



Feu

10 avril 2018 – 6 janvier 2019
Enseignants de cycle 3, de cycle 4 et de lycée

Présentation de l'exposition et informations pratiques



Département Éducation et Formation

Cité des sciences et de l'industrie

30 avenue Corentin-Cariou

75019 Paris

www.cite-sciences.fr

2018

cité

sciences
et industrie



feu

exposition
10 avril 2018
— 06 janvier 2019



M > Porte de la Villette
cite-sciences.fr
#ExpoFeu

En partenariat avec



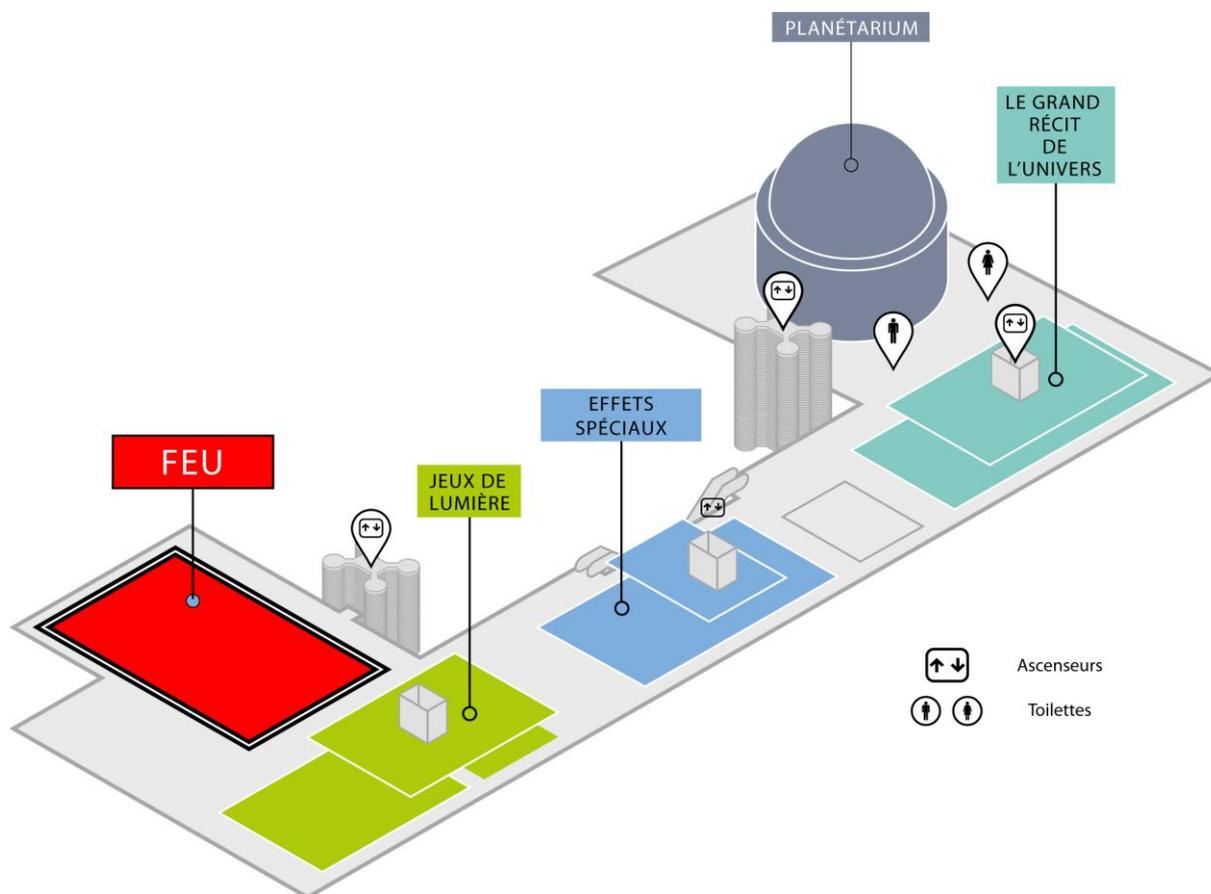
Photo: J. L. L. / Contrasto - Getty Images / Contrasto - Getty Images / Contrasto - Getty Images

Sommaire

1	Situation et plan	4
2	Propos	5
3	Contenu	
3.1	Entrée	6
3.2	Apprivoiser le feu	7
3.3	Comprendre le feu	13
3.4	Combattre les incendies	22
4	Informations pratiques	30

1 Situation et plan

L'exposition *Feu* occupe une surface totale de 900 m². Elle prend place sur le balcon nord, au niveau 2 de la Cité des sciences et de l'industrie.



L'exposition est accessible en français, en anglais et en italien.

Présenter du feu dans les salles d'exposition et autres espaces accessibles au public est extrêmement compliqué du fait d'une réglementation très contraignante et des principes de précautions en place dans les établissements tels que la Cité des sciences et de l'industrie.

Il n'y aura pas de feu (combustion) réel dans l'exposition pour des raisons de sécurité. La présence du feu sera donc essentiellement matérialisée par la scénographie.

2 Propos

La maîtrise du feu a été d'une importance capitale pour l'humanité. Elle a entraîné un profond bouleversement de la vie quotidienne et du psychisme humain. Notre rapport au feu a évolué au fil du temps mais il demeure un objet de fascination et de peur. Il renvoie à la chaleur, à la vitalité, à la convivialité, à la création, au progrès, à la technique... mais aussi au danger et à la destruction. L'exposition s'intéresse à différents aspects de la maîtrise du feu par l'être humain et se compose de trois parties.

- ① Apprivoiser le feu : le feu à la préhistoire, les mythes de l'origine du feu, les rites et célébrations liés au feu, les arts du feu.
- ② Comprendre le feu : la combustion, les flammes, la chimie, la physique du feu, la place du feu dans nos sociétés, la recherche, les applications de pointe, les enjeux.
- ③ Combattre les incendies : les incendies urbains et de forêt, la prévention et la lutte contre l'incendie, l'ingénierie de la sécurité incendie, les gestes à faire en cas de feu.

Une ligne directrice : la maîtrise du feu

L'exposition décline la thématique de la maîtrise du feu. Il est question de la découverte et de la maîtrise empirique du feu avant – ou au-delà de – la compréhension des phénomènes en jeu. Nous nous intéressons également à sa maîtrise scientifique et aux défis auxquels chercheurs, ingénieurs, industriels, etc. tentent de répondre. Il s'agit aussi du feu hors de contrôle : comment l'éviter et/ou reprendre le contrôle ?

Le sujet « feu » révèle de multiples facettes. L'exposition sollicite l'éclairage de diverses disciplines : archéologie et préhistoire, histoire, sociologie, anthropologie, physique-chimie, écologie, ingénieries, arts... Elle se penche sur la problématique du feu hier, aujourd'hui et demain, en tenant compte, entre autres, des questions environnementales. Elle s'attache à montrer l'ambivalence du feu : il peut à la fois un ami et un ennemi pour l'être humain ; il est synonyme de chaleur et de convivialité mais aussi de violence et destruction.

Les objectifs

- Montrer l'ingéniosité technique déployée autour du feu depuis plusieurs centaines de milliers d'années et ses apports considérables pour l'humanité.
- Faire mieux comprendre le feu pour contribuer à mieux l'utiliser et s'en protéger.
- Faire changer le regard sur le feu et déconstruire les idées fausses.
- Développer la culture de prévention et de maîtrise des risques.
- Créer des vocations en présentant la diversité des métiers qui travaillent / étudient le feu.
- Rendre hommage au travail des pompiers.

3 Contenu

3.1 Entrée

De quel feu ou plutôt de quels feux parle-t-on ?

- Le feu polysémique

« Feu » est un mot polysémique. Les définitions courantes, des sens propres ou figurés du mot qu'en donnent les dictionnaires illustrent bien ce fait : dégagement d'énergie calorifique et de lumière accompagnant la combustion vive ; matières rassemblées et allumées (pour produire de la chaleur) ; embrasement, incendie ; combat, guerre ; toute source de lumière (feux de projecteurs, feux de la rampe) ; signal lumineux ; se dit de tout ce qui est ardent, passion amoureuse...

