

FORMATEUR SUR SIMULATEUR FEU RÉEL FOYER FERMÉ PAR PSC



photo by Hakim O SDIS08

Ce document rassemble des extraits, graphiques et tableaux de différents ouvrages qui vous sont présentés dans la bibliographie.

Nous vous recommandons ces ouvrages qui correspondent à notre programme et vous permettront d'approfondir les sujets abordés cette semaine.

Sommaire

1- Caractéristiques du système feu :

- Identification des éléments du « système feu » Page 5
- Le processus de combustion Page 9
- Les flammes Page 14
- Le développement d'un feu Page 19
- Influence de la taille de l'ouvrant Page 25
- Influence de la charge Page 29
- Les transferts d'énergie Page 35
- Les effets de l'eau Page 43
- Techniques de lance Page 47

2- Les Progressions Rapides du Feu :

- Le Flashover Page 54
- Le Backdraft Page 57
- Les FGI Page 60

3- Indicateurs de comportement du feu : Page 64

4- Cadre général du rôle d'opérateur : Page 69

5- Bibliographie : Page 75

Caractéristiques du système feu

Afin d'utiliser le simulateur avec succès, connaître le comportement du feu semble primordial.

Un grand nombre d'éléments détermine l'évolution d'un feu. L'étude de ces éléments au sein du « système feu » va nous aider dans la compréhension et l'analyse des signaux délivrés par l'outil.

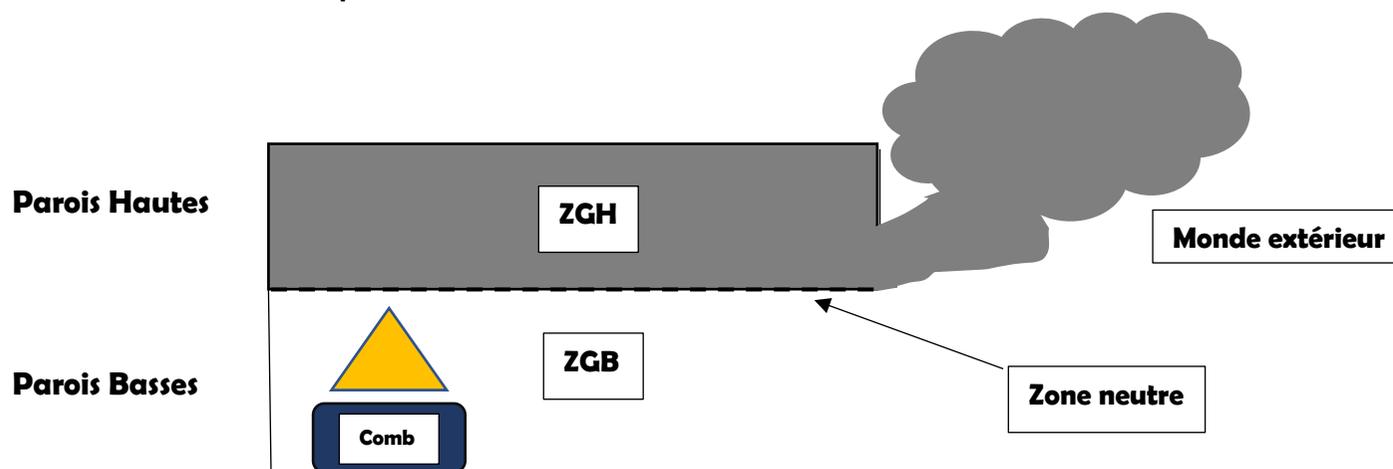
Identification des éléments du « système feu »



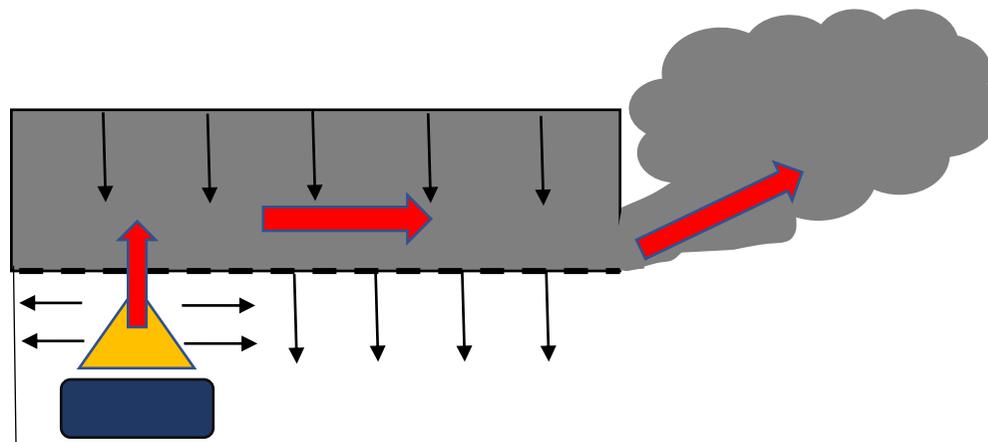
Sur chaque incendie, on peut observer une multitude de paramètres qui diffèrent : structure, taille des ouvrants, cantonnements, l'influence du vent...

Mais si l'on étudie plusieurs types de feu, nos observations nous font ressortir un certain nombre d'invariants :

- **Le combustible** : sous différentes formes, il représente l'ensemble des matériaux combustibles
- **Les flammes**
- **La zone gazeuse haute : les fumées**
- **La zone gazeuse basse : l'air**
- **La zone neutre : Limite ZGH / ZGB**
- **Les parois hautes**
- **Les parois basses**
- **Le monde extérieur** : Souvent associé à l'extérieur, il peut être aussi un couloir, un volume adjacent en fonction du volume concerné par l'incendie.



Quels seront les échanges d'énergie au sein de ce modèle ?



- **Conduction** : négligeable (entre parois)
- **Convection** : 
- **Rayonnement** :  (flames, parois, fumée)

Lors de la combustion, on observe un dégagement de fumée.

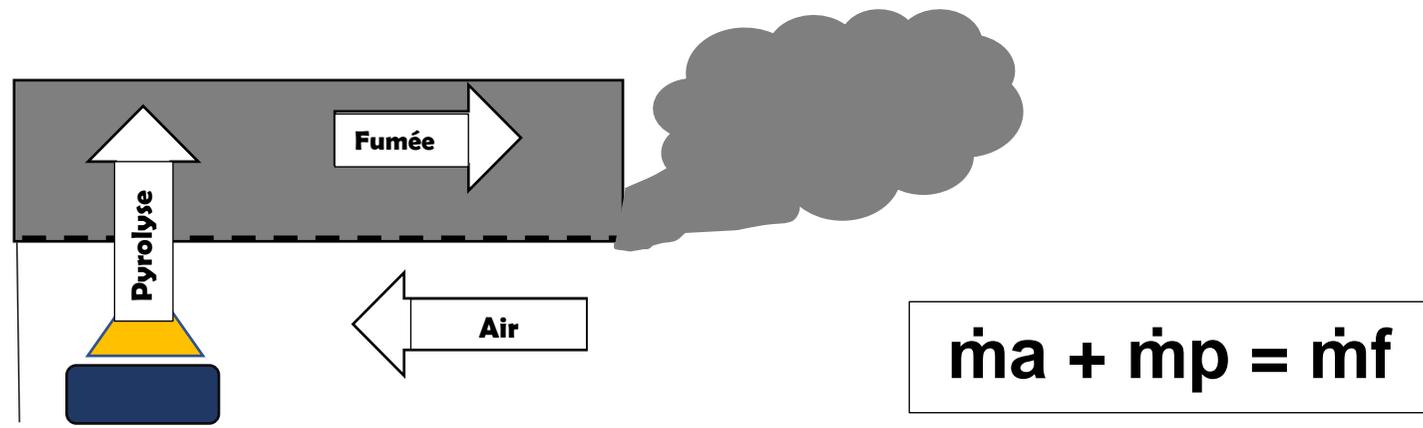
On a donc aussi un échange de matière du « système feu » .

Masse d'air + Masse de combustible = Masse de fumée

On parle de transfert de masse du système feu exprimé en Kg. Si on ajoute la variable de temps à notre transfert de masse Kg/s, on obtient alors une notion de débit (variation temporelle de la masse), exprimé scientifiquement sous la formule de THOMAS :

$$\dot{m}_{\text{air}} + \dot{m}_{\text{pyrolyse}} = \dot{m}_{\text{fumée}}$$

(\dot{m} exprime un débit, une variation temporelle de la masse, Kg/s)



Le système feu est un système complexe, interdépendant et dynamique.

Le processus de combustion



Le TP du bol à pyrolyse nous permet d'observer les différentes phases du processus de combustion.

1^{ère} phase :

Tous les objets (ici le bois) possèdent un certain taux d'humidité. Quand on les soumet à une source de chaleur, ils vont en premier perdre cette humidité.

C'est la phase d'évaporation

(Liquéfaction à l'intérieur du bol, aspect trouble, fumées peu denses, blanches)

Cette phase est **inerte** car elle ne produit que de l'H₂O.

Elle est aussi **réversible**, car si on stoppait l'expérience à ce moment-là, les matériaux retrouveraient leur état initial.

2^{ème} phase :

Le bois commence à se transformer en profondeur. La chaleur a cassé les liaisons chimiques des molécules de bois créant de nouvelles espèces chimiques.

C'est la pyrolyse.

(Changement de teinte des buchettes. Changements de couleur des fumées, jaunâtre)

Les nouvelles espèces chimiques varient essentiellement en fonction de

- La température
- La nature du combustible

3^{ème} phase : Où se situe la combustion ?

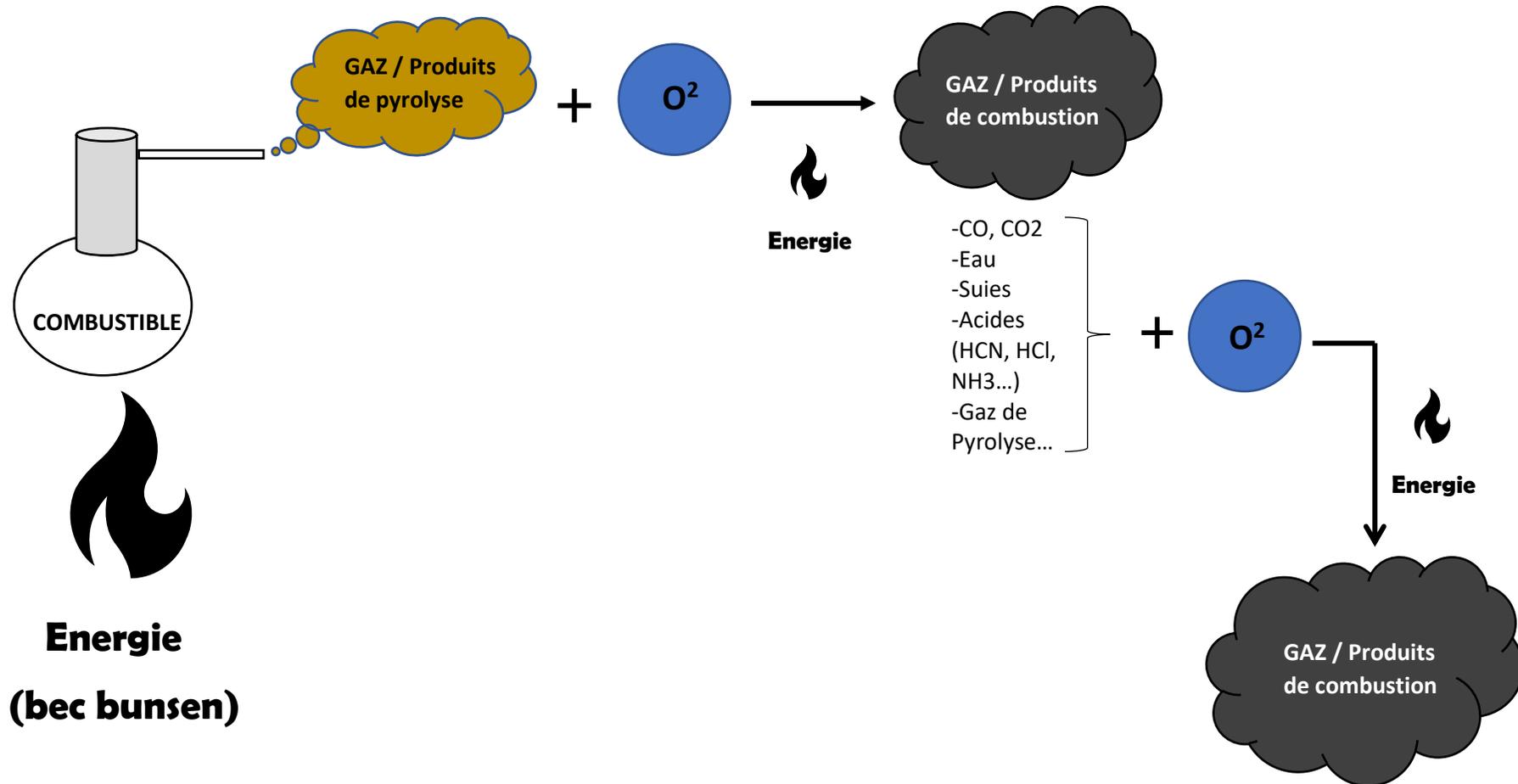
Le manque d'air à l'intérieur du bol ne permet pas au triangle du feu d'être complet. La combustion ne peut avoir lieu.

