange du comburant et du combustible avant d'y apporter une énergie d'activation (chalumeau, bec bunsen). Nous retrouvons aussi ce type de flamme lors d'explosion de type déflagration. La combustion sera dite complète lorsque le combustible et le comburant se situeront dans les bonnes proportions (concentration idéale du mélange).



Il est à noter que la différence entre les deux flammes ne peut pas être tranchée aussi facilement. Le système feu étant dynamique, nous pouvons passer d'une flamme de pré-mélange à une flamme de diffusion ou inversement.

Prenons l'exemple d'un bec bunsen : en modifiant l'arrivée d'air, les proportions de mélange changent et nous pouvons faire varier la flamme → d'une flamme de pré-mélange à une flamme de diffusion.



En semaine JSP 4 certaines définitions seront reprises et explicitées via des démonstrations.

IV. CARACTERISTIQUES DU COMBUSTIBLE :

En complément des éléments vus ci-dessus, il est également nécessaire de connaître les quelques notions qui concernent plus particulièrement ce que contient cette structure et les caractéristiques des éléments combustibles.



ÉNERGIE CALORIFIQUE

L'énergie calorifique correspond à l'énergie concrètement dégagée au cours de la combustion d'un matériau, exprimée en joules ou en kilocalories (J ou kcal).

POUVOIR CALORIFIQUE

Le pouvoir calorifique d'un matériau est la quantité d'énergie dégagée au cours de la combustion d'un matériau, exprimée en joules ou en kilocalories par unité de masse (J/kg ou kcal/kg).

En fonction de sa composition, ce pouvoir calorifique peut être plus ou moins élevé. Ainsi, certains produits issus de la pétrochimie dégagent davantage de chaleur quand ils brûlent que des produits composés de matériaux naturels (bois, coton...).

<input type="checkbox"/> Papier, carton	16 MJ/ Kg
<input type="checkbox"/> Bois	19 MJ/ Kg
<input type="checkbox"/> Charbon	35 MJ/ Kg
<input type="checkbox"/> P.V.C.	22 MJ/ Kg
<input type="checkbox"/> Polyéthylène	43 MJ/ Kg

CHARGE CALORIFIQUE :

La charge calorifique est la somme des énergies calorifiques (exprimée en MégaJoules ; MJ ;) pouvant être dégagées par la combustion complète de l'ensemble des matériaux incorporés dans la construction ou situés dans un local (revêtements, mobilier et agencement).

On peut définir une charge calorifique par unité de surface au sol ou densité de charge calorifique (MJ/m²).

Le mobilier et la décoration au sens large contribuent à la propagation du feu et à la production de fumée.

La charge calorifique influe sur le développement du sinistre et sur la stabilité du bâti.

POTENTIEL CALORIFIQUE :

<input type="checkbox"/> Cuisine	310 MJ/m ²
<input type="checkbox"/> Chambre	570 MJ/m ²
<input type="checkbox"/> Bureau	400 MJ/m ²

Le potentiel calorifique correspond à l'énergie calorifique totale (MJ) qui peut être dégagée par la combustion complète d'un ensemble de matériaux et par unités de surface. Il s'agit de la charge calorifique mais qui ne prend pas en compte certains éléments de construction.



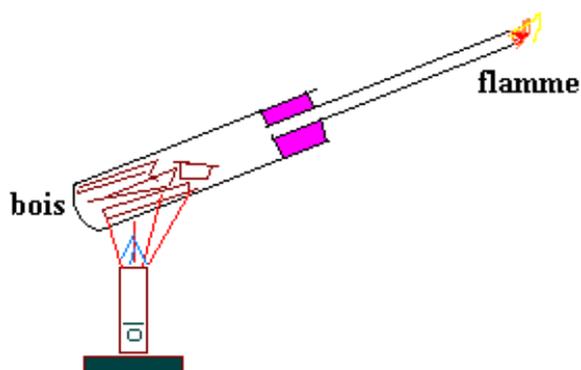
V. COMBUSTION DES SOLIDES, LIQUIDES ET DES GAZ :

Pour qu'une combustion soit possible, il faut que les trois éléments composant le triangle du feu se combinent dans de bonnes proportions.