On le trouve dans de nombreuses expressions de la langue française. En voici quelques exemples : avoir le feu sacré, faire feu de tout bois, jouer avec le feu, feu de paille, feu de joie, il n'y a pas le feu, n'y voir que du feu, la part du feu, jeter de l'huile sur le feu, ne pas faire long feu, être tout feu tout flamme, se trouver entre deux feux, mettre sa main au feu, etc.

Il existe de telles expressions en anglais, en italien et dans de nombreuses autres langues. Elles révèlent les multiples facettes du feu.

L'exposition vise, entre autres, à enrichir la vision de vos élèves sur le feu et à déconstruire les idées fausses. Tout en montrant la richesse des acceptions du mot « feu », l'exposition retient la définition adoptée par les scientifiques aujourd'hui, qui parlent de combustion et de flammes et n'emploient plus le mot « feu ». Cette définition exclut donc des phénomènes assimilés au feu dans le sens commun tels que la foudre, le Soleil, l'incandescence ou la lave des volcans.

- La maîtrise du feu

La maîtrise du feu a été d'une importance capitale pour l'humanité. L'exposition se focalise sur le rapport homme – feu et les efforts du premier pour maîtriser le second.

- Le feu ambivalent

Protéiforme, le feu est à la fois ami et ennemi, synonyme de chaleur et de convivialité mais aussi de violence et de destruction. Élément central dans le processus d'homínisation, vecteur du développement industriel, son usage est aussi grandement responsable du changement climatique. Le feu reconforte et effraye, protège et menace, fertilise et détruit, calme et embrase. Il est domestique et sacré, outil et nuisance, féminin et masculin, beauté et horreur. Ce caractère ambivalent du feu est décliné tout au long de l'exposition.

Dans *La psychanalyse du feu* (1938), le philosophe Gaston Bachelard (1884 – 1962) écrivait : « Parmi tous les phénomènes, il est vraiment le seul qui puisse recevoir aussi nettement les deux valorisations contraires : le bien et le mal. Il brille au Paradis. Il brûle à l'Enfer. Il est douceur et torture. Il est cuisine et apocalypse. Il est plaisir pour l'enfant assis sagement près du foyer ; il punit cependant de toute obéissance quand on veut jouer de trop près avec ses flammes. Il est bien-être et respect. C'est un dieu tutélaire et terrible, bon et mauvais. Il peut se contredire : il est donc un des principes d'explication universelle. »

- Le feu dans l'imaginaire collectif

Nous sommes porteurs de nombreuses représentations, et parfois d'idées reçues, à son égard. Les images véhiculées par les films, les livres, etc. révèlent la place particulière que tient le feu dans notre imaginaire collectif.

DISPOSITIF MUSÉOGRAPHIQUE

« Ambivalence du feu et imaginaire collectif »

Une installation multimédia aide à prouver que nous sommes porteurs de nombreuses représentations positives et négatives sur le feu, et que notre rapport au feu est culturel.

3.2 Apprivoiser le feu

Dans cette partie, vos élèves devraient être dans l'écoute et la contemplation.

Quand et comment l'homme a-t-il découvert / domestiqué le feu ?
Qu'a apporté la découverte du feu à l'être humain ?

CE QUE LE FEU A APPORTÉ AUX HOMMES

- Les usages du feu dans la préhistoire

Le feu est synonyme de nombreux atouts pour les hommes depuis la préhistoire : il permet la cuisson des aliments, de s'éclairer et ainsi de s'affranchir du rythme diurne/nocturne de la lumière naturelle, il est un moyen de se défendre des prédateurs. Il devient également un outil : séchage des peaux, enfumage des aliments, transformation de la matière. C'est à partir des indices découverts sur les sites archéologiques que les préhistoriens déterminent ces différents usages. Certains relèvent de faits bien établis, d'autres constituent des hypothèses ou bien des suppositions.

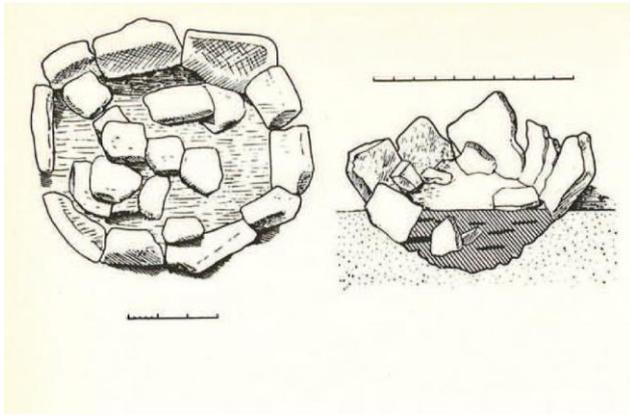


Image de gauche : foyer construit de Makarova, Sibérie, utilisé pour la cuisson des aliments au Paléolithique.

Crédit : *Préhistoire du feu*, Catherine Perlès.

Image de droite : lampe brûloir de la Grotte de Lascaux, Paléolithique supérieur, vers 18 000 av. J.-C.

Crédit : RMN – Grand Palais (musée national de Préhistoire, Les Eyzies) / Franck Raux.

• Le feu dans le processus d'hominisation

Depuis quand l'être humain utilise-t-il le feu ? Les archéologues se penchent depuis longtemps sur cette question et le débat est ouvert ! La seule preuve irréfutable de domestication, au sens d'intégration régulière du feu dans l'univers domestique, reste la découverte de véritables foyers aménagés. Les plus anciens datent d'environ 400 000 ans.

Le feu a représenté un apport incroyable pour l'humanité à long terme. Il permet de rassembler : la préparation (cuisson) des aliments et leur consommation réunit le groupe autour du foyer. Le rythme commun lié à l'alimentation favorise en premier lieu l'intégration du groupe ainsi que la communication entre ses membres. Le feu socialise.

Il insuffle aussi une modification et une diversification du temps : le rapport de l'Homme au temps change. La domestication du feu impose, en effet, certaines activités supplémentaires et requiert ainsi une certaine disponibilité pour les accomplir. De plus, par leur régularité et leur incompatibilité avec les opérations de chasse, ces activités renforcent la différenciation des activités au sein du groupe. D'un temps individuel, indifférencié et immédiat, l'humanité passe à un temps collectif divisé, prédit, organisé (et dans une certaine mesure plus contraignant). L'Homme est le seul être vivant à maîtriser le feu.

Le passage de la non-utilisation du feu à l'utilisation du feu est plus important que celui de la collecte du feu à sa production. L'utilisation du feu marque un profond bouleversement psychique de l'homme préhistorique. Elle requiert des structures mentales adaptées. Le passage à la production du feu, quel qu'en soient les modes, correspond à des découvertes techniques qui ne modifient pas autant les rapports homme – feu.

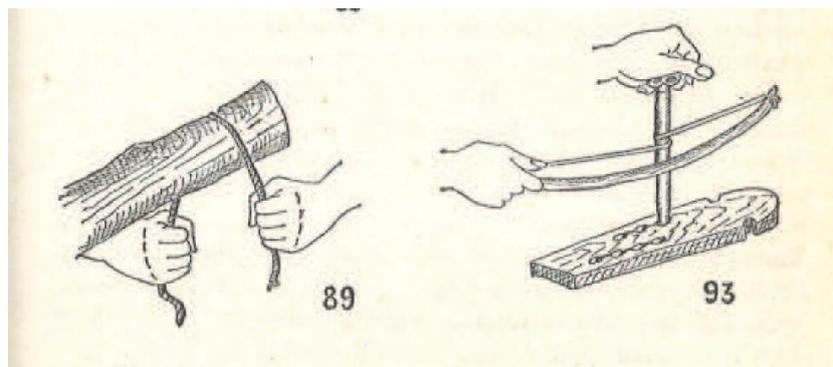


- Le feu dans l'habitat

Le feu / le foyer a été un élément structurant de l'habitation de la préhistoire à nos jours. On sait qu'en Europe, aux siècles passés, l'essentiel de la vie domestique se déroulait dans la pièce qui contenait le feu. De nombreuses activités s'y superposaient de manière informelle : préparation et cuisson des aliments, repas, soins corporels, sommeil... Aujourd'hui, dans l'habitat moderne, le feu apparaît souvent sous la forme indirecte du gaz ou d'électricité, et il suffit de tourner un bouton pour en disposer. Est-ce le cas partout ? Par ailleurs, depuis quelques années réapparaissent des cheminées et surtout des poêles dans les pièces à vivre de nos habitats.

