

d'un vernis à l'asphalte. Trois ouvriers peuvent fabriquer 1000 fusées par jour.

Ebner a également employé avec succès un appareil électro-magnétique. Ses amorces, spécialement destinées à l'explosion des mines, présentent deux fils de cuivre auxquels aboutissent les conducteurs de l'appareil électrique; ces fils sont isolés et maintenus par une masse de soufre et de verre fondus ensemble. On place entre leurs extrémités intérieures une composition formée de parties égales de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine, avec addition de sulfure de plomb ou de cuivre. L'amorce est ensuite fermée par un simple bouchon de liège. — Ebner avait d'abord recommandé l'électricité de frottement comme l'agent d'inflammation le plus efficace : il a pu ainsi faire partir des amorces jusqu'à une distance de 4 lieues; mais il a rencontré de sérieuses difficultés pour la construction de machines convenables, pouvant fonctionner sûrement dans des endroits humides. Le constructeur Bornhardt, de Brunswick, livre des machines qui, hermétiquement enfermées dans une caisse en tôle, peuvent impunément séjourner sous l'eau pendant un certain temps.

Les fusées d'Abegg, qui se composent de deux fils de fer entourés de cire et mis en relation avec une machine électrique, se recommandent par leur bon marché : 100 fusées coûtent 9^{fr} (2 thalers, 12 gros).

Nous avons décrit plus haut (p. 451) l'exploseur magnéto-électrique Bréguet, dit *coup-de-poing*.

§ III.

ARTIFICES DIVERS.

En dehors des artifices de mise de feu, on fait usage, en pyrotechnie, d'un grand nombre d'autres compositions dont la nature varie avec les effets que l'on veut produire. Ces effets peuvent être divisés en trois catégories distinctes :

1° Production de *lumière* : fusées lumineuses, feux colorés, feux d'étincelles, compositions doubles;

2° Production de *gaz* : fusées volantes, fusées pour balles à fumée, fusées de désinfection, *extincteurs*;

3° Production d'une *flamme* longue, vive et à température élevée fusées incendiaires, mixtes comburants et feux liquides.

A un autre point de vue, on peut distinguer les compositions *vives* et les compositions *lentes*. On peut encore, surtout pour les artifices de joie, distinguer les feux d'*étincelles* et les feux de *flames* : les premiers sont caractérisés par un jet de particules en ignition ou en incandescence, la flamme proprement dite n'ayant qu'une importance secondaire; les seconds, au contraire, sont caractérisés par la coloration de leur flamme; ces deux propriétés sont quelquefois réunies dans les compositions *doubles*. Les feux d'étincelles ne sont d'aucun usage dans la pyrotechnie militaire.

I. PRODUCTION DE LUMIÈRE.

Si l'on se propose uniquement de produire une flamme d'un éclat aussi vif que possible, on peut résoudre le problème au moyen de mélange très-simples; mais il arrive souvent que l'on doit donner à la flamme une coloration déterminée, ce que l'on obtient par l'addition de certaines substances. La lumière répandue par une flamme provient, soit de particules solides entraînées par les produits de la combustion et portées à l'incandescence, soit de gaz en ignition : dans les deux cas, l'intensité de la lumière dépend essentiellement de la température de la flamme.

L'élément principal de la plupart des fusées lumineuses est constitué par du soufre-salpêtre, dans lequel le salpêtre peut être remplacé en tout ou en partie, suivant la nature de la fusée, par une quantité équivalente de chlorate de potasse. Souvent aussi on transforme le soufre-salpêtre en matière grise en lui ajoutant du pulvérin, afin d'augmenter la production de gaz. La matière grise brûle avec une belle flamme blanche, dont l'éclat est dû aux particules solides de sulfate de potasse entraînées.

a) Fusées lumineuses.

Les *balles à feu* sont des sachets en toile remplis de matière grise; celle-ci a été rendue aussi compacte que possible par l'addition d'un peu d'eau-de-vie. Les balles à feu sont amorcées à l'aide d'un tube à feu (p. 786). Elles sont utilisées pendant la guerre de siège : on les lance à la main pour éclairer le terrain environnant.