A. COMBUSTION DES SOLIDES :

Contrairement aux idées reçues ce n'est pas le solide lui-même qui brûle mais les gaz ou vapeurs résultant de la distillation du solide.

Chauffons de petits morceaux de bois :



- Ils se décomposent en émettant un gaz combustible,
- Gaz que l'on peut enflammer au bout du tube,

Les flammes se situent au-dessus
du morceau de bois



Dans la combustion des solides nous avons trois étapes :

- ↔ **Distillation** (vapeurs),
- ↔ **Inflammation** (flammes),
- ↔ **Incandescence** (braises),

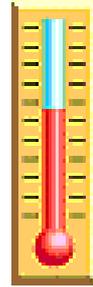
B. COMBUSTION DES LIQUIDES :



Ce ne sont pas les liquides eux-mêmes qui brûlent, mais les gaz ou vapeurs qu'ils émettent.



Point éclair : c'est la **température** à partir de laquelle un liquide combustible **émet des vapeurs** en **quantité suffisante** pour former avec l'air un **mélange inflammable**



La combustion n'est pas **entretenu**e si l'on **retire** l'énergie d'activation.

Exemples de point éclair :

Acétone	- 18°
Acide acétique	+ 43°
Essence	- 43°
Éther	- 32°
Kérosène	+ 38°



Point d'inflammation : c'est la température à partir de laquelle un liquide combustible émet des vapeurs en quantité suffisante pour que la combustion **puisse continuer d'elle-même**.

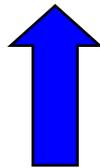
Le point d'inflammation est légèrement **plus élevé** que le point éclair.

Point d'auto ignition / auto-inflammation : température à laquelle un mélange combustible gazeux peut s'enflammer spontanément sans présence d'une énergie d'activation.

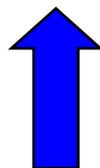
De l'ordre de 150° à 650°, elle est suffisante pour déclencher des réactions d'oxydations et provoquer leur accélération, pouvant atteindre l'explosion.

En résumé :

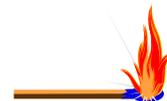
POINT D'AUTO INFLAMMATION



POINT D'INFLAMMATION



POINT ECLAIR





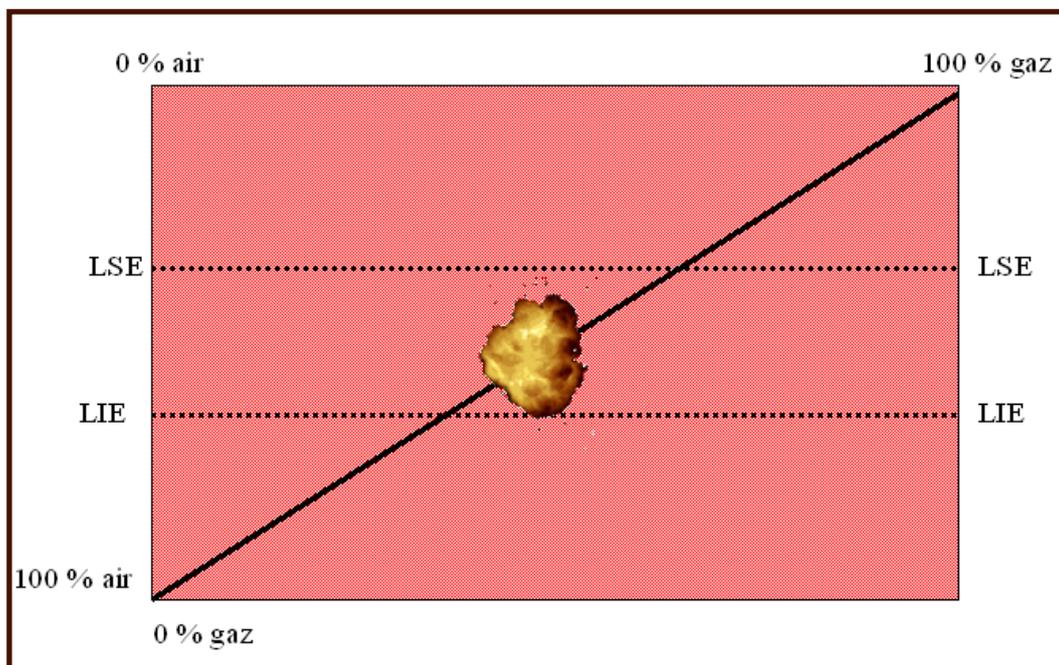
C. COMBUSTION DES GAZ :

Qu'ils soient naturellement gazeux, qu'ils soient distillés d'un solide ou d'un liquide, seuls les gaz brûlent.