- Techniques de production du feu

Provoquer l'étincelle, embraser, allumer un feu. Quoi de plus courant aujourd'hui ? Pourtant ce geste qui nous paraît très banal ne l'a pas toujours été au cours de l'histoire. Comment ont fait les hommes pour allumer leur feu ? Lumière sur l'ingéniosité technique déployée par les hommes pour allumer le feu de la préhistoire à nos jours.



Production du feu par friction. *L'homme et la matière*, A. Leroi-Gourhan, 1943.

- Arts du feu et des savoir-faire pour transformer la matière

« Il n'est presque aucune opération où le feu n'intervienne. Le feu reçoit des sables, et il rend, ici du verre, là de l'argent, ailleurs du minium, ailleurs le plomb et des variétés, ailleurs des substances colorantes, ailleurs des médicaments. Par le feu [...], le fer est produit et dompté ; par le feu, l'or est purifié ; par le feu est calcinée la pierre qui va, en ciment, assurer la solidité de nos demeures. »

Cette citation tirée *l'Histoire naturelle* de Pline l'Ancien reste d'actualité ! Il s'agit, ici, de mettre en avant le feu comme outil de transformation de la matière et de montrer que cette transformation est associée à une ingéniosité technique humaine et ce, dans le domaine de l'art, de l'artisanat...

- Le feu présent dans de nombreux métiers

De très nombreux métiers nécessitent l'utilisation et la maîtrise du feu. Non seulement les métiers dits des arts du feu (souffleur de verre, céramiste...) mais aussi des métiers que nous n'associons pas automatiquement au feu (facteur d'instrument à vent, prothésiste dentaire, etc.) Il s'agit de donner un aperçu de la diversité des métiers qui ont recours au feu et des différents usages qui y sont fait.



Lino Tagliapietra - verre de Murano

LES SYMBOLIQUES DU FEU

- Mythes et légendes autour du feu

Le statut du feu et son importance dans la vie des hommes en font une thématique majeure des mythes. Un mythe est un récit relatant des faits imaginaires non consignés par l'histoire, mais néanmoins considérés comme vrais pour un groupe, transmis par la tradition. Les récits mythiques sur les origines du feu sont nombreux et présents sur l'ensemble du globe, dans toutes les cultures. Le feu vient de la nature (la foudre), des animaux (les oiseaux, le crocodile, l'ours, etc. à qui le feu est volé ou qui le donnent à l'homme), des dieux (Prométhée vole le feu à Zeus) ou des humains (au début, les femmes en étaient seules propriétaires et les hommes le leur déroberent).

L'anthropologue écossais James George Frazer (1854 – 1941) a recensé ces mythes dans l'ouvrage de référence *Mythes sur l'origine du feu* (1930). Nombreux sont aussi les mythes portant sur la régénération ou la guérison par le feu (le mythe du Phénix, rôle médical attribué aux forgerons), tout comme sur la destruction du monde par le feu.

- Rites liés au feu

La dimension symbolique du feu a largement été explorée par des nombreux auteurs, parmi lesquels Gaston Bachelard reste incontournable en ce qui concerne l'Occident. Cette charge symbolique s'exprime de tous temps par des actes de célébrations (des « fêtes du feu » se rencontrent partout dans le monde), des sacrifices au feu ou par le feu, des rites, des coutumes empreints ou non de connotations religieuses : les célébrations de la Sainte Barbe patronne des corporations liées au feu ; la flamme olympique ; les bûchers des hérétiques du Moyen Âge ou celui de Jeanne d'Arc ; l'adoration du feu en Inde ; les rituels de purification par le feu en Iran ; le festival du feu au Japon (« Nachi no hi matsuri ») ; le feu comme l'un des cinq éléments symboliques du bouddhisme ; le rituel nestinarstvo en Bulgarie (danse pieds nus sur des braises) ; le feu dans l'eau (Apam Napat dans le panthéon iranien) ; les feux de la Saint-Jean (rituel du saut par-dessus le feu) ; les feux carnavalesques en général (roues de feu, etc.) ; les feux de l'enfer et de la Géhenne ; les rituels de crémation des défunts ; le rituel de l'allumage du feu nouveau dans la liturgie pascale chrétienne (le cierge pascal est allumé à partir du feu nouveau, lequel doit être lui-même allumé de façon traditionnelle) ; etc. On s'attache à montrer que nombreux rituels liés au feu sont toujours vivaces aujourd'hui.



Phénix tiré du *Bilderbuch für Kinder* de Friedrich Justin Bertuch (1747 – 1822)



Prométhée dérobant le feu, 1637, Jan Cossiers

DISPOSITIF MUSÉOGRAPHIQUE

« Rites et cérémonies liés au feu »

Une installation audiovisuelle montre que les rites, fêtes et célébrations liés au feu sont toujours vivaces aujourd'hui et ce, dans le monde entier.

« La domestication du feu »

Les premières traces ou preuves de l'apparition et des usages du feu dans la vie de l'homme sont présentées sous forme d'objets (facsimilés)... en précisant ce qui relève de faits, d'hypothèses ou de suppositions.

« Ce que le feu a apporté aux hommes »

Une installation audiovisuelle insiste sur l'apport considérable que le feu a représenté pour l'humanité de façon très « immédiate » et concrète (s'éclairer, cuire, chauffer, outil...) d'une part, et dans l'organisation sociale, le rythme de vie, la communication (ex. développement du langage, de l'imaginaire) d'autre part.

« Les arts du feu »

La manipulation de quelques objets met en avant le feu comme outil de transformation de la matière et montre que cette transformation est associée à une ingéniosité technique et ce, dans le domaine de l'art et de l'artisanat.

« Allumer le feu »

A l'aide d'objets, d'un audiovisuel et d'un graphique, on présente aux élèves des exemples de l'ingéniosité technique déployée par les humains au cours du temps pour allumer un feu (par percussion, friction, ou procédés physico-chimiques).

« Mythes de l'origine du feu »

Un dispositif audio fait prendre conscience aux élèves que le statut du feu et son importance dans la vie des hommes en font une thématique majeure des mythes. On propose à l'écoute quelques mythes emblématiques sur l'origine du feu.

3.3 Comprendre le feu

Dans cette partie, vos élèves devraient être dans la découverte, l'observation, l'analyse et les questionnements.

Qu'est-ce que le feu ? Quels sont les enjeux actuels autour du feu et les perspectives ? Pourquoi faire de la recherche en combustion et flammes ?

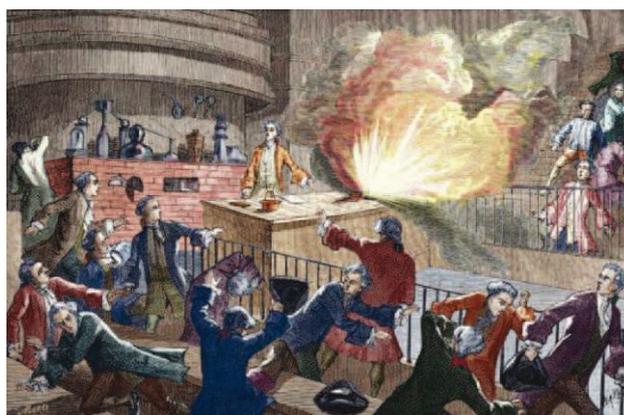
QU'EST-CE QUE LE FEU ?

- Conceptions du feu au cours de l'histoire

Le feu fut longtemps un phénomène chargé de mystère. La compréhension de la nature du feu fut très lente à se mettre en place. Au V^e siècle avant J.-C., le philosophe présocratique Empédocle décrivait l'Univers comme constitué de quatre éléments fondamentaux : l'air, l'eau, le feu et la terre.