Dans cette expérience, l'apport d'une source d'énergie à la sortie des produits de pyrolyse entraîne une combustion.

Il s'agit bien des gaz issus de la pyrolyse du bois qui brûlent et non le bois lui-même.

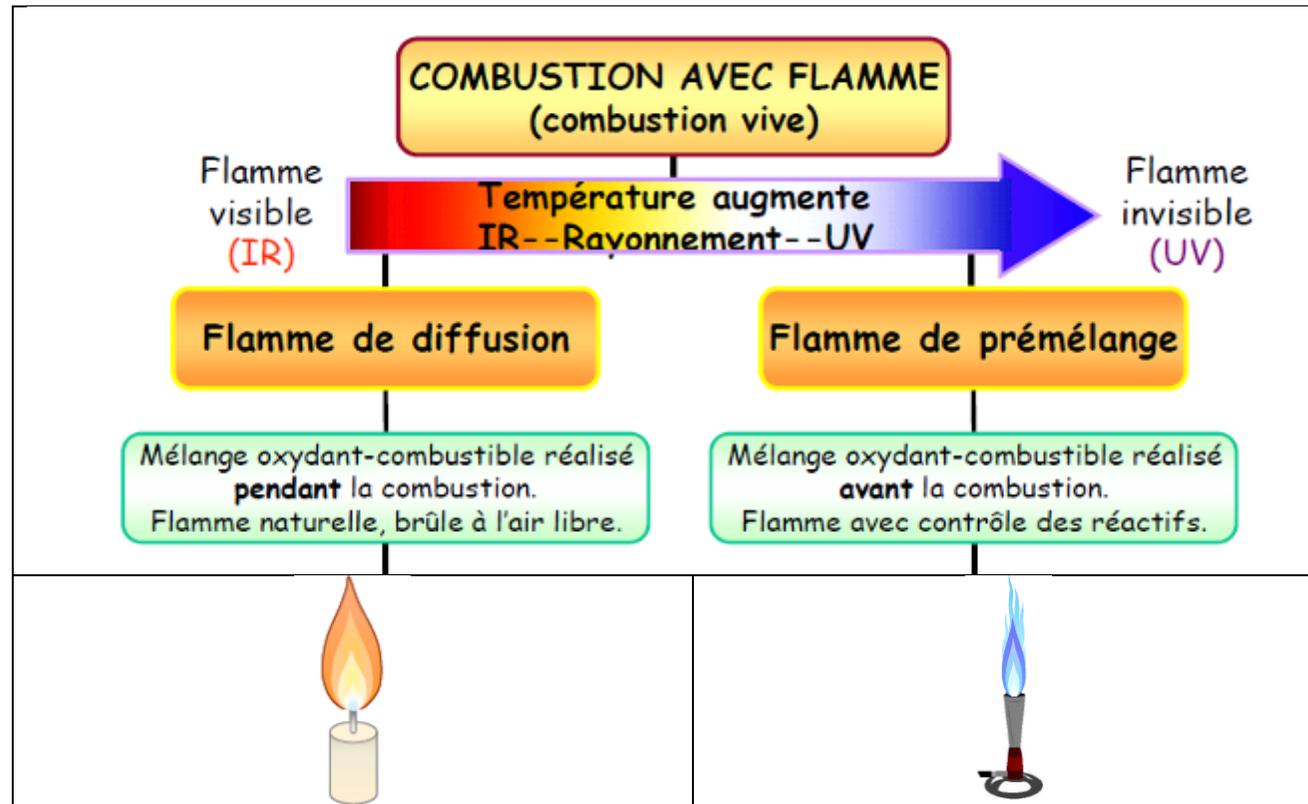
La combustion de ces produits de pyrolyse entraîne la production de produits de combustion (fumées d'incendie).

Les observations réalisées à partir du bol à pyrolyse nous permettent de représenter le processus de combustion :



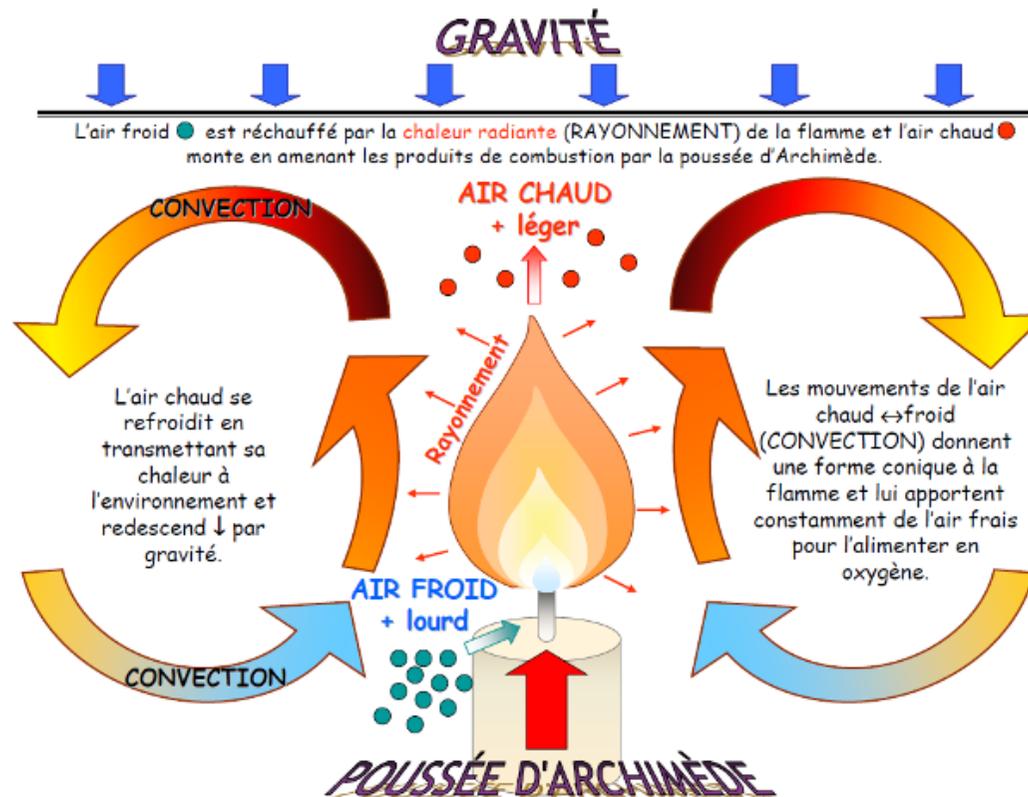
Les flammes

Il existe deux types de flammes qui nous intéressent dans le domaine de l'incendie et qui se différencient par leur mélange oxydant-combustible.

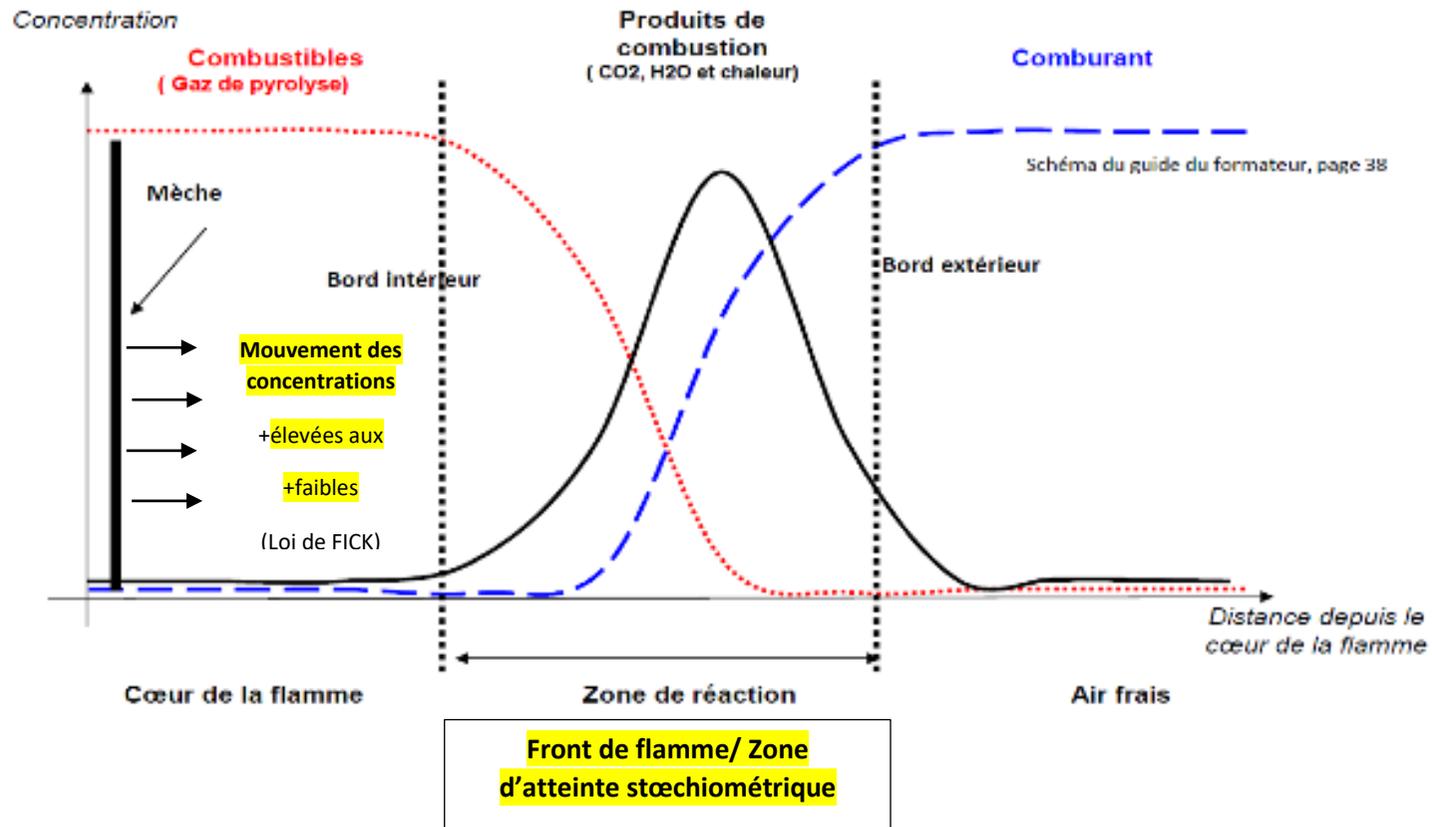


La flamme de diffusion

A travers l'observation d'une bougie, on peut déjà faire ressortir des éléments importants :



Observons cette bougie en coupe pour en étudier les concentrations :



La flamme de diffusion est l'inflammation du combustible au contact du comburant : l'un diffusant vers l'autre selon le gradient de concentration (Loi de FICK).

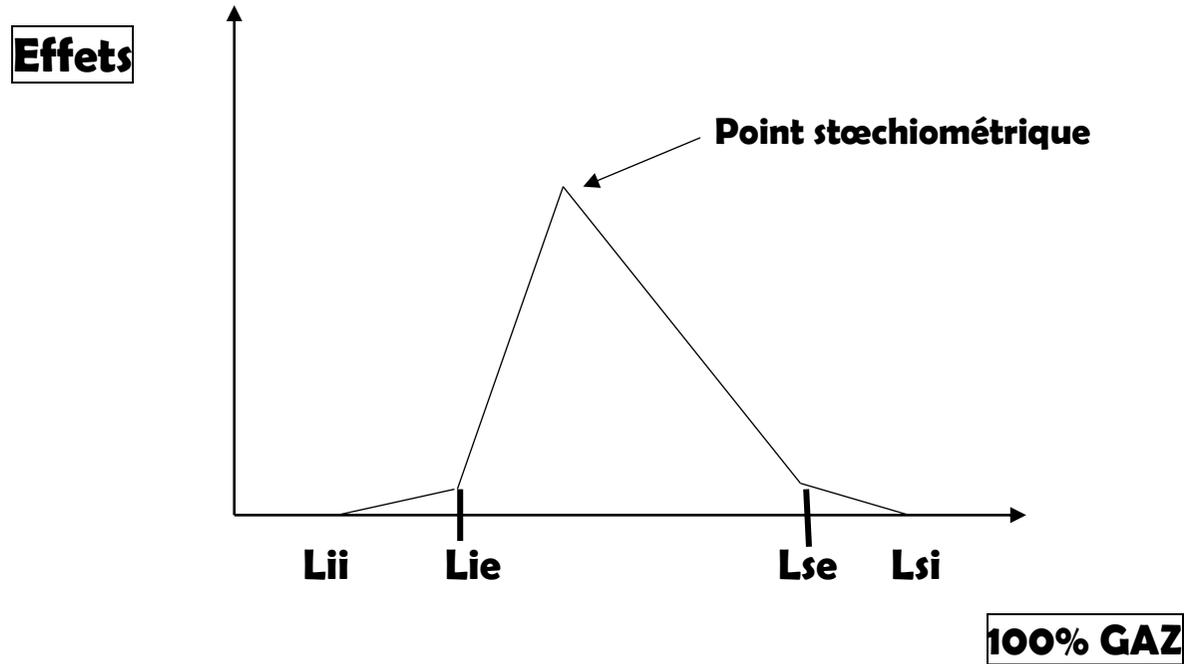
La flamme de prémélange

L'utilisation du simulateur à explosion nous permet de faire varier la concentration du prémélange et ainsi d'observer l'intensité des effets.



Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=kJjHPjCIKuw&t=2s>

Retraçons les effets observés en fonction de la concentration en gaz combustible sous forme d'un graphique :



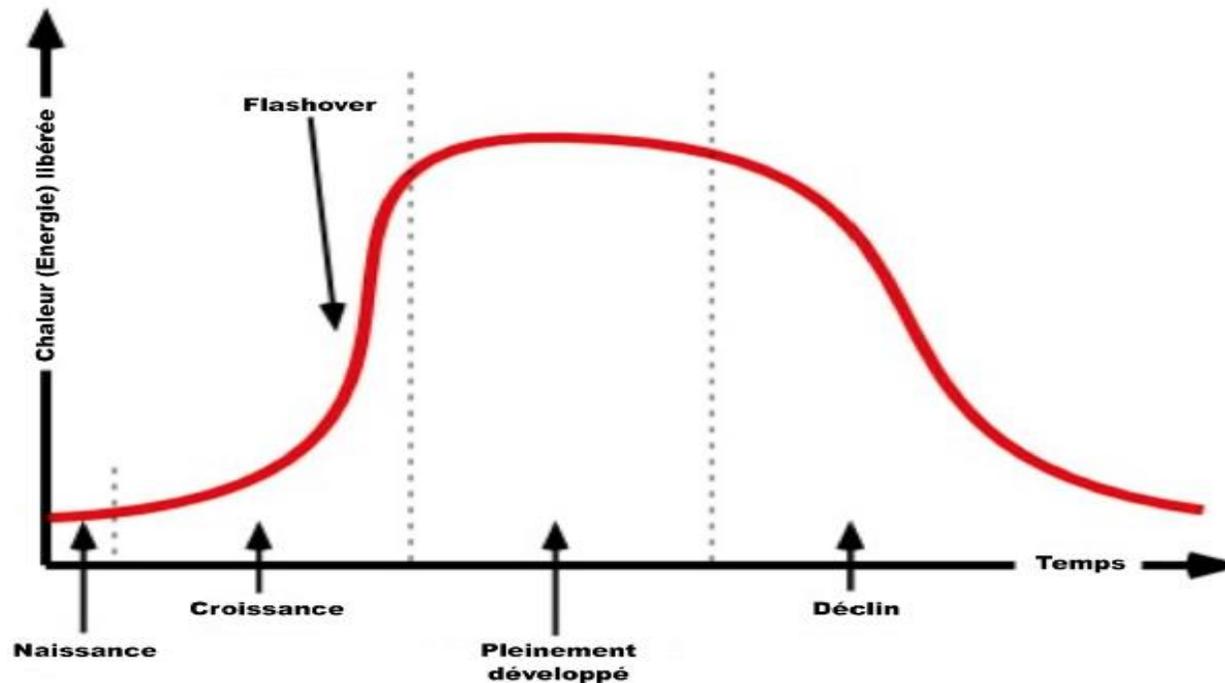
Ce graphique nous aide à comprendre la différence entre inflammation et explosion en fonction de la concentration.

C'est une notion importante dans l'utilisation du simulateur.

Le développement d'un feu

On a tous en tête la représentation graphique du développement d'un feu.

Revenons sur les différentes phases :



La naissance :

Cette phase fluctue en fonction du ratio entre les 3 facteurs du triangle du feu :

Comburant :

- L'O₂ présent à 21% sera petit à petit remplacé par de la vapeur H₂O inerte et par des fumées qui feront baisser ce %.
- La présence d'un courant d'air naturel accentuera ou non l'apport en comburant.

Combustible :

- Les caractéristiques intrinsèques du matériau et de son pouvoir calorifique (ΔH_c)
- Son taux d'hygrométrie
- Sa disposition

Chaleur :

- La source d'allumage suffisante (endothermique / exothermique)
- L'accumulation de chaleur dans le volume (retour radiatif / perte aux parois)
- « Ballast thermique » : ensemble des matériaux qui absorbent de la chaleur mais qui ne participent pas (ou ralentissent) à la réaction de combustion.

Le changement de T°c dans la pièce devient perceptible. Un plafond de fumée apparaît.

A un moment donné, les flammes sembleront être « arrachées » à l'objet et la colonne de fumée située au-dessus va commencer à brûler. C'est la fin de la phase de naissance.

La croissance :

La T°c de la pièce augmente significativement. Il y a une augmentation de produits de pyrolyse et de produits de combustion.

 **Apparition de la zone neutre.**

L'effet du rayonnement s'accroît à toute la pièce, notamment sous l'effet du rayonnement du plafond de fumée.

Les flammes se développant dans la colonne de fumée vont atteindre le plafond ce qui va forcer les flammes à se courber et donner naissance à un front de flamme qui va se déplacer dans le plafond de fumée.

 **La T°c va augmenter très rapidement**

Les produits de combustion brûlants situés au plafond se dilatent et provoquent **une surpression**.

Alors que le foyer aspirant de l'air « frais » génère **une dépression** au niveau du sol.

En ouvrant une porte les **deux courants** vont se rencontrer : plutôt laminaires en début de développement, devenant plus turbulents avec la montée en T°c des gaz chauds.

 **On parle de courant gravitationnel**

Le Flashover

Au cours de la phase de développement, tous les objets présents vont contribuer à la production de gaz de pyrolyse qui se mélangent aux produits de combustion déjà présents.

L'ensemble crée un réservoir de combustible gazeux chaud, qui va commencer à prendre feu sous l'action du « roll-over ». **On assiste alors à un emballement thermique.**

Le flashover est la transition soudaine et continue d'un incendie en phase de croissance à un incendie pleinement développé.



Le plein développement

L'entièreté du volume est en feu. Tout ce qui se trouve dans la pièce est perdu. La résistance au feu des éléments de construction va déterminer si l'incendie va se propager aux pièces voisines.

On peut trouver une pièce en phase de plein développement et un volume adjacent en phase de croissance.

Cela va alors brûler jusqu'à ce qu'il n'y ai plus de combustible.

Le déclin

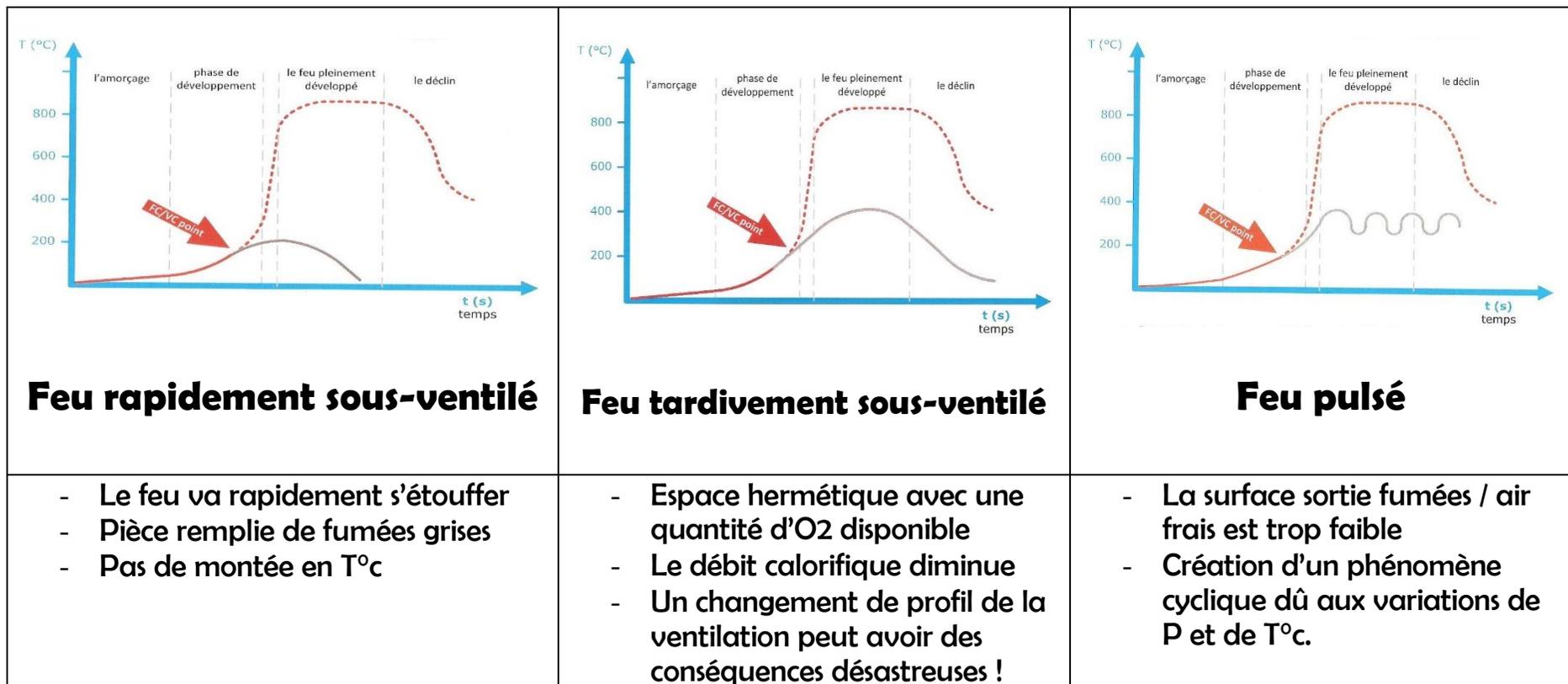
La quantité de combustible restant a diminué à tel point que l'intensité du feu baisse, de même que la production de fumées.

Cela permet à une grande quantité d'air d'entrer dans la pièce.

Les gaz de pyrolyse, continuellement libérés, continuent à représenter une menace pour les pompiers.

Les feux sous-ventilés :

Les nouvelles constructions et normes d'isolation nous amènent à rencontrer différents types de feu, limités en puissance par une sous-ventilation. En voici quelques exemples :



Influence de la taille de l'ouvrant



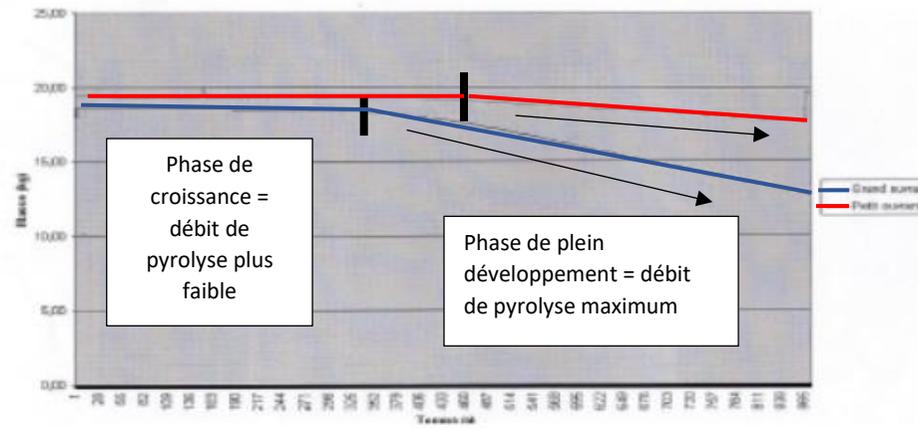
Rappel de la formule de THOMAS :

$$\dot{m}_{\text{air}} + \dot{m}_{\text{pyrolyse}} = \dot{m}_{\text{fumée}}$$

(\dot{m} exprime un débit, une variation temporelle de la masse, Kg/s)

La quantité d'air entrant et de fumée sortante est très compliquée à mesurer !

La mesure de perte de masse des boites sera un indicateur précieux.



	Boite petit ouvrant	Boite grand ouvrant
Poids de départ	18200 g	17800 g
Poids de fin	13600 g	9750 g
Δ poids	4600 g	8050 g
Durée	15 min (900s)	15 min (900s)
Débit de pyrolyse	5,11g/s	8,94g/s
Surface intérieur boîte (hors ouvrant)	1,462m ²	1,422m ²
Débit de pyrolyse/ m ²	3,48g/s.m ²	6,25g/s.m ²

On se rend compte que **la taille de l'ouvrant détermine la perte de masse**. Ce qui se traduit par une libération de puissance plus importante, visible sur la photo des deux boîtes en phase de plein développement.

Ce lien a été calculé scientifiquement par le calcul **du facteur de ventilation**.