Les *balles luisantes* sont lancées à de plus grandes distances par des pièces spéciales ou simplement tirées dans des tubes à bombes, pour servir de signaux pendant la nuit. La composition, qui renferme 76,6 de matière grise pour 23,4 de soufre, est préparée à chaud : on introduit par petites portions la matière grise dans le soufre fondu, en ayant soin d'agiter pour faciliter l'intimité du mélange. La composition est ensuite chargée dans une enveloppe spéciale, dite *carcasse en fer*.

Les *tubes à bombes* sont de forts cartouches en papier, remplis de couches alternantes d'une composition lente (2 de pulvérin et 1 de charbon) et d'une petite charge de poudre en grains, sur laquelle repose une balle luisante. On les enfouit debout en terre ; ils sont surtout employés comme signaux nocturnes. On tire également dans ces tubes des balles luisantes à feux colorés (p. 794).

Le *flambeau* ou *feu de conserve* est un tube cylindrique rempli d'une composition éclairante qui sert à faire des signaux ou à indiquer une position, et qui est formée de 407 de matière grise pour 5 de sulfure d'antimoine. En France, on emploie un mélange de 6 de salpêtre, 3 de soufre et 1 de pulvérin, humecté de 10,5 d'eau gommée.

La *roche à feu* (Kaltgeschmolzenzeug) est tirée dans les tubes à bombes avec une composition plus lente. Elle se compose :

Matière grise.....	85,6
Pulvérin.....	29,4
Sulfure d'antimoine.....	5,0

Ces substances sont humectées d'eau-de-vie, intimement mélangées et moulées en forme de balles. La roche à feu est souvent employée pour sa flamme blanche, qui possède un vif éclat. — Le mélange suivant, qui ne renferme que les éléments de la poudre, jouit presque au même degré de propriétés analogues :

Salpêtre.....	75,0
Soufre.....	22,5
Charbon.....	2,5

Les *feux indiens*, qui donnent une flamme blanche, renferment 24 de salpêtre, 7 de soufre et 2 de réalgar (bisulfure d'arsenic).

b) Feux colorés.

La production des feux colorés a donné lieu, surtout pour les

artifices de joie, à un grand nombre de compositions différentes. Les matières colorantes généralement employées sont des nitrates ou des chlorates qui, portés à l'incandescence, possèdent la propriété de donner une couleur déterminée à la flamme dans laquelle ils se trouvent en suspension ; et, comme ces sels abandonnent en même temps leur oxygène avec une grande facilité, il en résulte qu'ils contribuent à augmenter la température et, par suite, l'éclat de la flamme.

Le fond de presque tous les feux colorés est constitué par une flamme blanche, légèrement violette, résultant de la combustion du soufre-salpêtre ou plus souvent encore d'un mélange à équivalents égaux de chlorate de potasse et de soufre (Chlorkalischwefel). L'emploi de ce dernier mélange, qui se distingue par un dégagement considérable de gaz et de chaleur, est surtout recommandé lorsque les sels colorants sont difficilement volatils. L'addition d'une petite quantité de charbon accélère la combustion du mélange, sans modifier la coloration de la flamme ; mais, si l'on en ajoute une proportion notable, on donne à cette coloration une nuance rougeâtre.

Dans la préparation des artifices, les différentes colorations s'obtiennent respectivement au moyen des sels suivants :

Rouge : nitrate de strontiane $\text{SrO} \cdot \text{AzO}^5$; pour le rouge clair, nitrate de chaux ou chlorure de calcium. La magnifique coloration rouge donnée par les sels de lithine revient à des prix trop élevés ; elle est d'ailleurs d'un emploi difficile, en raison de la déliquescence de la plupart de ses composés.

Jaune : nitrate de soude $\text{NaO} \cdot \text{AzO}^5$, ou bicarbonate de soude.

Vert : nitrate de baryte $\text{BaO} \cdot \text{AzO}^5$.

Bleu : carbonate de cuivre $\text{CuO} \cdot \text{CO}^3$, ou sulfate de cuivre ammoniacal. Le protoxyde de cuivre, primitivement employé, semble donner au mélange une certaine tendance à la décomposition spontanée.

Nous indiquerons les principales compositions de feux colorés employées dans la pyrotechnie militaire et dans la pyrotechnie civile.

Pyrotechnie militaire. — Les mélanges suivants sont particulièrement employés pour former la garniture des fusées (p. 800) et servent aussi de signaux :

Blanc. . . . | Roche à feu (p. 792).