Pour Platon et Aristote, ces éléments se transforment les uns dans les autres et composent les objets environnants, vivants ou non. Le feu occupe une place singulière dans cette vision du monde : c'est l'élément actif, il est mouvement et force. Cette conception du feu perdura pendant de nombreux siècles. Développée principalement par l'allemand Georg Ernst Stahl (1659 – 1734) au XVIII^e siècle, la théorie du phlogistique considère que tous les corps renferment en eux une substance invisible appelée phlogistique qui, quand elle s'échappe devient visible : c'est le feu. Il faudra attendre les travaux du chimiste Antoine Lavoisier pour commencer à entrevoir une véritable explication scientifique.

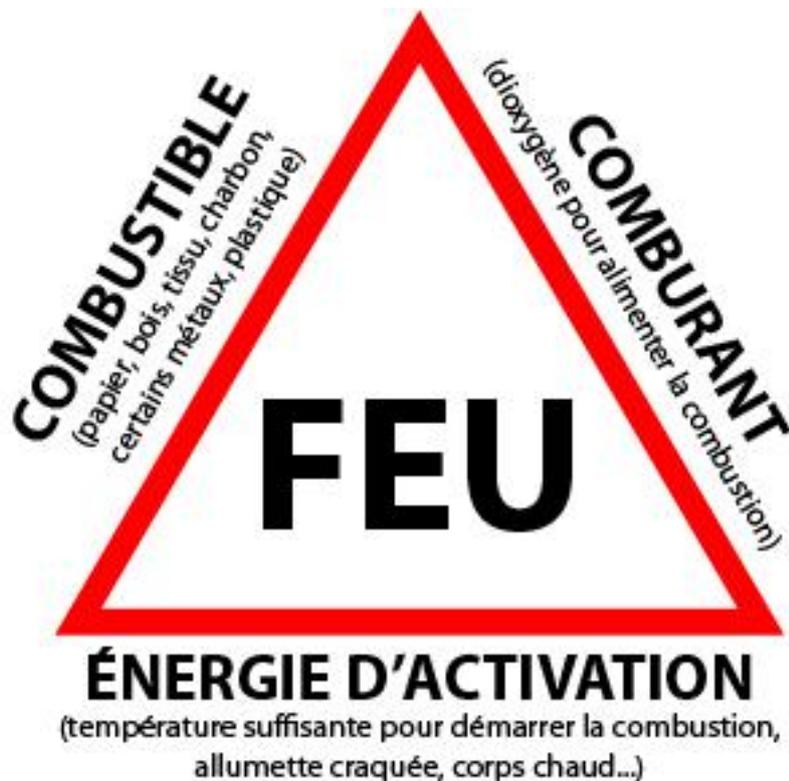
Il s'agit de broser les grandes étapes de l'histoire de compréhension scientifique du feu... même si le mot « feu » n'est plus employé par les scientifiques et les ingénieurs aujourd'hui, qui préfèrent traiter de combustion et de flammes.



Un cours mouvementé dans le laboratoire de Guillaume-François Rouelle (1703 – 1770), défenseur de la théorie du phlogistique.

- Les ingrédients de la combustion / le triangle du feu

Le feu correspond à une réaction chimique d'oxydoréduction appelée combustion. Il s'agit d'une oxydation plus ou moins rapide du combustible (le plus souvent riche en carbone) par le comburant (le plus souvent riche en oxygène). Cette réaction libère de l'énergie, sous forme de chaleur et rayonnement (lumière). Pour la faire démarrer, il faut fournir une quantité d'énergie appelée énergie d'activation qui permet de faire « craquer » les molécules du combustible et du comburant. Les atomes qui en sont issus peuvent alors se recomposer entre eux : la combustion commence... Une fois la réaction lancée, la chaleur qu'elle dégage fournit l'énergie d'activation nécessaire à son entretien. C'est ce que l'on appelle une réaction en chaîne. C'est la chaleur produite lors de cette réaction qui intéresse les hommes pour la transformer en électricité, en énergie mécanique, etc.



- La combustion : un phénomène complexe

La combustion est une réaction bien plus complexe que son bilan ($\text{carburant} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{chaleur}$) ne pourrait laisser croire. Il s'agit en fait de longues séries de réactions en chaîne dans lesquelles de multiples paramètres interviennent.

De nombreuses disciplines participent aux recherches en combustion : chimie, mécanique des fluides, physique thermique, sciences des matériaux, acoustique, informatique, etc. Les chimistes, par exemple, cherchent à caractériser ces séries de réactions et leurs produits intermédiaires (souvent polluants). Les physiciens étudient les différents paramètres en jeu lors de ces réactions à partir de modèles informatiques qu'ils confrontent à des expériences de laboratoire. Il s'agit donc de mettre en équations la combustion et les différents éléments qui peuvent jouer sur son déroulement.

- Qu'est-ce qu'une flamme ?

Il n'y a pas de définition simple de la flamme. Il s'agit de la région de l'espace où, à l'état gazeux, s'effectue la réaction de combustion. Toute combustion produit des flammes même si elles ne sont pas toujours dans le domaine du visible.

La forme et la teinte de la flamme varient, prenant une infinité d'allures. Une flamme régulière résulte de la combustion de gaz bien mélangés au débit constant. Par contre, la forme de la flamme est très variable lorsqu'une matière hétérogène, comme le bois, brûle.

Quant à sa couleur, elle dépend de la composition chimique du combustible et de la qualité de la combustion (plus ou moins complète). La flamme est lumineuse quand le mélange gazeux contient des particules solides en suspension.

Les chercheurs se penchent sur la structure des flammes dans diverses conditions, sur les perturbations acoustiques sur les flammes, la prévision et la maîtrise des instabilités, etc.



La couleur des flammes



Rappel

Les solides, les liquides et les gaz à haute pression produisent un **rayonnement continu** dont le comportement du pic d'émission lumineuse λ_{\max} est décrit par la loi du déplacement de

Wien : $\lambda_{\max} \approx \frac{2898}{T}$ où λ_{\max} s'exprime en micromètre et T en kelvin. Ainsi, le Soleil ($T \approx 5\,770$

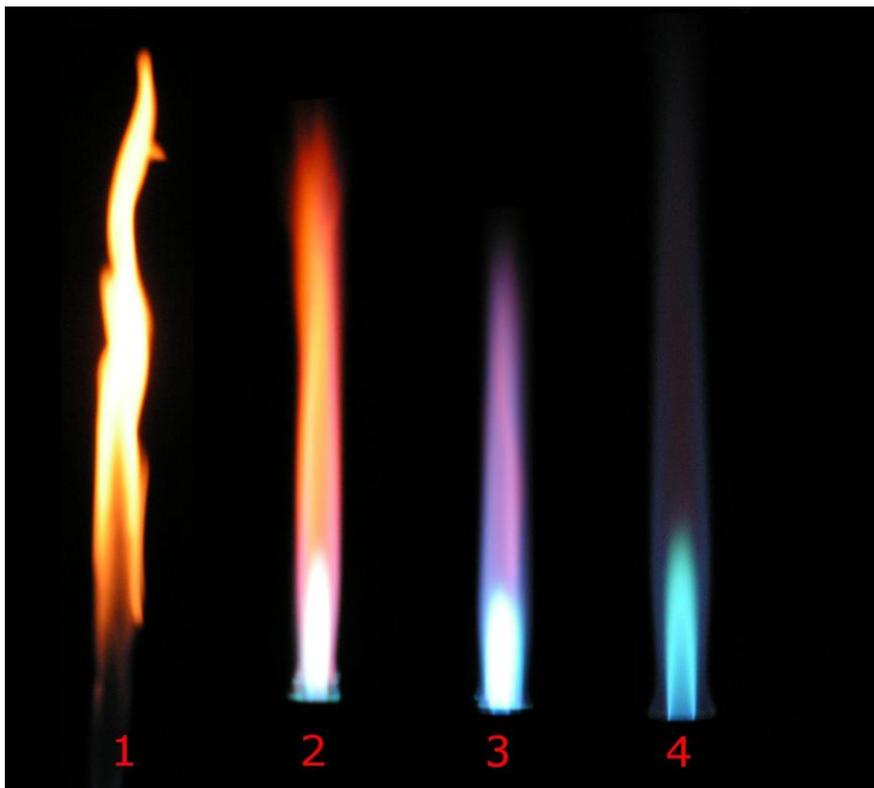
K) émet-il son maximum d'énergie vers $0,5\ \mu\text{m}$ (dans le vert) et la Terre ($T \approx 288\ \text{K}$), vers $10\ \mu\text{m}$ (dans l'infrarouge thermique). Les gaz à basse pression, eux, émettent des photons de longueurs d'onde correspondant à des transitions électroniques, qui décrivent le passage des électrons d'un niveau d'énergie à un autre. Leur lumière possède un **spectre de raies** discrètes. Lorsque l'on a affaire à des gaz polyatomiques, des transitions impliquant des changements de niveaux vibrationnels et rotationnels peuvent, éventuellement, donner naissance à des **spectres de bandes** très riches et complexes.