(lien entre hauteur et surface du ou des ouvrants)

$$\dot{m} \text{ Air} = 0.5 \times A \times \sqrt{H} \quad (\text{en Kg/s})$$

(surface de l'ouvrant)

(hauteur de l'ouvrant)

On utilise **le pouvoir calorifique (ΔH_c)** par unité de masse d'air consommée pour exprimer la puissance du feu. Soit **3000 Kj/Kg**

Formule de PUISSANCE :

$$P = \dot{m} \text{ Air} \times \Delta H_c (3000)$$

Ou

$$P = 1500 \times A \sqrt{H}$$

Exemple avec une porte de 2m x 1m :

Facteur de ventilation : $0.5 \times (2 \times 1) \times \sqrt{2} = 1.41 \text{ Kg/s}$

Puissance : $1.41 \text{ Kg/s} \times 3000 \text{ Kj/Kg} = 4230 \text{ Kj/s (ou KW)}$

Soit 4.2 MW

Influence de la charge

La formule de puissance liée au facteur de ventilation n'est pas suffisante.

L'objectif de ce TP est de comprendre la notion de limitation d'un feu.

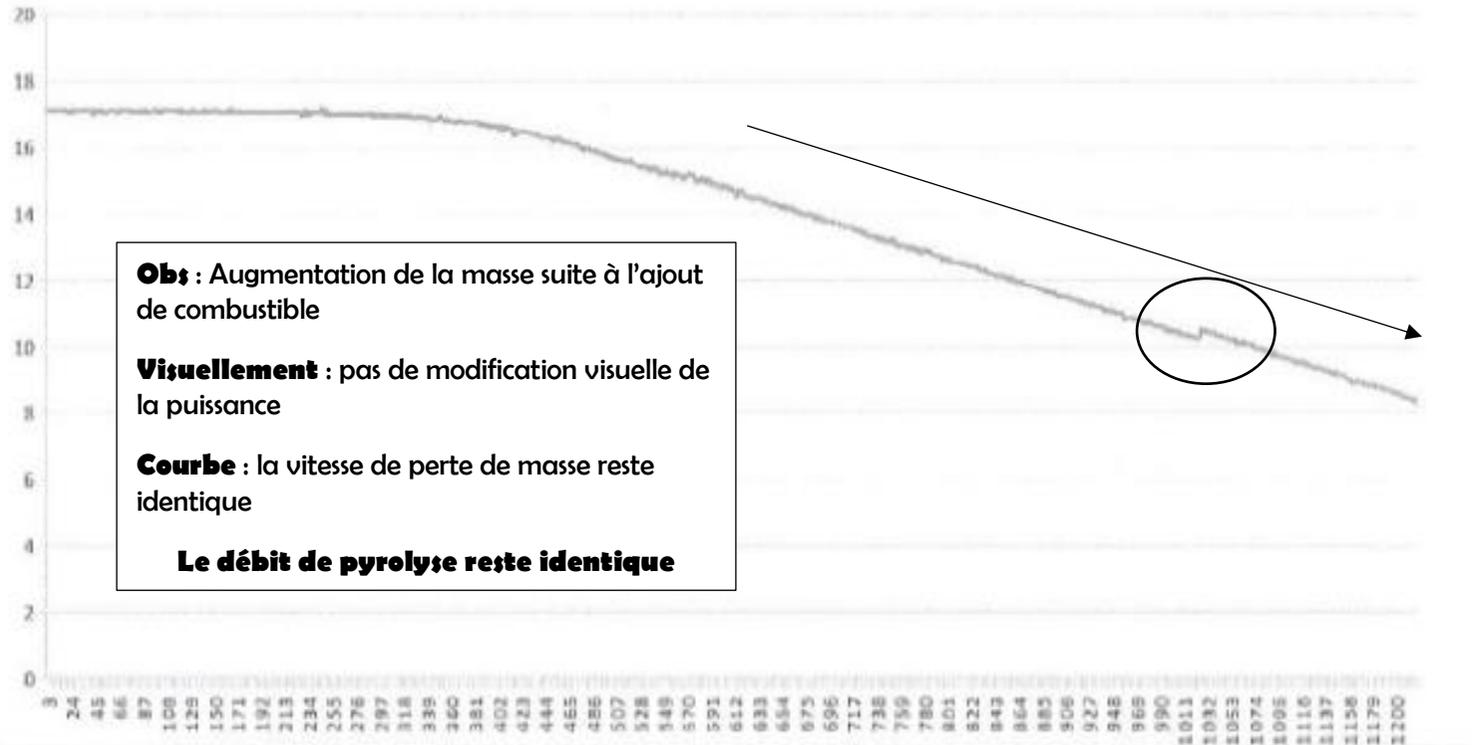


3 phases :

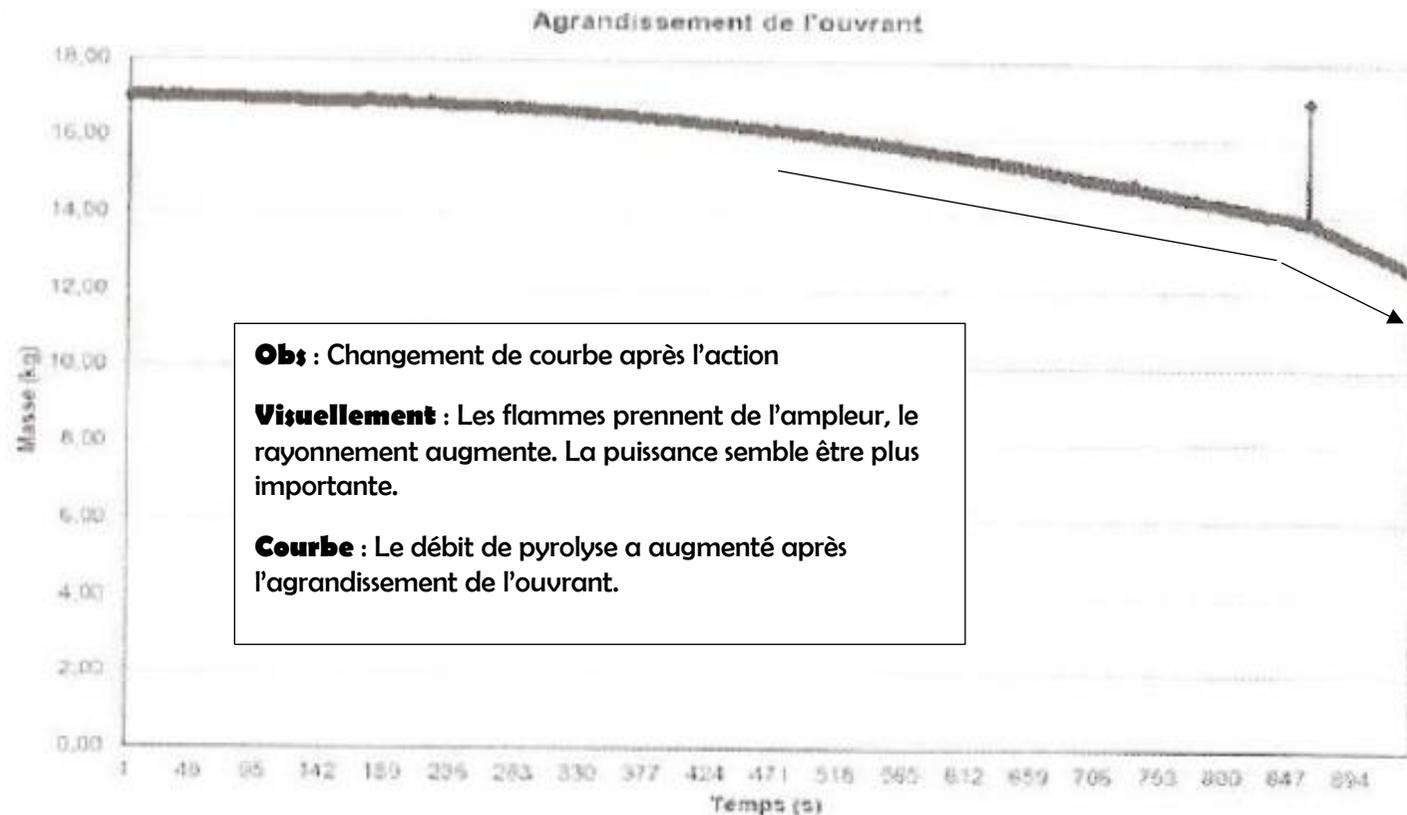
- **Mise à feu 2 boites identiques / ouvrant identique**
- **Ajout de combustible boite 2 en phase de plein développement**
- **Augmentation du facteur de ventilation boite 2.**

Observons les courbes de pertes de masse en phase 2 et 3 :

Phase 2 « ajout de combustible »

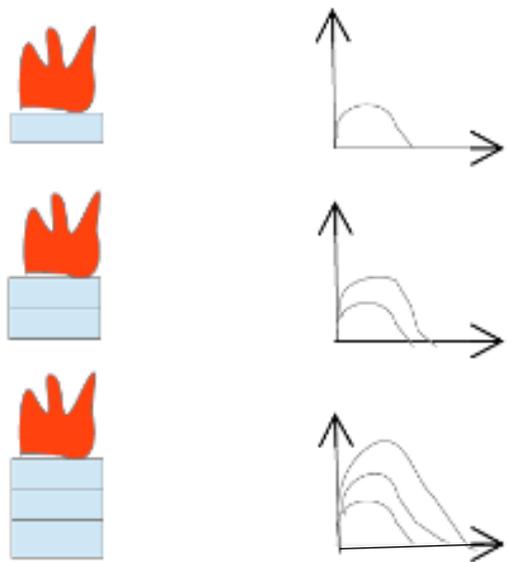
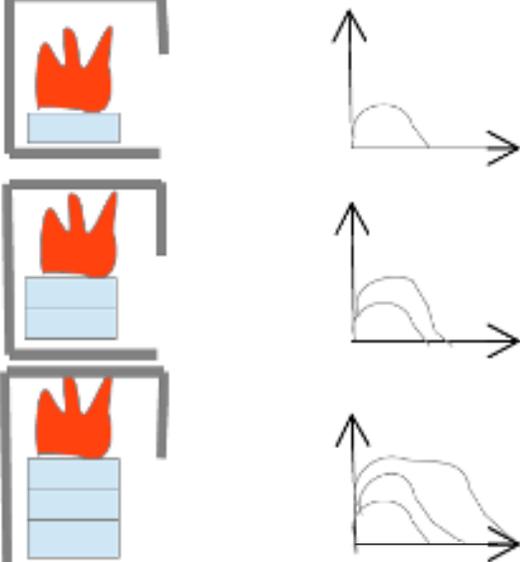


Phase 3 « Augmentation du facteur de ventilation »



On en conclut que le facteur de ventilation joue directement sur la puissance du feu en plein développement.

Abordons la notion de limitation : différentes charges (air libre / enceinte)

AIR LIBRE	ENCEINTE
	
<p>Plus on augmente le combustible, plus la puissance du feu augmente !</p>	<p>Au bout d'une certaine quantité de combustible on atteint alors une limite ! Plus on augmente le combustible, plus le feu va durer sans modifier sa puissance !</p>

C'est la notion de limitation.

On parle de feu limité par le combustible lorsque la puissance est :

- **Dépendante de la nature du combustible ΔH_c (pouvoir calorifique)**
- **Dépendante de la quantité de combustible c'est-à-dire du débit de pyrolyse \dot{m}_p**