Rouge.	Chlorate de potasse.	29,7
	Nitrate de strontiane.	45,7
	Soufre pulvérisé.	17,2
	Sulfure d'antimoine.	5,7
Bleu.	Charbon.	1,7
	Chlorate de potasse.	54,5
	Sulfate de cuivre ammoniacal.	27,4
Vert.	Charbon de bois.	18,1
	Chlorate de potasse.	32,7
	Nitrate de baryte.	52,3
Jaune.	Soufre.	9,8
	Charbon de bois.	5,2
	Salpêtre.	62,8
Jaune.	Soufre.	23,6
	Nitrate de soude.	9,8
	Charbon.	3,8

Les matières sont mélangées avec précaution, humectées d'un peu d'alcool et introduites dans des cartouches de papier avec un battage modéré.

Artifices de joie. — Les principales compositions employées pour les balles luisantes (p. 792) sont les suivantes :

	A	B	C	D	
Blanc.	Salpêtre.	9	70	»	»
	Chlorate de potasse.	»	»	16	»
	Soufre.	3	14	8	»
	Sulfure d'antimoine.	2	»	1	»
	Nitrate de plomb.	»	»	16	»
	Réalgar.	»	10	»	»
Rouge.	Laque.	»	1	»	»
	Antimoine métallique.	»	12	»	»
	Nitrate de strontiane.	8	4	»	»
	Chlorate de potasse.	4	3	»	»
	Soufre.	3	»	»	»
	Sulfure d'antimoine.	2	»	»	»
Vert.	Salpêtre.	»	»	5	14
	Charbon pulvérisé.	»	»	»	1
	Laque.	»	»	»	3
	Sucre de lait.	»	2	»	»
	Noir de fumée.	»	»	1	»
	Nitrate de baryte.	16	40	40	»
Vert.	Carbonate de baryte.	»	»	»	1
	Chlorate de potasse.	8	20	20	6
	Soufre.	6	13	10	2
	Sulfure d'antimoine.	3	»	»	»
	Calomel.	»	13	»	»
	Noir de fumée.	»	1	1	»
Laque.	»	1	1	»	

Jaune.	Nitrate de soude.	8	»	»	»
	Oxalate de soude.	2	»	1	2
	Chlorate de potasse.	»	»	4	4
	Nitrate de potasse.	9	»	2	»
Bleu.	Soufre.	3	2	2	»
	Sulfure d'antimoine.	»	1	»	»
	Charbon pulvérisé.	»	1	»	»
	Laque.	»	»	»	»
Violet.	Carbonate de cuivre (ocre bleue).	5	»	»	»
	Limaille de cuivre.	»	»	»	»
	Chlorate de potasse.	2	8	»	»
	Soufre.	5	4	»	»
Violet.	Calomel.	1	6	»	»
	Sucre de lait.	»	5	»	»
	Carbonate de cuivre.	1	»	»	»
	Nitrate de strontiane.	4	5	»	»
Violet.	Limaille de cuivre.	»	4	»	»
	Chlorate de potasse.	9	5	»	»
	Soufre.	6	3	»	»
	Calomel.	1	3	»	»

Pour assurer l'inflammation des balles luisantes, on les amorce au moyen de diverses compositions. Websky se sert du mélange suivant : 8 de pulvérin, 4 de salpêtre, 1 de soufre.

Les *étoiles* sont de petits corps ronds ou cubiques, renfermant une composition humectée d'alcool et qui servent le plus souvent de garnitures pour les fusées. Les mélanges usités pour les étoiles colorées diffèrent peu des précédents. Les étoiles blanches et jaunes d'or présentent les compositions suivantes :

	Blanc.		Jaune d'or.	
Salpêtre.	16	16	16	16
Soufre.	8	7	10	8
Pulvérin.	3	4	16	8
Charbon.	»	»	4	2
Noir de fumée.	»	»	2	2

Feux du Bengale. — Tandis que les artifices que nous venons de décrire ont beaucoup moins pour objet d'éclairer les environs que de produire dans l'air, à une certaine hauteur, des effets lumineux pouvant servir de signaux, les feux du Bengale ou feux de théâtre sont destinés, au contraire, à répandre une lumière d'une couleur déterminée sur des espaces d'une étendue plus ou moins considérable. Il existe un très-grand nombre de compositions de ce genre : nous nous contenterons de mentionner les plus importantes.