Un phénomène complexe

La couleur d'une flamme dépend de plusieurs facteurs : le rayonnement continu présenté en rappel, le spectre de bandes en émission et, dans une moindre mesure, les raies spectrales en émission et en absorption.

Prenons un bec Bunsen dont on a fermé complètement la virole. La couleur jaune-orange de sa flamme est due à l'émission thermique (incandescence) de particules de suie très fines qui sont produite *in situ* lors de la combustion incomplète du gaz combustible (méthane, propane, butane).

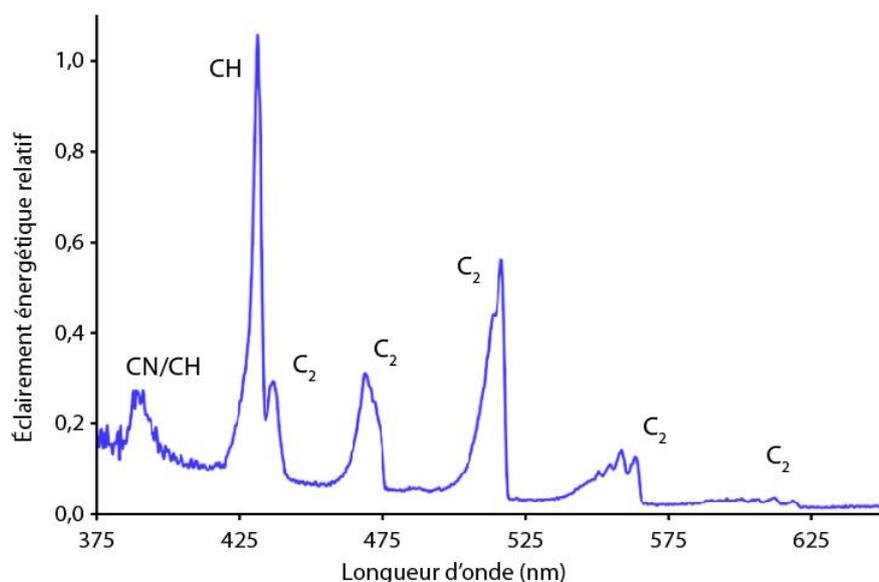
L'ouverture de la virole entraîne un apport d'oxygène qui rend la combustion plus complète. D'une part, les particules de suie sont produites en plus petite quantité. D'autre part, la réaction engendre une quantité d'énergie suffisante pour que les liaisons chimiques des espèces présentes dans la flamme se rompent. Il se forme des radicaux moléculaires, qui se désexcitent en émettant une lumière dans le domaine bleu/vert du spectre visible.



Différents types de flammes d'un bec Bunsen en fonction du flux d'air dans le conduit.

1. Virole fermée. 2. Virole légèrement ouverte. 3. Virole ouverte à moitié. 4. Virole entièrement ouverte.

Crédit : Arthur Jan Fijałkowski / CC BY-SA 3.0.



Spectre de la région d'une flamme où la combustion du butane est complète. On y découvre les bandes d'émission des radicaux CN et CH et celles du carbone diatomique C_2 . L'essentiel de la lumière produite l'est à des longueurs d'onde inférieures à 565 nm : la flamme est bleue. Crédit : Deglr6328 / CC BY-SA 3.0.

LE FEU MIS EN BOÎTE

- Le feu au fondement de la société industrielle

Le feu est au fondement de la société industrielle. « Le feu métamorphose l'industrie, la ville et la vie courante tout au long du XIX^e siècle. [...] Plus de changements se produiront en un siècle qu'en près de deux mille ans, aucun secteur n'échappant à ces transformations. » (Renaud Lieberherr, *Le feu domestiqué, usages et pratiques dans l'architecture mondiale*, Rapport pour l'Unesco, 2006).

L'homme a utilisé le feu pour transformer la matière bien avant de comprendre sa nature. Il réalise que la chaleur dégagée lors d'un feu peut être transformée en énergie mécanique. Ce n'est qu'à partir du XVIII^e et surtout du XIX^e, que l'Europe va produire de façon significative de l'énergie mécanique/motrice à partir de la chaleur issue de la combustion.

L'exposition montre en quoi l'utilisation de la puissance motrice du feu a influencé de façon très significative l'évolution de notre société dite « thermo-industrielle ». À noter, l'extraordinaire catalyseur qu'ont été les guerres dans le développement scientifique et technique et en particulier, ici, dans l'utilisation de la puissance du feu.



Le chemin de fer, un des symboles de la Révolution industrielle.

- Le feu, aujourd'hui encore au cœur de notre quotidien

Aujourd'hui, nous continuons à transformer la matière et à générer une énergie motrice grâce à la chaleur produite par la combustion.

Chaudières et centrales thermiques nous chauffent ou produisent de l'électricité. Nous utilisons des véhicules équipés de moteurs thermiques, nous prenons des avions munis de moteurs à réaction... Le feu, moins visible qu'auparavant, tient-il pour autant une place moins importante dans notre quotidien ? N'est-il pas toujours au cœur de notre société ?

- Du feu dans nos moteurs, nos centrales, nos fours...

On ne le sait pas toujours mais il y a du « feu » dans les moteurs de nos voitures et de celles de la Formule 1, dans les réacteurs des avions et des fusées ; mais aussi dans nos chaudières, dans les fours (divers et variés), dans les centrales thermiques qui produisent de l'électricité... Où et quand intervient le feu dans ces différents secteurs ? Il s'agit à chaque fois d'une combustion bien maîtrisée répondant à des exigences différentes.



Décollage de la fusée Ariane 5. Crédit : CNES.

LES ENJEUX

- Polluer moins

La combustion est la plupart du temps incomplète. Ce qui se traduit par l'émission de polluants comme du monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures imbrûlés (HC), de l'oxyde d'azote (NO_x) et des particules. Les suies, par exemple, sont des particules de faible diamètre, qui se forment par condensation d'hydrocarbures. Elles conduisent à l'encrassement des systèmes (moteurs, chaudières, etc.) et ne sont pas sans conséquences sur la santé humaine. Des technologies ont été mises en place et continuent à être développées dans l'objectif de réduire la pollution soit par un post-traitement des émissions soit par la réduction de la pollution à la source en optimisant les combustions. Ainsi l'émission de polluants par les moteurs automobiles a considérablement diminué en 10 ans.



Les traînées de condensation des avions se forment en particulier sous l'effet des suies polluantes issues de la combustion.

- Émettre moins de CO₂

La combustion émet du CO₂, principal gaz à effet de serre responsable du changement climatique. Il s'agit donc de trouver des solutions alternatives pour réduire voire éviter le recours à la combustion comme moyen de transformation d'énergies.

- Garantir la sécurité

Les physiciens de la combustion s'intéressent à la chaleur et à l'énergie libérées, à la forme des chambres de combustion, aux matériaux, au comportement des flammes, etc. Il s'agit de limiter les éventuels usures et dysfonctionnements pouvant conduire à des destructions (explosions) ou même des arrêts des systèmes (moteurs, fours, etc.).