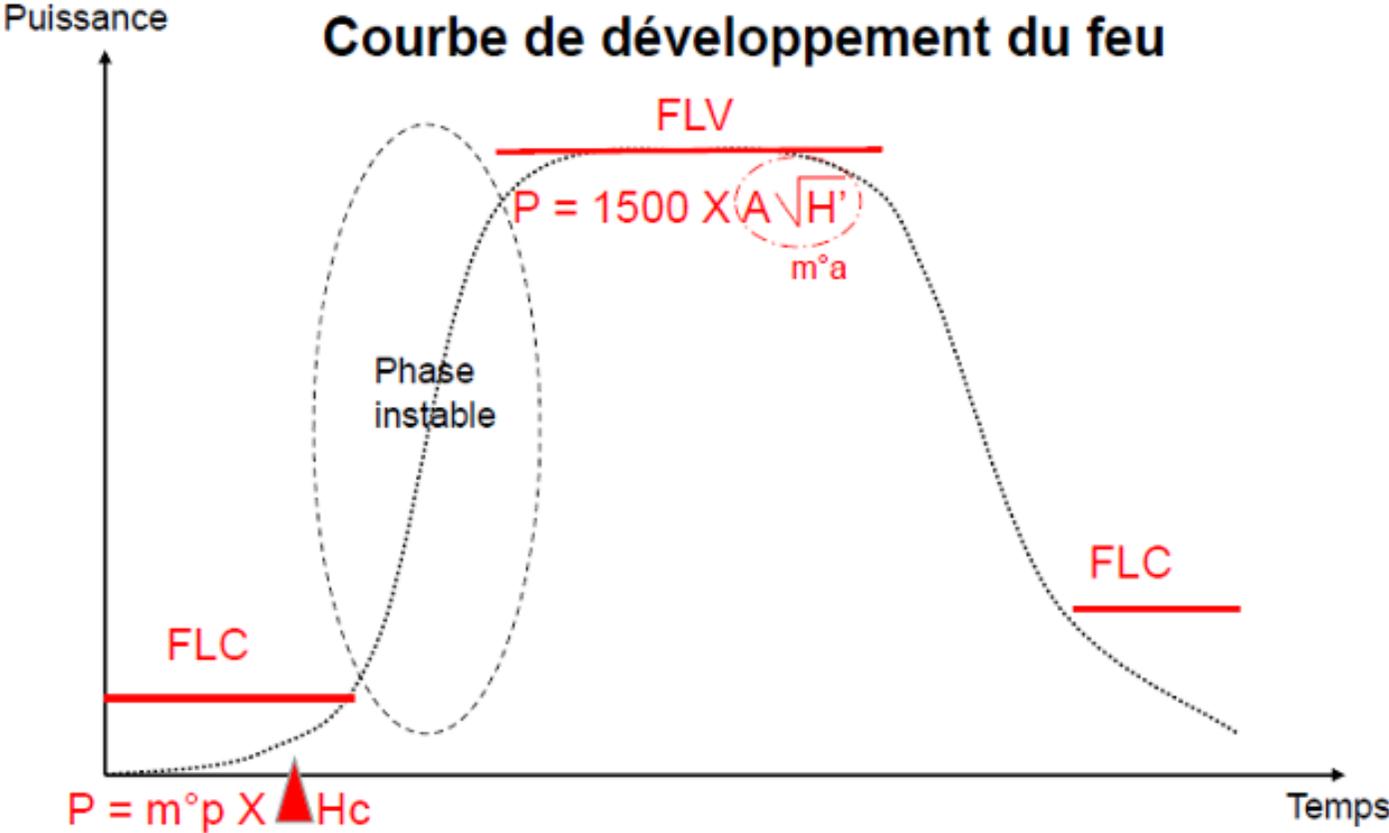
Dans ce cas-là, la formule de puissance de feu est donnée par :

$$P = \dot{m}_p \times \Delta H_c \quad (w)$$

***exemple de ΔH_c :**

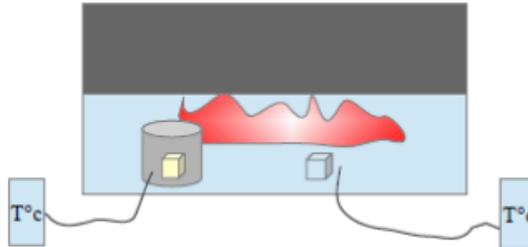
- Méthane = 55Mj/Kg ; Mousse PU = 27 Mj/Kg ; Bois = 19.8 Mj/Kg ...

On a donc deux calculs de puissance différents entre un feu limité par le combustible (FLC) et un feu limité par la ventilation (FLV) :



Les transferts d'énergie

Le rayonnement



La température est mesurable simplement à l'aide de thermomètre, en revanche la notion de chaleur est plus subjective.

Avec ce TP on se rend compte que la température n'est pas le seul facteur influent sur la dégradation du bout de mousse. Un simple écran au rayonnement sera protecteur.

La notion de rayonnement est importante dans le développement de l'incendie mais aussi dans la sécurité des pompiers.

Une vidéo de Nicolas STRUSKI disponible sur Youtube explique les notions qui suivent :

<https://www.youtube.com/watch?v=kJDFS11vsB8>



$$\text{Rayonnement} = \text{flux} = \Phi \text{ (W/m}^2\text{)}$$

(W= J/s comparer à un débit)

Il s'agit d'une onde qui se déplace d'un corps chaud vers un autre corps. Comme en radioactivité on ne le voit pas et on ne le sent pas.

Retrouvons les facteurs influençant la dégradation d'un corps soumis au rayonnement :

Distance :

Plus on s'éloigne de la flamme plus le flux baisse. Le flux est inversement proportionnel à la distance au carré :

$$\Phi = 1 / d^2$$

(passer de 1 m à 2 m divise le flux par 4)

Temps / Distance :

Exemple de l'exposition au soleil (flux)

- **Une exposition d'une minute et d'une heure n'auront pas les mêmes effets, la durée d'exposition au flux est importante.**
- **En revanche la même exposition d'une heure sous un écran de parasol n'aura pas non plus les mêmes effets, un écran protège du rayonnement.**

Surface :

Si l'on compare un feu de palettes à une flamme de bougie, pour une température de flamme identique (env 800°C) le flux est totalement différent.

La surface de flamme est donc un facteur à prendre en compte.

Couleur : (émissivité ϵ)

... la couleur (ϵ)



Si l'on compare ces deux bacs en feu :

- T°c 650°c / 650°c
- Flux à 1m 153 W/m² / 340W/m²

La flamme de l'alcool est beaucoup plus claire que celle d'hydrocarbure, plus chargée en particules noires.

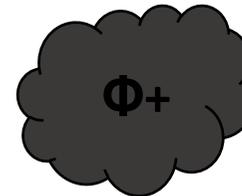
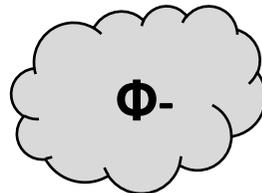
Plus la couleur est claire, proche du blanc, plus l'émissivité est faible.

Plus la couleur est sombre, proche du noir, plus l'émissivité est importante.

L'émissivité se situe entre 0 et 1.

C'est une sensation évidente avec le rayonnement des fumées.

(clair) 0 < ϵ < 1 (foncé)



La température :

Le flux et la température sont deux facteurs différents mais qui restent étroitement liés.

On se rend compte dans différentes mesures, notamment en caisson feu, qu'une variation de température engendre une très grande variation du flux.

Le flux est donc fonction de la température et même puissance 4.

$$T \longrightarrow T^4$$

Pour une température x2 le flux sera x16 !

Bilan :

A tous ces éléments s'ajoute une constante σ (constante de Stefan-Boltzmann).

Φ Flux W/m²	-Energie (j) } -Temps (s) } W -Surface (m ²) -Distance(1/d ²) -Température (T ⁴) -Couleur (0< ϵ <1)	(constante) σ $\Phi = \frac{\epsilon \sigma T^4}{d^2}$
---	---	--

Le flux ne s'exprime jamais seul, il est lié à une distance et parfois à un temps.

Tableau d'exemples de flux :

Flux (en W/m²)	Description
1	Flux thermique moyen du soleil à la surface de la terre
3	Seuil des effets irréversibles (brûlures au 1 ^{er} degré sur la peau, exposition 60s)
5	Seuil des effets létaux (risque léthal, exposition 60s peau nue)
10.4	Seuil de douleur après 3s d'exposition
16	Cloque sur la peau après 5s d'exposition
20	Flashover
40	Résistance EPI (norme EN 366)

Les effets de l'eau

Rappel sur les modes d'action de l'eau : (procédés d'extinction)

Refroidissement : absorption d'énergie qui va abaisser la température, diminuer l'activité du foyer et entraîner une diminution de production de gaz inflammables.

Production de vapeur d'eau :

- Inertage : action dans le domaine d'inflammabilité (diminution du taux d'O²)
- Etouffement : action sur le comburant (limitation d'apport d'air aux flammes)
- Surpression : action sur le combustible gazeux (en volume semi ouvert la production de vapeur crée une surpression qui chasse une partie des gaz chauds à l'extérieur)

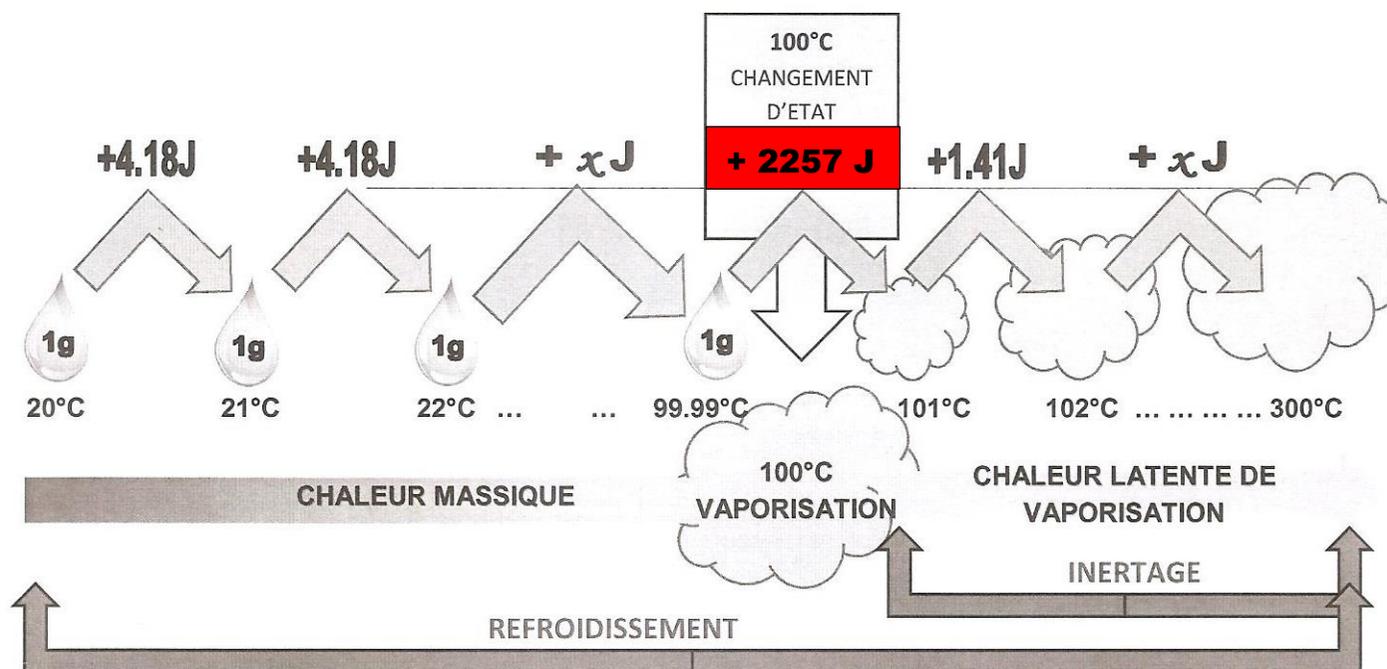
Soufflage : action sur l'émission de gaz inflammables. Lorsque l'eau est projetée sur les flammes, les mouvements aérauliques sont perturbés.

Dispersion : action sur le combustible solide. L'eau projetée avec force disperse les matériaux.

Lors de nos phases de progression et dans l'utilisation de nos lances pour le traitement des fumées, le refroidissement est l'effet le plus recherché.

Transformation de l'eau et captation d'énergie :

Observons la consommation d'énergie de la montée en T°c d'un gramme d'eau :



On se rend compte que c'est la transition de l'état liquide à l'état gazeux qui est la plus énergivore.

D'où l'intérêt d'agir en vaporisation avec une technique de lance adaptée.

+ On a de gouttelettes, **+** la surface d'échange augmente, **+** on vaporise !

Si l'on réalise le calcul de consommation d'énergie de notre gramme d'eau qui passe de 20°C à 500°C :

$$(80 \times 4.18) + 2257 + (400 \times 1.41) = 3155 \text{ j soit } 3.15 \text{ Kj/g}$$

Voici un tableau retraçant la consommation d'énergie de nos lances à différents débits :

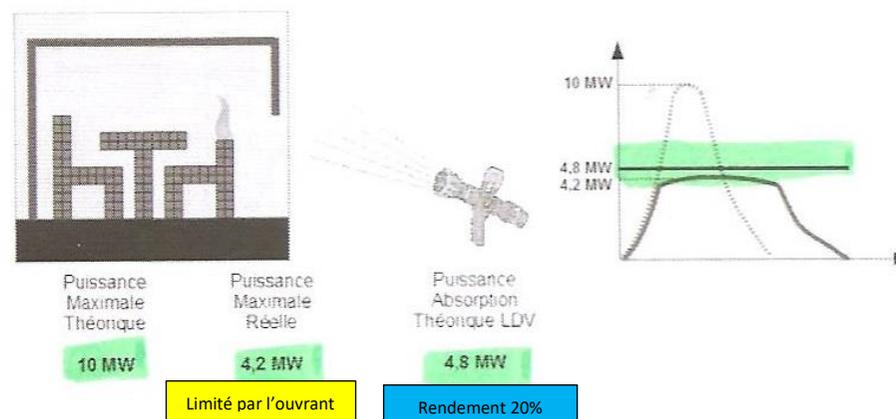
Débit	Quantité d'eau (impulsion 1s)	Energie captée de 20° à 100°c	Changement d'état à 100°c	Energie captée de 100°c à 300°c	Energie totale captée	Energie pour une seconde Kj/s = KW
125 L/min	2.08 Kg	696 Kj	4702 Kj	587 Kj	5985 Kj	6 MW
250 L/min	4.16 Kg	1393 Kj	9404 Kj	1175 Kj	11972 Kj	12 MW
500 L/min	8.33 Kg	2786 Kj	18808 Kj	2350 Kj	23944 Kj	24 MW

Dans la réalité la puissance absorbée est beaucoup moins importante, il s'agit là du calcul théorique.