Les matières sont intimement mélangées à l'état sec ; puis on les comprime dans les capsules ou dans les boîtes en tôle où elles doivent être enflammées. Les différentes colorations s'obtiennent surtout par l'addition des chlorates de baryte, de strontiane, de cuivre, etc., pourvu que ces sels ne soient pas trop hygrométriques.

	A	B	C	D	E		
Blanc...	Salpêtre.	12	32	24	»	»	La composition A est la plus employée; elle donne une flamme blanc bleuâtre. C n'est distingué des feux indiens (p. 792) que par l'addition d'antimoine métallique.
	Soufre.	4	8	7	»	»	
	Sulfure d'antimoine.	1	»	»	»	»	
	Réaigar.	»	»	2	»	»	
	Antimoine métallique.	»	12	1	»	»	
Minium.	»	10	»	»	»		
Rouge.	Nitrate de strontiane.	40	56	»	»	»	A, B, C brûlent avec une belle flamme rouge, D avec une flamme pourpre, E avec une flamme rosée. Les feux rouges de Holtz se composent de: Nitrate de strontiane, 4; Laque, 1.
	Carbonate de strontiane.	»	»	23	»	»	
	Carbonate de chaux.	»	»	»	23	»	
	Chlorure de calcium.	»	»	»	»	23	
	Chlorate de potasse.	5	20	61	61	61	
Soufre.	13	24	16	16	16		
Charbon.	2	»	»	»	»		
Jaune.	Nitrate de soude.	48	»	»	20	»	
	Carbonate de soude.	»	20	23	»	»	
	Soufre.	16	17,5	16	5	»	
	Sulfure d'antimoine.	4	»	»	1	»	
	Charbon pulvérisé.	1	1,5	»	1	»	
Vert.	Salpêtre.	»	61	»	»	»	
	Chlorate de potasse.	»	»	61	»	»	
	Nitrate de baryte.	45	60	8	12	»	
	Chlorate de potasse.	10	18	3	5	»	
	Soufre.	10	22	3	4	»	
Bleu.	Sulfure d'antimoine.	1	»	»	»	»	
	Carbonate de cuivre.	»	»	»	»	»	
	Sulfate de cuivre ammoniacal.	15	12	»	»	»	A bleu pur.
	Alun calciné.	»	12	23	»	»	B bleu foncé.
	Chlorate de potasse.	28	60	61	»	»	C bleu clair.
Violet.	Soufre.	15	16	16	»	»	
	Sulfate de potasse.	15	»	»	»	»	
	Salpêtre.	27	»	»	»	»	
	Alun.	12	16	»	»	»	A violet foncé.
	Carbonate de potasse.	12	16	»	»	»	B violet clair.
	Chlorate de potasse.	60	54	»	»	»	
	Soufre.	16	14	»	»	»	

Thenius a fait connaître un procédé de préparation des torches du Bengale, qui peuvent être employées comme les torches à poix, et de

plusieurs autres compositions analogues, dont la durée de combustion se trouve ralentie par l'addition de laque ou d'acide stéarique.

Feux divers. — On peut citer encore plusieurs mélanges d'un emploi plus coûteux et, par suite, plus rare, malgré la beauté des effets lumineux qu'ils produisent.

La composition d'Udden renferme :

Salpêtre.	20
Soufre.	5
Sulfure de cadmium.	4
Charbon pulvérisé.	1

Elle brûle avec une belle flamme blanche bordée de bleu.

Le mélange de Crookes :

Chlorate de thallium.	8
Calomel.	2
Résine.	1

donne une magnifique flamme verte.