- Des enjeux à concilier

Après avoir décrit les grands enjeux de la recherche en combustion et les leviers sur lesquels il est possible de jouer, l'exposition montre la nécessité de faire des choix, des compromis, qui sont forcément différents selon le contexte et le secteur industriel – automobile, aéronautique, aérospatial ou autres – les problématiques n'étant pas les mêmes.

Les chercheurs et industriels de la combustion doivent répondre à divers objectifs : améliorer le rendement, limiter les émissions de gaz à effet de serre et de polluants, garantir la durabilité et la sécurité des systèmes, réduire les bruits... Concilier ces objectifs dans le cadre d'une application concrète n'est pas toujours facile.

- Vers une rupture technologique ? sociétale ?

Le choix du feu, c'est-à-dire le recours presque systématique à la combustion a eu un impact majeur dans le développement des technologies nécessaires à nos modes de vie actuels. Ce choix doit aujourd'hui être interrogé face aux enjeux environnementaux : la combustion est la principale cause d'émission de gaz à effet de serre et de particules dans l'atmosphère ; et face aux enjeux énergétiques, des solutions alternatives aux combustibles fossiles pourraient-elles répondre aux besoins énergétiques présents et futurs ? Malgré d'énormes avancées, aujourd'hui, nous approchons des limites de ce qui peut être fait avec les techniques actuelles pour répondre à la demande d'une société toujours plus gourmande en énergie... Les améliorations observées ces dernières décennies sont d'ordre incrémental. De vraies avancées nécessiteraient une rupture technologique. Il faudrait donc s'interroger sur d'autres solutions. Que pouvons-nous changer dans nos modes de vies, dans nos façons de procéder pour réduire l'impact de nos activités ? Ne devrions-nous pas produire et consommer différemment ? Ne devrait-on pas utiliser la combustion uniquement là où elle est (encore) indispensable ? Ces nouvelles solutions annonceraient-elles la fin de l'ère thermo-industrielle ?

DISPOSITIF MUSÉOGRAPHIQUE

« Conceptions du feu au cours de l'histoire »

Un jeu multimédia collaboratif montre que, bien que l'intérêt scientifique pour le feu soit très ancien, la compréhension du phénomène est très récente dans l'histoire (fin XVIII^e siècle). Ainsi, la connaissance ne s'acquiert pas de façon linéaire mais elle est le fruit d'une collaboration de plusieurs scientifiques et techniciens de domaines variés.

« Les ingrédients de la combustion »

Une manipulation montre aux élèves qu'il faut trois éléments (combustible, comburant et énergie d'activation) pour démarrer un "feu". On introduit la notion de proportion entre les éléments de la réaction pour que la combustion ait lieu.

« La combustion : des réactions chimiques en chaîne »

Grâce à une table lumineuse, les élèves découvrent la réaction qui régit la combustion et les flammes dans le cadre d'une combustion complète. La combustion correspond ainsi à un grand nombre de réactions chimiques en chaîne.

« Anatomie de flammes »

À l'aide d'un théâtre optique, d'un multimédia et d'une installation audiovisuelle, on explique ici ce qu'est une flamme grâce à l'exploration de ses caractéristiques physiques et chimiques.

« Le choix du feu (le feu au fondement de la société industrielle) »

Une installation audiovisuelle et des maquettes de machines montrent comment le choix de l'utilisation de la puissance motrice du feu a conduit à fonder une société dite « thermo-industrielle », choix toujours dominant et essentiel aujourd'hui.

« Moteur »

Un moteur pédagogique et un film tourné en laboratoire montrent le feu maîtrisé et contrôlé dans les profondeurs des machines, ici un moteur. La combustion est un moyen de produire du mouvement.

« Chambres à combustion (centrales et fours industriels) »

Ici, un film présente le feu maîtrisé et contrôlé dans une chambre à combustion pour atteindre les conditions nécessaires en fonction des objectifs attendus : produire de l'électricité, transformer des matières, etc.

« Airbag »

On expose le feu maîtrisé et caché dans les profondeurs des machines ou d'objets quotidiens, ici un airbag. Cet usage inattendu de la combustion est explosif !

« Les effets de la combustion : émission de CO₂ »

Un graphisme démontre que l'utilisation massive de la combustion est en grande partie responsable des taux toujours croissants de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air et, conséquemment, de l'augmentation du phénomène d'effet de serre et du changement climatique. Les chercheurs ne restent pas inactifs face à cette situation et tentent de réduire ces émissions de CO₂.

« Les effets de la combustion : les particules et autres polluants »

Un graphisme dévoile que toute combustion émet des particules fines dans l'air. Il convient donc d'améliorer sa qualité ou de traiter ses produits afin de diminuer les polluants émis.

« Vers la fin de l'ère thermo-industrielle ? »

Des interviews ont pour objectif de faire réfléchir les élèves aux conséquences du « choix du feu » en montrant que l'usage massif de la combustion est à l'origine des problèmes climatiques d'aujourd'hui et un réel enjeu d'un point de vue de l'approvisionnement énergétique. Quelles solutions pourrait-on envisager ?

« Mythe de Prométhée »

Un audio fait prendre conscience aux élèves que le statut du feu et son importance dans la vie des hommes en font une thématique majeure des mythes. On propose à l'écoute quelques mythes emblématiques en lien avec le feu et son contrôle technique.

3.4 Combattre les incendies

Le feu hors de contrôle. Dans cette partie, vos élèves devraient être dans l'action.

CONNAÎTRE LES INCENDIES (ÉTUDIER / LIRE LE FEU)

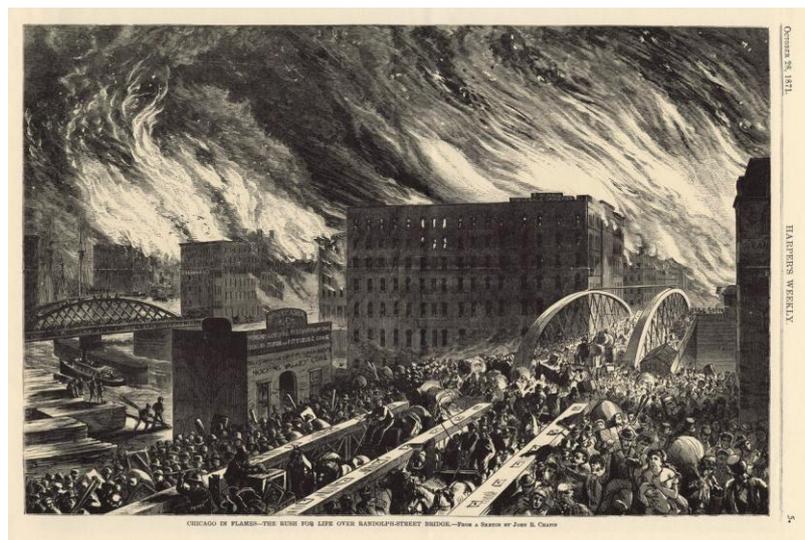
- Qu'est-ce qu'un incendie ?

« Incendie : Grand feu qui se propage en provoquant des dégâts » dit le Petit Robert. L'incendie est un scénario en trois phases : L'allumage du feu, qui pose la question de la détection. La croissance de feu, qui pose celle de la propagation. Les effets du feu, qui posent les questions des fumées toxiques/explosives et de la chaleur, et donc de la protection des personnes et des biens.

Pour éviter, circonscrire, réduire les effets nocifs, se protéger des incendies, chercheurs, pompiers et autres acteurs doivent prendre en compte l'ensemble de ces phases.

- Des incendies historiques

À Rome, au Japon, à Lisbonne, à Moscou, dans de nombreuses villes nord-américaines et françaises... nombreux furent les incendies, accidentels voire volontaires lors de guerres, qui ravagèrent bâtiments, biens et firent nombre de victimes... Ces incendies, au-delà de leur aspect traumatisant, marquèrent aussi l'histoire car il fallut reconstruire et repenser les villes afin qu'elles soient mieux armées contre le feu. Par exemple, des rues moins étroites ou des matériaux comme la brique et la pierre seront choisis pour la reconstruction de Londres après le grand incendie de 1666. Cet événement contribuera aussi à mieux organiser les secours et à jeter les bases des premiers systèmes d'assurance.