- **Toutes les gouttes n'ont pas la même taille**
- **Elles n'atteignent pas toutes la zone gazeuse haute**
- **Elles retombent au sol avant vaporisation**

C'est pour cela que l'on parle de rendement de nos lances. Souvent estimé à 20% dans nos calculs, ce rendement aurait tendance à augmenter avec l'évolution de notre matériel et de nos techniques de lance.

C'est grâce à tous ces éléments que l'on détermine théoriquement la puissance de notre feu et les moyens qu'il faudra mettre en face :



Techniques de lance

Après avoir revu les différentes actions de l'eau et les impacts des différents jets sur un feu de structure, on se dit que plusieurs techniques sont nécessaires pour une extinction la plus efficace et rapide possible.

Les techniques dites de **PULSING / PENCILING / PAINTING** regroupent les principaux procédés d'extinctions indispensables à la réalisation de nos missions.

Revenons sur ces techniques :

1/- Le PULSING : (trad : Pulsatif, qui nous fait penser à nos impulsions)

il est utilisé lors de la phase de progression pour traiter les volumes.

technique :

- angle de **jet d'environ 60°**
- angle de **45° du sol**
- impulsion de **0,5 à 1 seconde**
- Fermeture totale entre deux pulsings et pas de mouvement pendant (éviter la déstratification des fumées)
- Travail sur un **débit limité**

Le travail sur le débit est un élément qu'il faut toujours avoir en tête pour éviter tout risque d'inversion thermique. On devra tenir compte du ratio :

- contraction gaz chaud / création de vapeur

Débit	Température de la zone gazeuse haute	Volume d'expansion de l'eau	Volume de concentration de la zone gazeuse haute	Bilan
100 L/min	200°C	3.59 m ³	12.62 m ³	- 9.03 m ³
	600°C	6.63 m ³	6.84 m ³	- 0.21 m ³
500 L/min	200°C	17.91 m ³	12.62 m ³	+ 5.35 m ³
	600°C	33.15 m ³	6.84 m ³	+ 26.31 m ³

Expansion de la vapeur et contraction des fumées

(Calculs réalisés par Frank Gaviot Blanc)

Ceci reste un calcul théorique, le rendement de nos lances malgré l'évolution technique ne dépasse pas 50%. Mais cela nous laisse réfléchir sur le débit utilisé pendant notre Pulsing.

Les limites du Pulsing :

- Hauteur de plafond à plus de 3 m (limite de portée de ce jet)
- Surface de plus de 70 m² , le volume de fumée risque de se déplacer sur l'arrière du binôme. Possibilité de travailler à plusieurs binômes en ligne mais ils doivent rester en constante relation et surveillance au moyen de caméra thermique.
- La faible portée du jet oblige les binômes à s'exposer au flux (1/d²)
- Il génère énormément de vapeur si la technique est mal maîtrisée.

Image de vaporisation, « effet cloche » :



2/- Le **PENCILING** : (trad : coup de crayon)



Il est utilisé dès la vision du foyer.

Technique :

- Lance légèrement ouverte (le but n'est pas de créer de la vapeur)
- Fermeture dès l'impact de la gerbe d'eau sur le foyer.
- Atteindre la base du foyer

Le but est d'avoir une **action directe sur le foyer**, on a vu sur le TP que l'action en jet droit sur le foyer avait une durée d'action plus importante et un fort pouvoir de pénétration.

Le but est de casser la dynamique du feu.

On utilise un jet droit pour pénétrer au mieux le rayonnement du foyer et ne pas créer de vapeur inutile.

3/- Le PAINTING : (trad : peinture)

Il est utilisé dans plusieurs phases :

Technique :

- Lance très légèrement ouverte
- Jet grossier sans importance (purge)
- Débit limité

Lors de la phase d'extinction ce jet consiste à venir « **noyer** » le foyer pour stopper toute pyrolyse et venir arrêter toute combustion.

Il permet de **stopper toute production de gaz et supprime aussi la source d'ignition.**

Lors de la phase de progression il est également utilisé pour **stopper la pyrolyse des matériaux environnants**, et limite ainsi l'ajout supplémentaire de gaz inflammable dans le volume.

Il est aussi parfois utilisé pour les passages de porte, de manière à inerte l'encadrement de porte et limiter ainsi la propagation.

C'est la combinaison de ces différentes techniques lors de notre progression qui nous permettra de travailler avec plus de sécurité.

Les Progressions Rapides du Feu

R.F.P (Rapid Fire Progress)



Les termes accident, ou phénomène thermique sont souvent utilisés dans les ouvrages.

Nous utiliserons « **les progressions rapides du feu** » pour les classer, car ils ne sont pas toujours liés à un « accident » mais peuvent être une suite et une évolution rapide du feu tout à fait normale.

Les PRF sont classés en trois grandes familles :

- **Flashover**
- **Backdraft**
- **FGI (Fire Gaz Ignition)**

Nous utilisons les termes dans leurs langues d'origine, car leur traduction a parfois pu entraîner des incompréhensions.

Le Flashover

Déjà abordé lors du chapitre sur le développement d'un feu, le Flashover est défini comme étant **la transition soudaine et continue d'un incendie en phase de croissance à un incendie de plein développement.**

On peut cependant différencier deux types de Flashover :

1- Flashover « commun » :

C'est l'évolution normale du développement d'un feu ventilé, et bien cette transition entre une phase de croissance et une phase de plein développement.

L'effet convectif du transfert de chaleur combiné à l'effet radiatif des fumées et matériaux provoque la montée en température de tous les objets dans la pièce.

Cette montée en température entraîne une production très importante de gaz de pyrolyse et **c'est bien cet apport massif de combustible qui sera l'élément déclencheur.**

L'apparition de Roll-over (front de flamme se déplaçant dans les fumées) augmente encore la température dans la pièce et accélère le processus. On assiste à un emballement thermique qui va aboutir à l'embrassement de la pièce entière et au Flashover.

2- Flashover induit par la ventilation :

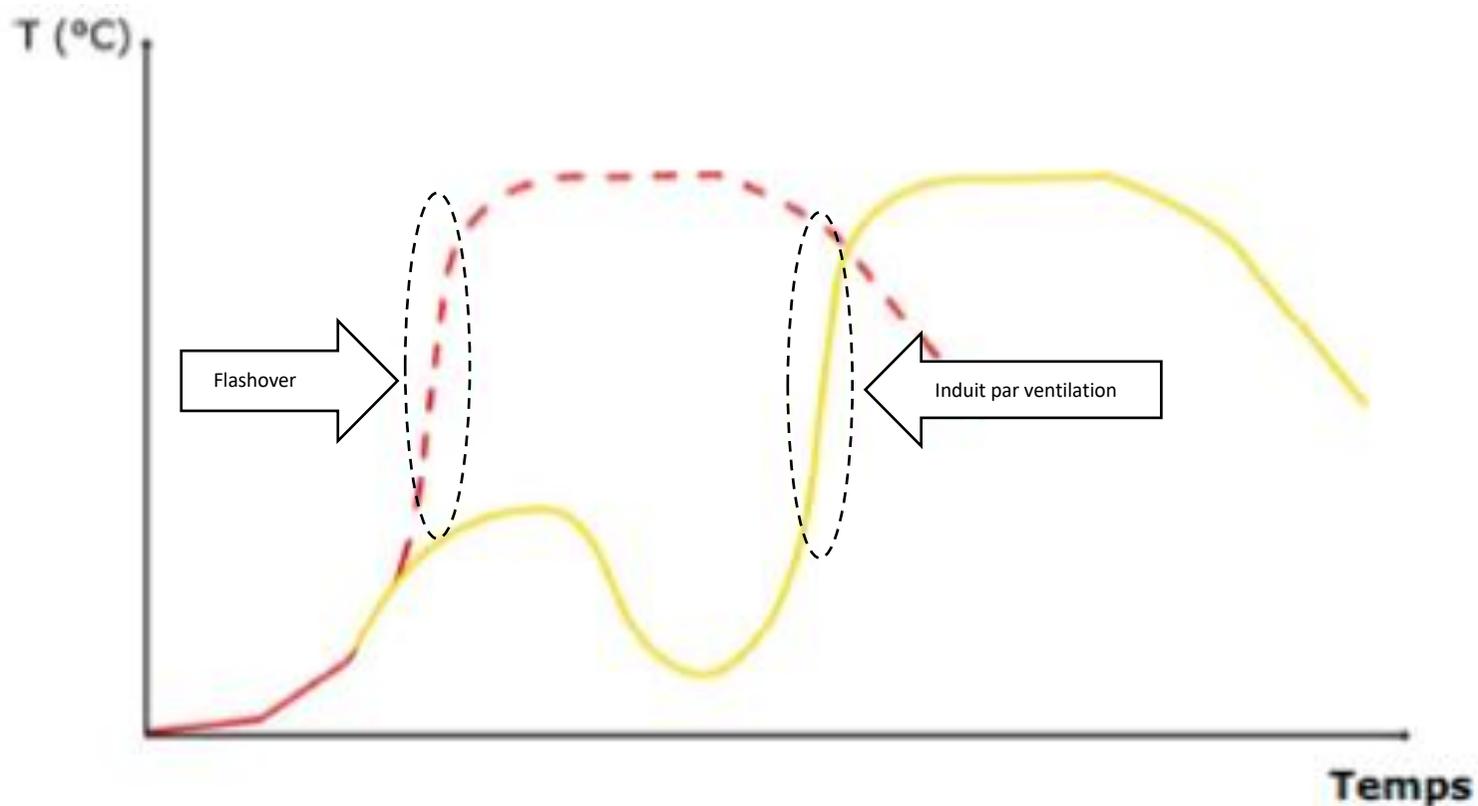
Un Flashover induit par la ventilation se produit **lorsqu'un feu devient sous-ventilé**. Il a accumulé suffisamment de chaleur au moment de son passage de feu contrôlé par le combustible à feu contrôlé par la ventilation. Dans ces conditions, beaucoup d'objets vont continuer à pyrolyser.

S'il intervient à ce moment là **un changement de profil de ventilation, un apport massif de comburant** va alimenter le feu.

La fumée dans la pièce va s'embraser et en quelques secondes le feu va atteindre sa phase de plein développement.

C'est l'augmentation du facteur de ventilation qui va déterminer la rapidité du Flashover induit par la ventilation.

Comparons les sur une représentation graphique :



(Graph : Karel Lambert)

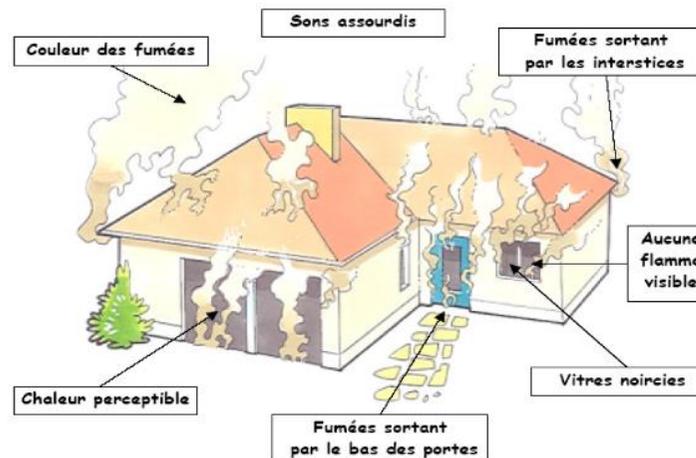
Le Backdraft

Le Backdraft est **un phénomène explosif**. Pour qu'il se produise certaines conditions doivent être présentes.

Le feu doit se trouver dans **un compartiment clos**. Il faut que celui-ci se remplisse suffisamment de produit de combustion et de pyrolyse. A cause des caractéristiques du compartiment (étanchéité à l'air, isolation...) le feu va passer en **sous ventilation**.

La concentration des gaz présents et contenus dans le volume passe **alors au-dessus de la limite supérieure d'explosivité**.

Les signaux d'alarme d'un backdraft nous ont toujours été enseignés durant nos formations :



Si dans cette configuration là **le profil de ventilation change**, l'air frais va s'engouffrer.

Il y aura l'apparition d'une veine d'air dans la pièce qui va créer une zone de prémélange. C'est le retour du courant de gravité.

C'est au moment de la réactivation du foyer et de l'apparition des flammes que le phénomène va se déclencher.

Un Backdraft s'annonce par des **rouleaux de fumées** vers l'extérieur très significatifs dû à la surpression.