Désignolle a obtenu, avec du picrate d'ammoniaque, les colorations verte et rouge :

	Vert.	Rouge.
Picrate d'ammoniaque.	48	54
Nitrate de baryte.	52	»
Nitrate de strontiane.	»	46

Enfin, Brugère a produit une belle flamme verte au moyen d'une composition formée de :

Picrate d'ammoniaque.	25
Nitrate de baryte.	67
Soufre.	8

Colorations mélangées. — On pourrait croire, au premier abord, qu'il est facile d'obtenir les couleurs intermédiaires par une combinaison convenable des compositions correspondant aux couleurs principales ; mais cette reproduction n'est possible que dans des limites assez restreintes, car la superposition des couleurs complémentaires tend à donner un blanc plus ou moins pur. D'après Winkelblech, l'addition de 2 p. 100 d'une composition jaune à une rouge donne une flamme sans coloration appréciable. Les flammes vertes sont extrêmement sensibles et tournent au gris avec une grande facilité par l'addition d'une composition étrangère ; Field a

obtenu une flamme d'un blanc bleuâtre par le mélange de deux compositions rouge et verte, et une flamme d'un blanc pur par le mélange d'une composition verte et d'une composition rosée de la formule E (p. 796). Une belle flamme violette ne peut s'obtenir que par le mélange du rouge et du bleu (p. 795 et 796).

On peut toutefois réaliser des effets lumineux assez remarquables par la combustion de diverses compositions juxtaposées et choisies de telle sorte que leurs couleurs soient, autant que possible, complémentaires. Si, par exemple, on fait brûler une composition d'un vert pâle à côté d'une flamme d'un rouge intense, on obtient une coloration d'un vert d'herbe très-prononcé; si, au contraire, on fait brûler une flamme d'un vert foncé dans le voisinage d'une composition d'un rouge faible, celle-ci prend une magnifique teinte cramoisie. De même, une coloration d'un bleu pâle se trouve renforcée par le voisinage d'une flamme d'un rouge vif ou d'un jaune intense. Ces phénomènes sont d'ailleurs absolument subjectifs; ils sont dus à la propriété que possède notre œil de se fatiguer par l'éclat des rayons fortement colorés et de devenir moins sensible à leur perception, tandis que, par un effet inverse, sa sensibilité se trouve accrue pour les couleurs complémentaires.

c) Feux d'étincelles.

Ces sortes de compositions ont acquis une très-grande importance pour les artifices de joie, parce qu'elles donnent des effets assez brillants à peu de frais.

Les mélanges les plus simples se composent, soit de pulvérin et de charbon concassé, soit de salpêtre, de soufre et de charbon. Les proportions relatives de ces divers éléments sont les suivantes :

Pulvérin.	10 à 8	»	»
Salpêtre.	»	12	16
Soufre.	»	3	4
Charbon concassé.	1 à 3	5	9

Le charbon concassé donne des étincelles rougeâtres. On peut encore employer certains métaux à l'état pulvérisé, tels que des rognures de fer ou d'acier exemptes de rouille, qui donnent des étincelles rouges ou blanches, et des rognures de cuivre ou de zinc, qui donnent des étincelles vertes ou d'un vert bleuâtre. C'est à ces matières que les fusées dites *d'honneur* ou *en brillants* doivent l'éclat

de leurs feux. Les plus usueiles présentent les compositions suivantes :

Pulvérin.	16	16	»
Salpêtre.	8	12	12
Soufre.	3	3	1
Charbon.	3	3	1
Rognures de fonte (fils de Lyon).	10	12	2

Tous ces mélanges sont brûlés dans des *lances à feu*, sortes de cartouches dont la partie antérieure ou gorge présente un étranglement plus ou moins prononcé. On peut les combiner et les grouper de manière à obtenir des *soleils*, des *étoiles fixes*, des *éventails*, des *cascaades*, etc.

d) Compositions doubles.

Les *compositions doubles* (p. 791) brûlant avec un fort résidu solide, il y a avantage à élargir l'étranglement de la gorge de la lance à feu.

Les mélanges qui contiennent du noir de fumée sont le plus souvent rapportés à ce genre de fusées. Ils donnent, en effet, une flamme rougeâtre avec des étincelles en forme d'étoiles, comme, par exemple, la composition suivante :

Salpêtre.	4
Soufre.	1
Noir de fumée.	1

Les *bâtons-fusées* du Japon donnent lieu aux mêmes phénomènes.

Les mélanges contenant du zinc sont encore rangés dans la classe des compositions doubles : leur flamme possède, en effet, une coloration caractéristique, verte en plein jour, bleue dans l'obscurité.

II. PRODUCTION DE GAZ.

On peut partager les fusées de cette catégorie en deux classes principales :

1° Les fusées dans lesquelles les produits gazeux servent à imprimer au système un mouvement d'ascension, de rotation, etc. : telles sont les *fusées volantes*;