« *Chicago in Flames -- The Rush for Lives Over Randolph Street Bridge* ». Le grand incendie de Chicago (8 au 10 octobre 1871) illustré par John R. Chaplin pour le magazine hebdomadaire *Harper's Weekly*.

- Les feux urbains d'aujourd'hui

Les feux ont changé : « nous ne combattons plus les feux de nos aînés ». L'omniprésence de matériaux synthétiques et de bois compressés ainsi que l'évolution des matériaux de construction ont modifié les feux contre lesquels les pompiers luttent : vitesse élevée, toxicité accrue des fumées, chaleur augmentée, sans compter l'introduction de nouveaux risques comme l'explosion de fumées froides.

L'expansion et la densification des villes, la multiplication de grandes tours posent également de nouveaux défis. Depuis deux voire trois décennies les pompiers ont adopté une démarche qui vise à passer de soldats du feu à techniciens du feu. Ils étudient le feu et ses comportements dans diverses situations (milieu confinés ou ouverts), développent des formations en feux réels, ajustent leur stratégie pour le combattre, recherchent les causes et circonstances de ses origines.

- Les modes de propagation du feu, facteurs clés de la lutte contre l'incendie

La conduction, la convection et le rayonnement sont les trois formes de transfert thermique que l'on rencontre quotidiennement sans pour autant y faire particulièrement attention. Ils sont d'une importance capitale pour les pompiers car ils régissent la propagation du feu. De même, les projections et les écoulements de matières enflammées ou inflammables peuvent participer au développement d'un incendie. Ces différents modes de propagation doivent être pris en compte dans la lutte contre l'incendie.



Étude d'un incendie d'une pièce meublée. *Fire Safety Journal*, Vol. 68, pp. 71-80. 2014, Elsevier Ltd.
<http://www.ffb.kit.edu/>

- Les phénomènes de progression rapide du feu

Les phénomènes de progression rapide du feu sont des événements violents caractérisés par une combustion soudaine, vive et très exothermique, qui peut être explosive. Ils sont apparus il y a 40 ans, avec les matériaux synthétiques de plus en plus présents et une isolation des bâtiments accrue. Ils menacent les pompiers dans leurs interventions.

Ces phénomènes sont dus à la présence, à un temps t , de trois éléments en proportions « idéales », alors que l'instant d'avant la concentration de l'un de ces éléments était plus faible et les autres fortement concentrés dans la pièce.

Ils sont de 3 types :

- L'explosion de fumées ou retour de la veine d'air (*backdraft*) déclenché par un apport d'air, et donc de comburant en milieu clos ;
- L'embrasement généralisé éclair (*flashover*) déclenché par une présence massive de combustible dans un espace semi ouvert ;
- L'ignition, ou inflammation, des fumées d'incendie (*fire gaz ignition*) déclenché par un apport d'énergie d'activation, pouvant être la température d'auto-inflammation atteinte, une petite étincelle, un frottement...

- Modélisations de la propagation du feu

Physiciens, ingénieurs, écologues... cherchent à mieux comprendre le comportement du feu au cours d'incendies à l'intérieur de différents types de bâtiment, d'incendies de forêts ou autres milieux naturels. Ils construisent des modèles qui permettent de simuler des incendies en faisant varier des paramètres (cloisonnements, matériaux, ventilation, pente, hygrométrie, etc.). Ce sont des outils de prévention et de formation précieux. Ces modélisations pourront aider les pompiers à combattre des feux en temps réel le jour où, les puissances de calculs seront suffisantes pour simuler en direct l'évolution de l'incendie.

- Recherche des causes et des circonstances d'incendies, retours d'expérience

Lors d'incendies majeurs, une enquête est ouverte, destinée à localiser le foyer originel d'un incendie, à en déterminer la cause et la propagation en utilisant une démarche scientifique. En France, cette pratique est récente pour les pompiers. Il s'agit pour eux de tirer des enseignements et d'améliorer les techniques de lutte contre les incendies mais aussi d'adapter l'information et la sensibilisation des populations.

La recherche des causes et circonstances des incendies est aussi un outil au service de la justice, des réglementateurs et des assurances.



Recherche des causes et circonstances d'incendie, service départemental d'incendie et de secours du 95.

Crédit : Sapeurs-Pompiers de France Magazine n°1072, page 48.

- Les feux de forêts : état des lieux et conséquences

La vie dans certaines forêts de milieux secs et savanes est adaptée aux incendies plus ou moins réguliers dont elles font l'objet. Certaines espèces ne peuvent, d'ailleurs, survivre sans feu (pommes de pin devant subir de très fortes températures pour libérer leurs graines, élimination des espèces concurrentes, etc.). Les incendies peuvent donc être nécessaires à l'équilibre des écosystèmes. Ce qui les menace aujourd'hui ce n'est pas tant le feu mais sa fréquence et l'étendue qui ne laisse pas le temps à la végétation de se régénérer.

Par contre, les forêts humides, à canopée fermée, n'ont pas naturellement tendance à brûler. Mais la répétition ou la sévérité des saisons sèches, et principalement la présence et l'activité humaine dans les forêts font que ces zones subissent de plus en plus souvent des incendies. (95 % des départs d'incendie de forêts sont liés à l'activité humaine). Les conséquences environnementales, sanitaires, climatiques, économiques voire même diplomatiques... sont lourdes.

Là, encore, l'exposition fait apparaître le caractère ambivalent du feu ami ou ennemi, en fonction du contexte, de l'échelle de temps, du point de vue considéré (écosystème, riverains...), etc.

En 1993, le feu a consumé plus de 1000 km² de la forêt nationale de Stanislaus près du parc national de Yosemite en Californie.

Crédit : département de l'Agriculture des États-Unis / CC BY 2.0.



- La culture du feu

La connaissance du feu, en particulier pour celui dont le rôle est de le combattre, ne peut être uniquement livresque, théorique... Il faut y être confronté, développer un savoir pragmatique, pouvoir « sentir » le feu pour pouvoir anticiper. L'importance de l'expérience est donc mise en avant dans cette partie de l'exposition.

PRÉVENIR ET PROTÉGER

- Outils de prévention et protection

La prévention et la protection contre les incendies est un domaine de recherche actif : objets, nouvelles technologies, matériaux, savoir-faire, procédures, réglementations, etc. Des scientifiques, des ingénieurs, des industriels se penchent sur ces différents aspects et sur leurs possibles interactions : systèmes d'alerte et de surveillance, matériaux résistants, systèmes de cloisonnement ou de ventilation, systèmes automatiques d'extinction, etc. À travers divers exemples, l'exposition propose un aperçu de l'étendue des innovations dans le secteur de l'incendie.

- Dans la peau d'un pompier

Les sapeurs-pompiers sont dans des situations éprouvantes lorsqu'ils entrent dans un bâtiment en proie à un incendie : ils évoluent avec des tenues lourdes et encombrantes, la visibilité peut être extrêmement limitée, il fait très chaud, ils sont dans un état de stress dû à la dangerosité de la situation et à leur mission.

Des innovations ont fait leur apparition pour mieux protéger les pompiers et faciliter leur travail, que ce soit au niveau des tenues et de l'équipement ainsi que des outils à disposition. Des recherches continuent à être menées. Elles suscitent parfois aussi des questions : à trop protéger les pompiers ne les conduit-on pas à prendre plus de risque ?



Tenue des sapeurs-pompiers de Saône et Loire, renouvelée en juin 2012. Crédit : www.montceau-news.com.

- Le feu pour combattre le feu

Dans les pays fortement urbanisés, suite à l'exode rural, la végétation a repris ses droits sur des terres autrefois cultivées. La forêt s'étend, et la masse de combustible aussi. Les incendies pourraient être plus puissants et menacer des zones habitées à proximité. Les chercheurs étudient cette problématique et travaillent notamment, à la réhabilitation progressive du feu pour prévenir les incendies.