Un front de flammes va s'extérioriser du volume accompagné **d'une vague de pression et d'une très forte augmentation de la température.**

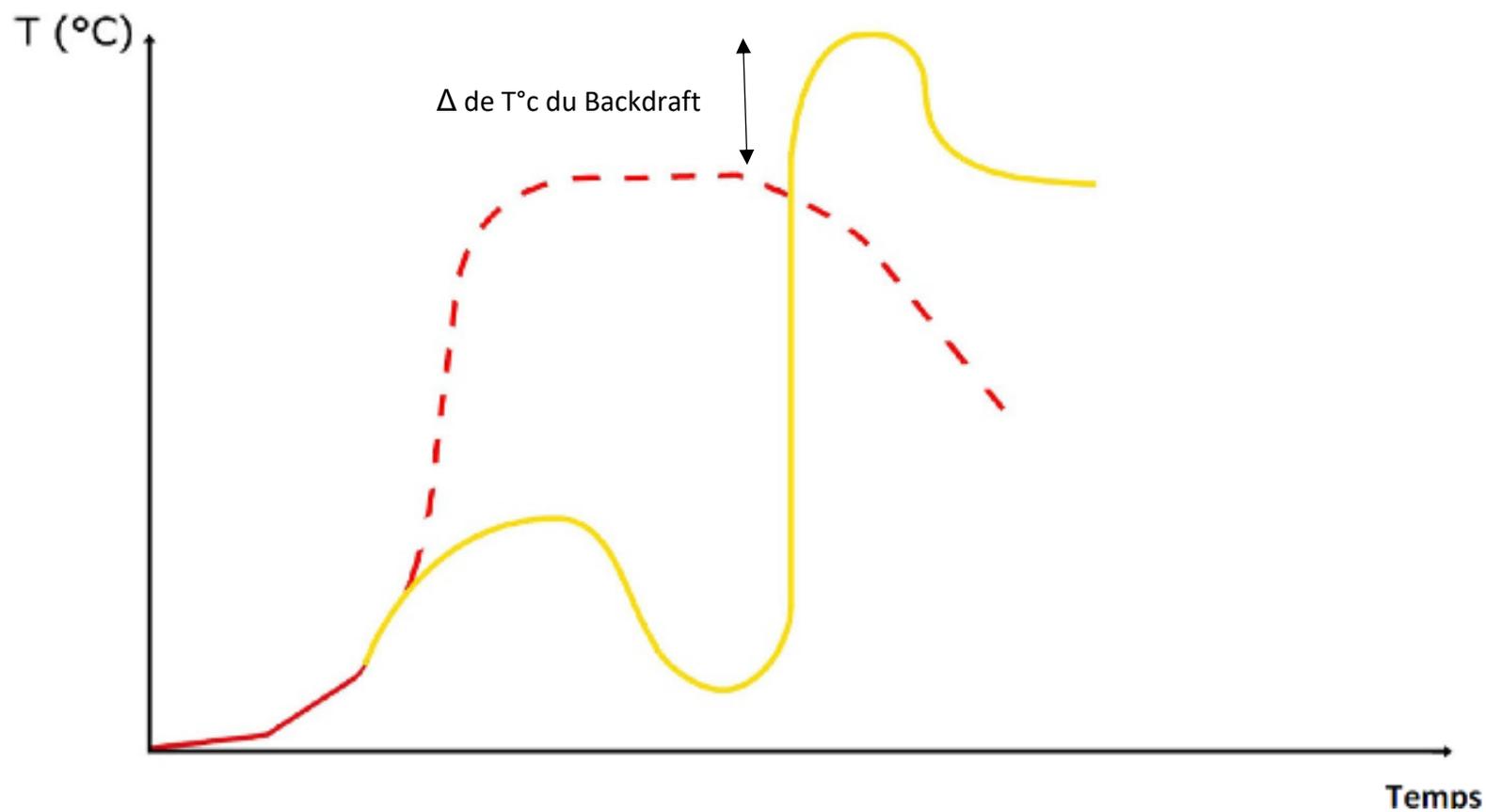


C'est le BACKDRAFT

Un autre phénomène dont l'origine est l'air est **l'auto-ignition.**

Il se produit notamment lors de trouée en partie haute où le mélange gazeux hautement concentré et à température d'auto-inflammation rencontre l'air frais extérieur et s'embrase spontanément.

Représentation graphique du Backdraft (Karel Lambert)



Les F.G.I.

(Fire Gaz Ignition)



Les FGI surviennent de la même manière que les explosions de gaz que l'on peut retrouver suite à une fuite de gaz dans une habitation.

Les fumées d'incendie, chargées en produits de combustion et aussi en produits de pyrolyses imbrûlés, **viennent à s'accumuler dans des pièces adjacentes ou des volumes cachés** (faux plafond, plancher surélevés...)

De cette manière, le volume contient **un mélange d'oxygène et de combustible gazeux** qui peut s'enflammer.

Si on apporte une source d'ignition au sein de ce mélange, celui-ci peut alors s'enflammer.

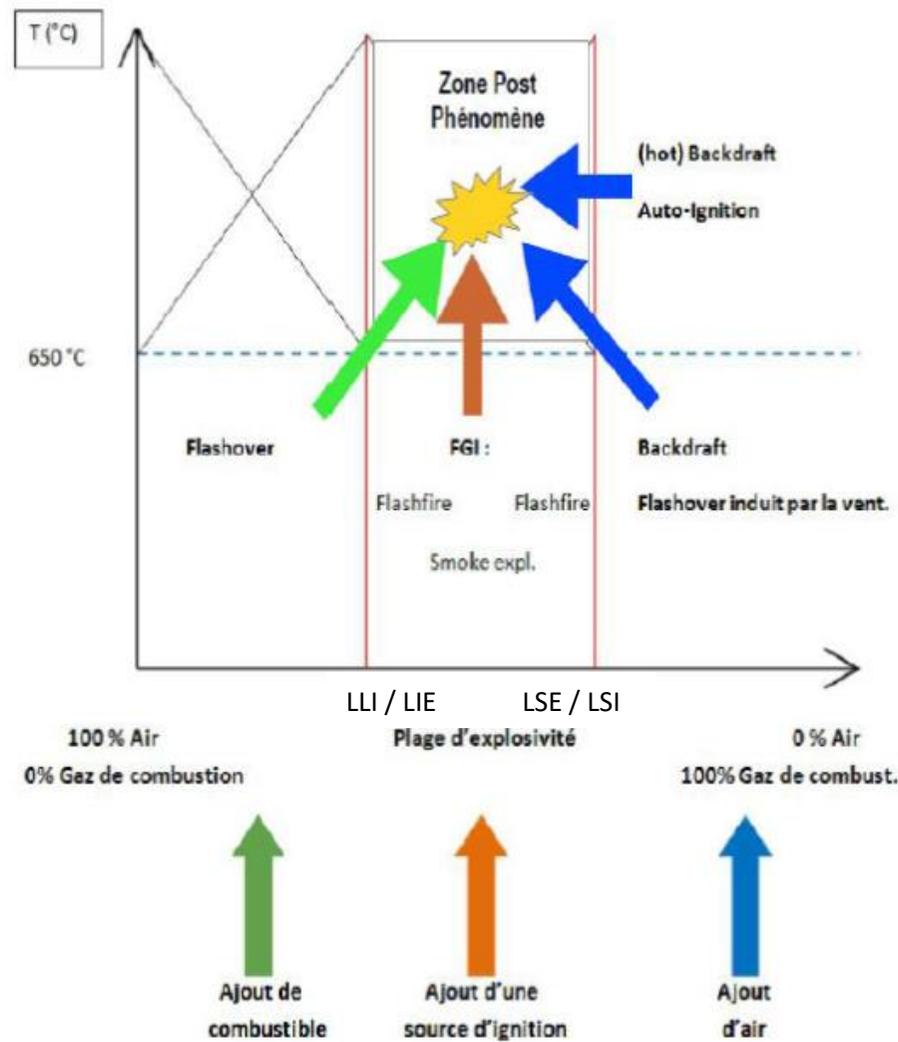
L'élément déclencheur sera donc l'énergie, que cette énergie soit une étincelle, une braise, une flamme ou la température d'auto-inflammation des gaz.

Plusieurs phénomènes rentrent dans la catégorie des FGI.

Le type de phénomène qui va se produire est déterminé par la nature et la concentration du mélange gazeux :

- **Flash-fire** : inflammation de fumées (sans phénomène explosif), contenant assez de produit de pyrolyse imbrûlés. Le mélange se situe au niveau de la LII/LSI.
- **Smoke explosion** : explosion de fumées, contenant assez de produit de pyrolyse imbrûlés. Le mélange se situe au niveau de la LIE/LES. L'explosion de fumée peut concerner de la fumée chaude ou froide. Afin de produire un effet explosif, les gaz sont dans un état de prémélange.
- **Anges danseurs, roll over** : inflammation de poches de gaz dans les fumées d'incendie. Souvent signes précurseurs d'un Flashover, ils indiquent une température très importante de la zone gazeuse haute.

Synthèse des Rapid Fire Progress. (graphique Karel Lambert)



Indicateurs de comportement du feu

(F.B.I. Fire Behavior Indicator)

« Chaque feu émet des signaux qui peuvent aider à déterminer sa phase de développement et les changements qui risquent de se produire. Pouvoir les évaluer est essentiel afin de choisir la stratégie adéquate et la tactique à suivre. Etre capable de « lire le feu », c'est pouvoir prendre des décisions basées sur ses propres connaissances et ne pas s'appuyer sur de simples conjonctures ou compter sur la chance. »

Shan Raffel

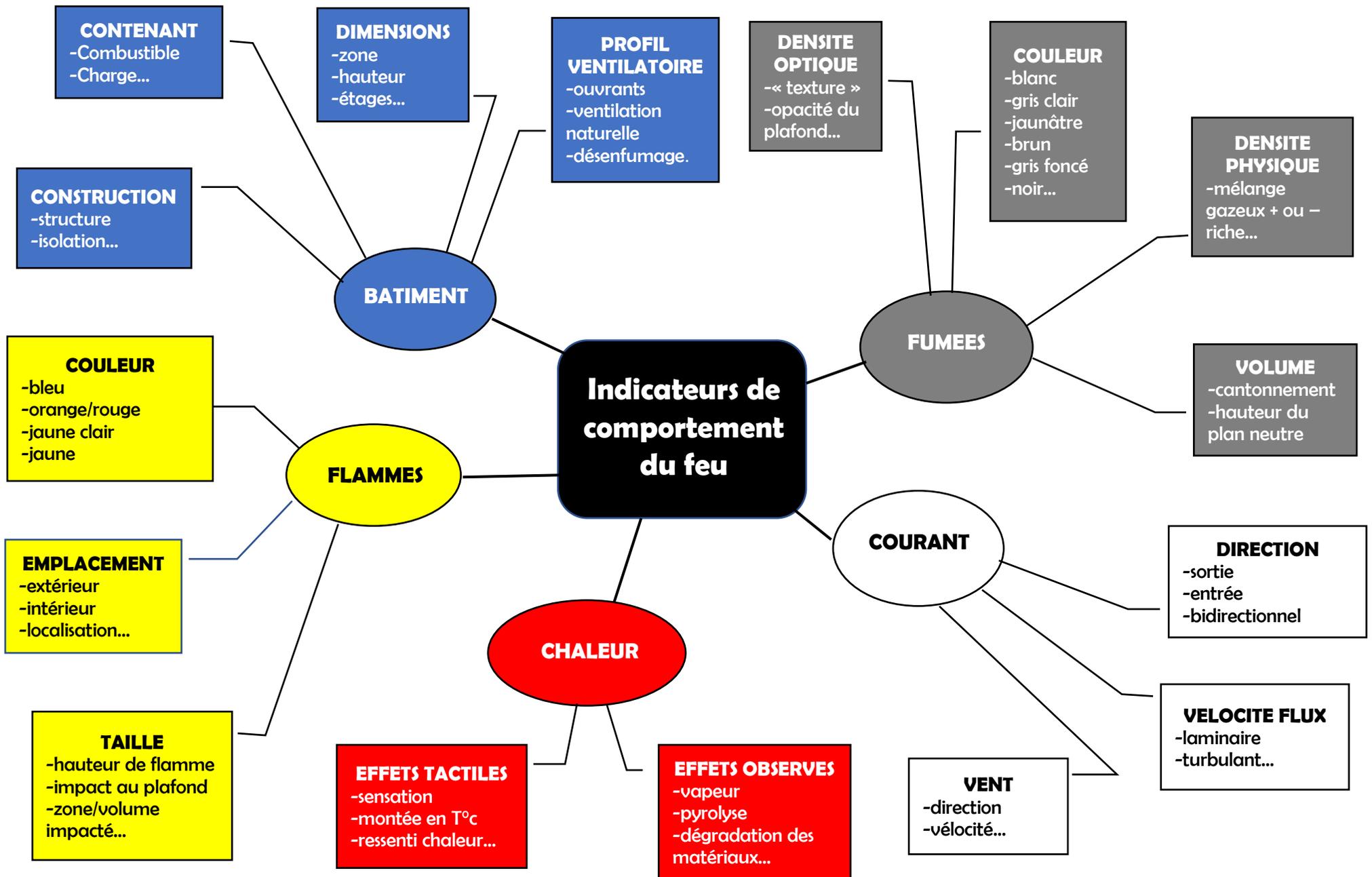
Ces signaux nous sont délivrés par plusieurs facteurs, qui sont systématiques dans notre démarche de « lecture du feu ».