Pour permettre cette combustion, le mélange gaz/air doit avoir une certaine concentration en combustible comprise entre certaines limites dites :

↳ Limite Inférieure d'Explosivité = L.I.E

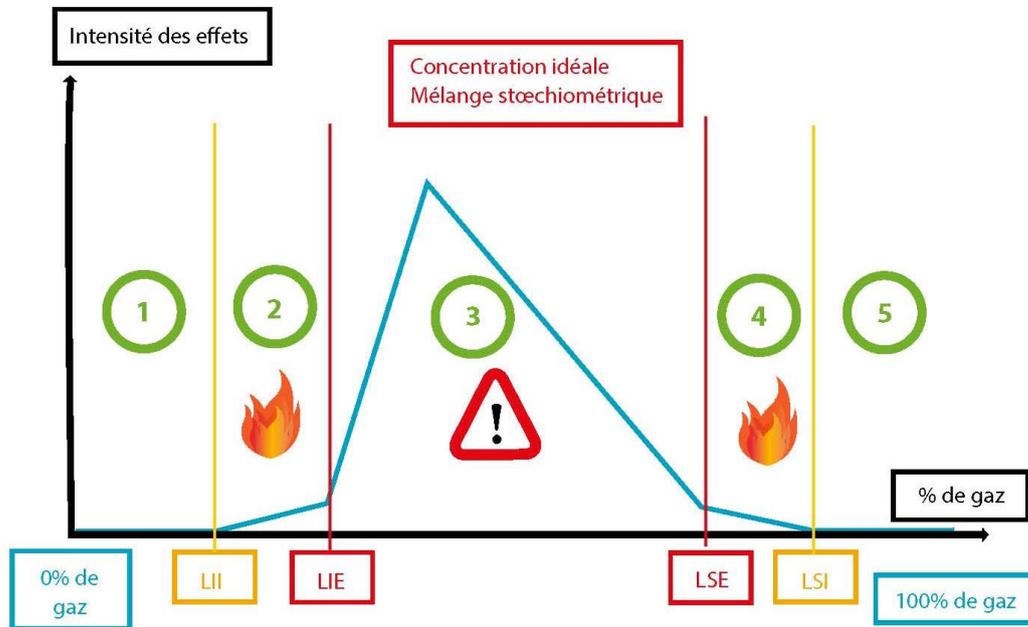
↳ Limite Supérieure d'Explosivité = L.S.E



Exemples :

	L.I.E. en %	L.S.E. en %
Méthane (CH ₄)	5	14
Butane (C ₄ H ₈)	1,8	8,8
Propane (C ₃ H ₆)	2,4	9,3
Pentane C ₅ H ₁₂)	1,5	7,8
Alcool (C ₂ H ₅ OH)	2,5	19
Monoxyde de carbone (CO)	12,5	74
Acétylène (C ₂ H ₂)	2,5	100

Nous distinguons alors différentes intensités des effets en fonction de la concentration du gaz :



- 1 5
- 2 4
- 3

Le mélange est soit trop pauvre ou soit trop riche. Il n'y a aucune réaction.

Nous sommes dans la plage d'inflammabilité entre la LII et la LSI (plage 2 : pauvre ; plage 4 : riche). Il s'agit d'une inflammation dite *inflammation molle* : seuls les effets thermiques sont présents.

Nous sommes dans la plage d'explosivité entre la LIE et la LSE. C'est une explosion : aux effets thermiques s'ajoutent des effets mécaniques. Elle dépend de la température, de la nature du matériau et de la concentration des gaz.