Le brûlage dirigé marque la renaissance d'une pratique ancienne utilisée autrefois par les populations rurales et montagnardes et qui se transmettait de génération en génération. Le brûlage dirigé permet aujourd'hui de réduire le combustible du sous-bois de la forêt et ainsi réduire le risque incendie. En France, même la pratique ancienne du feu pastoral est aujourd'hui en voie de réhabilitation.

Au-delà du brûlage-dirigé, les pompiers combattant les feux d'incendie s'intéressent aussi de plus en plus au feu tactique ou contre-feu. Il s'agit de combattre le feu avec le feu !

AGIR LORS D'UN INCENDIE

- Que faire en cas de feu ?

Connaître des petites choses simples, la conduite à tenir... permet de mieux se protéger et mieux protéger d'autres vies et des biens lors d'un incendie. Par exemple, rester chez soi et fermer la porte si le feu est dans l'appartement voisin ; ne pas ouvrir une porte si l'on sent que quelque chose brûle derrière, se mettre le plus près du sol possible dans les fumées, ne pas jeter de l'eau sur un feu électrique ou un feu d'huile, etc. Il ne s'agit pas ici d'asséner ce qu'il faut ou ne faut pas faire mais de faire comprendre par le jeu les conséquences de nos actions en cas d'incendie.

- Se protéger des fumées

Les fumées constituent le principal danger pour les victimes d'incendies et même pour les pompiers. Elles réduisent considérablement la visibilité, elles sont (très) chaudes, inflammables, toxiques... Il est donc primordial de s'en protéger. Quelques gestes simples peuvent faire la différence. Par exemple, les fumées étant chaudes, elles ont tendance à s'accumuler en hauteur, il convient donc de se tenir au ras du sol. L'exposition met donc l'accent sur les fumées souvent considérées, à tort, comme un problème secondaire par le grand public.



Exercice de prévention au Québec.

- Éteindre un feu et éviter sa propagation

La réaction de combustion est complexe. Lors d'un incendie, elle est d'autant plus complexe que différents phénomènes interagissent, que les nombreux facteurs en jeu sont partiellement connus et maîtrisés / ables... Sur le papier, le travail des pompiers est simple : tenter de contenir le feu en le privant d'un des éléments du triangle du feu, le comburant (oxygène de l'air), le combustible ou l'énergie d'activation (chaleur, étincelle). Mais concrètement, quelles sont les actions des pompiers et sur quel élément interviennent-elles ?

Les problématiques liées à un incendie et les méthodes pour le combattre varient d'un pays à l'autre en fonction des risques propres à chaque territoire, aux types d'habitation, aux cultures locales, etc.

- L'action de l'eau dans la lutte contre l'incendie

L'eau est la principale arme dont disposent les pompiers pour lutter contre un incendie. Elle agit selon divers mécanismes : elle permet le refroidissement, l'inertage, l'étouffement et le soufflage du foyer et des flammes. Une des actions les plus importantes de l'eau est le refroidissement de l'ambiance. En effet, le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux requiert une importante quantité d'énergie et absorbe ainsi de la chaleur. Cela permet aux pompiers de diminuer la température et ainsi d'aller vers une maîtrise de l'incendie.

Des études sont actuellement conduites sur l'eau (et sa nature ambivalente : amie car c'est l'agent extincteur privilégié ; ennemie, car, par exemple, elle pénètre dans les tenues et peut provoquer des brûlures), les performances de lances, la quantité nécessaire d'eau à utiliser pour un incendie.

DISPOSITIF MUSÉOGRAPHIQUE

« Leçons de l'histoire : incendies historiques »

Un dispositif multimédia présente quelques exemples de grands incendies urbains ayant marqué l'histoire et contribué à changer nos façons de concevoir et de construire nos villes et sociétés ou d'organiser la lutte contre l'incendie.

« Les pompiers face aux incendies »

Ici, un audiovisuel montre les différentes actions employées (et leur technicité sous-jacente) par les pompiers pour éteindre les incendies. Sont exposées la diversité et les ressemblances, des différents modes de lutte contre le feu à travers le monde. Des interviews donnent la parole et un visage aux combattants du feu.

« Modes de propagation de l'incendie »

Un multimédia présentant des modélisations issues de laboratoires fait découvrir aux élèves les phénomènes responsables de la propagation d'un incendie : conduction, convection, rayonnement et écoulements/projections. Certains paramètres externes influencent aussi la propagation du feu.

« L'investigation post-incendie »

L'enquête ludique que les élèves peuvent mener ici leur montre que l'investigation post-incendie permet d'acquérir des connaissances sur ce qui s'est passé, dans le but d'améliorer la prévention, la diffusion de l'information (que ce soit vers le public ou les pompiers eux-mêmes) et la lutte contre l'incendie.

« Incendies de forêts »

Grâce à un multimédia, vos élèves découvrent les impacts positifs et négatifs des incendies de forêt. Certes, le feu joue un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre de certains écosystèmes forestiers, mais en raison des activités humaines (agricoles et industrielles) et de l'utilisation du feu par l'homme (et de son mauvais usage), les incendies sont maintenant une menace pour de nombreuses forêts et leur biodiversité.

« Outils de prévention et protection »

Des objets associés à des multimédias dévoilent la richesse des outils développés dans le secteur de la sécurité et de l'ingénierie incendie.

« Dans la peau d'un pompier »

Ici, on propose au public (y compris les enfants) d'essayer un élément ludique d'habillage. Cela permet de montrer la technicité des Équipements de Protection Individuelle (EPI) et de faire ressentir aux élèves les conditions d'action d'un pompier, à la fois protégé et entravé par son équipement.

« Que faire en cas de feu ? (Porte) »

La manipulation d'une porte fournit le support à une explication sur les conduites à tenir en cas d'incendie.

« Que faire en cas de feu ? (Quizz) »

Ici aussi, un multimédia associé à des objets donne et explique les conduites à tenir en cas d'incendie.

« Se protéger des fumées »

Dans un incendie, ce sont essentiellement les fumées qui tuent et non pas les flammes. Cette installation (pièce à fumée) marquera les esprits par une expérience engageant le corps : marcher à quatre pattes dans une pièce enfumée (les fumées étant plus denses en hauteur il faut se baisser pour se protéger de l'intoxication et avoir une meilleure visibilité pour évacuer).

« Les lances à eau »

Grâce à une lance à eau et à un multimédia, on explique pourquoi et comment l'eau éteint un feu.

« Mythes de la régénération et de la destruction par le feu »

On propose ici à l'écoute quelques mythes emblématiques sur la destruction ou la régénération par le feu.

4 Informations pratiques

Adresse

Cité des sciences et de l'industrie
30 avenue Corentin-Cariou
75019 Paris
www.cite-sciences.fr

Accès

Métro : Porte de la Villette (L7)
Bus : 139, 150, 152
Tramway : Porte de la Villette (Ligne 3b)

Horaires d'ouverture

Du mardi au samedi de 10 h à 18 h, le dimanche de 10 h à 19 h.
Fermeture le lundi ainsi que les jours fériés suivants : 1^{er} janvier, 1^{er} mai et 25 décembre.

Élémentaire : 1 gratuité pour 12 entrées payantes

Secondaire : 1 gratuité pour 15 entrées payantes

Tarifs scolaires (en vigueur au 1^{er} septembre 2017)

4,50 € (2,50 € pour les établissements en réseau éducation prioritaire)

Tout billet acheté donne droit à une entrée au *Cinéma Louis Lumière* et au sous-marin *Argonaute* (dans la limite des places disponibles) + un accès aux ateliers et au Planétarium sur réservation.

Réservation groupes

Sur internet (devis en ligne)

<http://www.cite-sciences.fr/fr/vous-etes/enseignants/votre-sortie-scolaire/infos-pratiques-et-reservation/devis-en-ligne/>



resagroupescite@universcience.fr



01 40 05 12 12



01 40 05 81 90



Cité des sciences et de l'industrie
Service groupes
30 avenue Corentin-Cariou
75930 Paris Cedex 19