Ces facteurs sont référencés sous le modèle B-FCTF dans certains ouvrages :

- **Le Bâtiment**
- **La Fumée**
- **Le Courant**
- **La Température (ou chaleur)**
- **Les Flammes**

Il est important de prendre tous ces indicateurs dans leur ensemble, pour nous aider lors de la lecture du feu en phase de reconnaissance et dans le cadre de l'évolution dynamique des risques.

Certains facteurs sont relativement immuables (ex : bâtiment) et d'autres assez dynamiques, changent à mesure que le feu se développe (fumées, flammes...)



Ces indicateurs seront constamment analysés pour le pilotage du simulateur.

BATIMENT	Malgré que le simulateur soit une structure fixe, le facteur BATIMENT reste relativement variable grâce à plusieurs accessoires : Le rideau, les ventaux, les fenêtres et exutoire permettent de jouer sur les flux et d'accélérer ou de temporiser certains phénomènes.
FUMÉES	La fumée sera notre principale aide dans la lecture et dans l'anticipation des phénomènes recherchés. De par leur couleur : <ul style="list-style-type: none">- Volute blanche de vapeur d'eau lors de la déshydratation des matériaux- Très noires, très chargées et chaudes post Flashover avec grosse production de produit de combustion (combustion incomplète)- Plus claire grise, teintée jaunâtre lors de phase de sous-ventilation. De par leur densité, leur volume, leur concentration...

<p>COURANT</p>	<p>L'analyse de la zone neutre sera un indicateur précieux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La vitesse d'écoulement des flux - Turbulant ou laminaire - La hauteur pour la notion de volume de gaz... <p>Chaque changement de cette zone neutre nous indique un changement de régime du feu. (information d'une ventilation soudaine...)</p>
<p>CHALEUR</p>	<p>Grâce à des témoins placés à différents endroits et à leur stade de vaporisation ou de pyrolyse, on peut « observer » les effets de la chaleur.</p> <p>Les thermocouples seront un indicateur de température important. Mais la sensation de chaleur et le ressenti du stagiaire sera l'indicateur de chaleur principal.</p> <p><i>Attention à ne pas exposer les stagiaires à un stress thermique lors de la recherche d'une phase de feu où d'un phénomène.</i></p>
<p>FLAMMES</p>	<p>Lors de la phase de croissance plusieurs stades seront attendus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formation d'une colonne de flammes - Impact des flammes au plafond (accélération de la croissance) - Extériorisation de la zone feu (Flashover imminent) <p>L'apparition de flammes dans le plafond de fumée du volume adjacent seront des indicateurs importants, par l'apparition des premiers Roll over ou par l'apport d'une torchère dans ces fumées...</p>

Cadre général du rôle d'opérateur

Veillez à faire respecter les consignes d'utilisation du simulateur, délivrées par le constructeur.

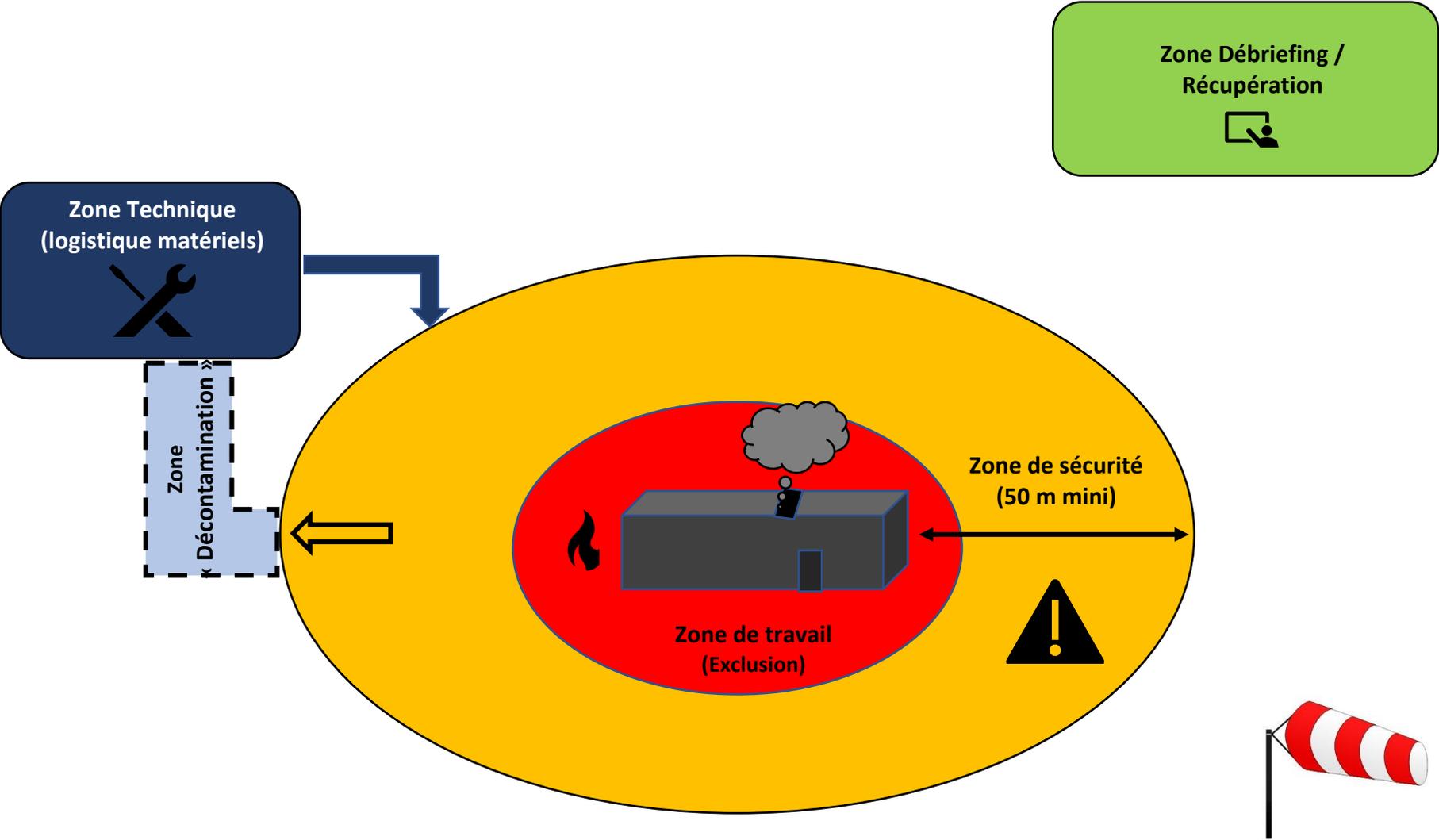


Le rôle de l'opérateur dans l'organisation d'une action de formation nécessite une anticipation, une logistique et une rigueur avant, pendant et après la séquence.

photo by Hakim O SDIS08

Préparation du site de formation :

L'organisation du site de formation autour du simulateur passe par l'implantation de plusieurs zones :



Malgré le traitement des fumées et l'utilisation de combustible « propre », des études ont montré que des retombées de particules étaient retrouvées autour du simulateur jusqu'à 50m.

Ces particules toxiques étant très volatiles, il est difficile d'installer ces zones en fixe, car l'influence du vent sera un élément très important à prendre en compte dans l'implantation du site.

- **Zone de travail** : Elle doit être matérialisée autour du simulateur. C'est une zone d'exclusion pour toute personne autre que stagiaires et formateurs. L'accès à cette zone se fera sous protection respiratoire ARI ou masque FFP3 (à froid).
- **Zone de sécurité** : C'est ce périmètre de 50m autour du simulateur, approximatif en fonction du sens du vent, qui doit être évité pour délimiter les autres zones car soumis au retombé de particules.
- **Zone de « décontamination »** : C'est un sujet d'actualité sensible. Différentes actions sont réalisées en fonction des pays et des cultures. Rien n'est déterminé d'un point de vue réglementaire, mais certains gestes semblent simples et peu onéreux :
 - Utilisation de gants usage unique pour habillage / déshabillage
 - Mise en place d'un pédiluve pour rinçage des bottes
 - Brossage manuel sous un léger flux d'air de ventilateur
 - Brossage humide
 - Douche...

- **Zone technique** : C'est la zone où s'effectue le déshabillage, le stockage et le nettoyage du matériel. Il est important de retrouver dans cette zone de quoi poser, nettoyer et réparer son matériel si besoin entre deux séquences. L'utilisation de gants à usage unique pour la manipulation des matériels et EPI sortants du simulateur est importante.
- **Zone débriefing / récupération** : Cette zone doit être espacée le plus possible du simulateur et autres nuisances sonores. Il est important de pouvoir s'asseoir et d'avoir de l'eau potable pour la réhydratation. Cet endroit doit tenir compte des conditions climatiques (pluie, froid, chaleur...). Du matériel pédagogique (tableau, feutres..) peut être utile pour les phases de débriefing.



Préparation des équipements collectifs :

- Une vérification de points de contrôle du simulateur pour chaque journée de formation doit être établie : exutoire, ouvrants, rideau, mise en route traitement des fumées...
- Mise en place du dispositif hydraulique : deux lances sur un moyen hydraulique alimenté.
- Mise en place du foyer et d'une caisse de matériel d'allumage.

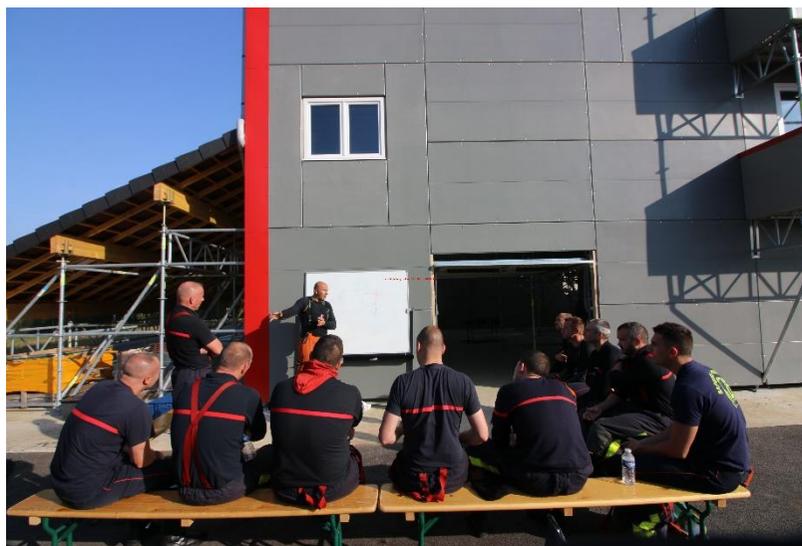
Vérification des équipements individuels :

- Il est important de prendre en compte les caractéristiques techniques des EPI des stagiaires et de vérifier leurs sous-vêtements.
- Mise en place d'un sas d'entrée pour la zone de travail pour le contrôle des ARI et EPI juste avant la mise en application.

Le simulateur est un outil sécuritaire mais pas sans danger, il est important de veiller à la sécurité avant, pendant et après les brûlages.

Réaliser un briefing et débriefing pédagogique :

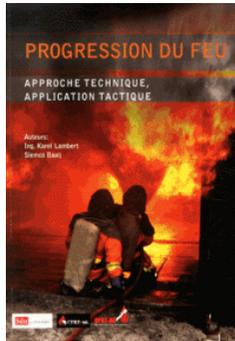
- Le briefing doit présenter l'objectif pédagogique de la séquence, l'organisation logistique et les consignes de sécurité. Il doit être clair, simple et concis.
- Le débriefing s'appuie sur le ressenti des stagiaires et leurs observations. Cela permet d'ouvrir sur un approfondissement théorique de la séquence.



Participer au reconditionnement du matériel...

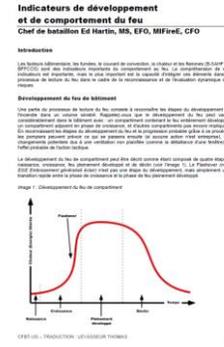
Bibliographie

Voici les auteurs et ouvrages cités dans la production de ce document :



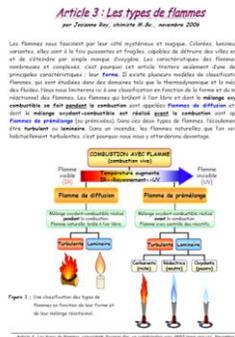
Karel Lambert
Siemco Baaij

PROGRESSION DU FEU
Approche Technique,
Application Tactique.



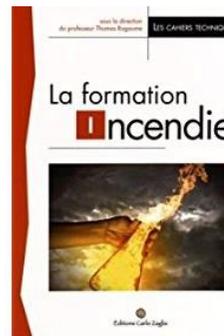
Ed HARTIN

Indicateurs de développement et de comportement du feu.



Josianne Roy

Les types de flammes.



Thomas Rogeaume
(divers auteurs)

La formation Incendie.

Merci au SDIS 08 et à Hakim Outtighir pour ses photos issues de leur formation PSC.



Contactez-nous :

commercial@pompierssecuriteconcept.com

www.pompierssecuriteconcept.com



Siège social : 8 rue de la colombine, 39100 JOUHE

Portable: +33(0)6 10 83 69 83 / +33(0)6 20 28 44 45
Tél: +33(0)9 82 12 20 57