

Allumage électrique



Sommaire

1	Introduction.....	2
2	Fonction d'un inflammateur électrique (ONU 0131 / 0454).....	2
3	Résistance de pont et sensibilité.....	3
3.1	Inflammateurs électriques à pont à sensibilité normale (inflammateurs A).....	3
3.2	Inflammateurs électriques FA.....	3
3.3	Inflammateurs électriques à insensibilité (inflammateurs U-FIDUZ-F).....	3
3.4	Tableau de comparaison.....	3
4	Notions fondamentales d'électricité.....	4
4.1	Histoire.....	4
4.2	Courant électrique.....	4
4.3	Tension électrique.....	4
4.4	Résistance électrique.....	4
4.5	Loi d'Ohm.....	4
5	Principes de l'allumage électrique.....	5
5.1	Montage en série (raccordement en série).....	6
5.1.1	Avantages et inconvénients du montage en série.....	6
5.2	Montage en parallèle.....	7
5.2.1	Avantages et inconvénients du montage en parallèle.....	7
6	Liaison des fils d'amorce.....	8
6.1	Exemples de liaisons sûres:.....	8
7	Pose des lignes de tir.....	9
8	Sécurité à proximité d'émetteurs ou de lignes de haute tension.....	10
8.1	Bonne et mauvaise pose d'une ligne de tir.....	10
9	Installation radiophonique et de téléphonie mobile en Suisse.....	10
9.1	Recommandation de sécurité.....	11
10	Contrôle d'une ligne de tir.....	12
11	Tables de tir / systèmes de tir.....	13
11.1	Schéma de connexion d'une table de tir.....	13
11.2	Montage et plan de tir simple.....	14

Allumage électrique

1 Introduction

Comme pour toutes les nouveautés techniques, le niveau d'excellence actuel de l'allumage électrique est le fruit d'un travail de développement qui s'est étalé sur de nombreuses années.

L'«*allumage*» électrique, qui consiste en l'**amorçage** d'effets pyrotechniques, apporte non seulement un grand nombre d'avancées au niveau des applications, mais aussi de grands **avantages sur le plan de la sécurité**.

Pour l'artificier, une installation de mise à feu moderne garantit une sécurité maximale, car l'allumage peut s'effectuer à partir d'une position sûre, bien disposée.

De nombreux dispositifs d'allumage électrique et appareillages de mise à feu électrique très différents ont été mis en œuvre dans le passé. Aujourd'hui, on n'utilise plus en pyrotechnie que des inflammateurs à pont de type A, FA et U. Les appareils d'allumage électrostatique constituent par ailleurs la seule source de courant d'allumage utilisée. Les développements ci-dessous ne prendront donc en compte que ce type d'inflammateur et les dispositifs d'allumage électriques et électroniques correspondants.

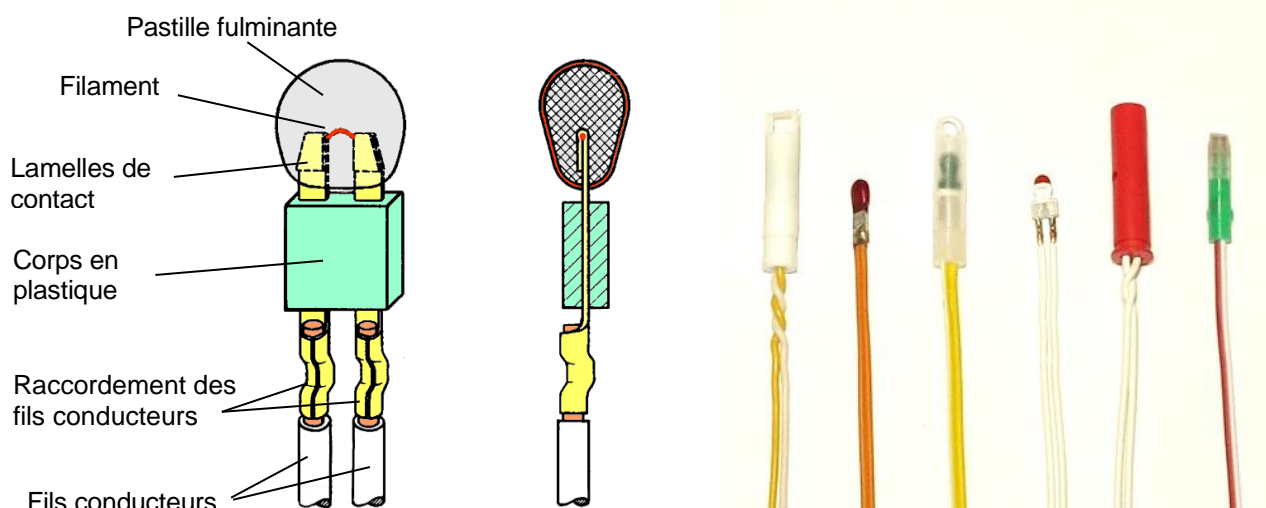
Remarque: par *allumage*, on entend le déclenchement d'une combustion. La mise à feu, en revanche, désigne l'action visant à déclencher une détonation.

2 Fonction d'un inflammateur électrique (ONU 0131 / 0454)

Les allumeurs électriques types – également appelés «infla», allumettes électriques, amorces à pont, e-match, squibs, etc. – se composent d'une petite tête d'amorce munie de deux fils conducteurs. Il s'agit de deux lamelles de contact isolées l'une de l'autre et moulées dans du plastique. Le fil de pont chauffant est fixé à l'une des extrémités des lamelles. Ce filament est entouré d'une amorce sphérique. Une couche de vernis antistatique protège la tête contre l'humidité et forme par liaison électrique à valeur ohmique élevée avec les lamelles de contact une cage de Faraday qui protège contre les égalisations de tension statiques.

Lorsqu'un courant suffisamment fort est envoyé à travers le filament, il s'enflamme et allume la pastille fulminante. La flamme engendrée sert directement à l'allumage des charges pyrotechniques ou des mèches.

Remarque: les inflammateurs à pont n'ont pas de pouvoir explosif, c'est ce qui distingue un inflammateur d'un détonateur.



3 Résistance de pont et sensibilité

A l'heure actuelle, dans un usage pyrotechnique, on utilise principalement trois types d'inflamateurs électriques présentant des sensibilités différentes: **A**, **FA** et **U (F)**.

Remarque: les inflamateurs **U** sont utilisés exclusivement pour les produits techniques (T1, T2).

3.1 Inflamateurs électriques à pont à sensibilité normale (inflamateurs A)

En Suisse, en République fédérale d'Allemagne et en Autriche, les inflamateurs électriques à pont A sont utilisées exclusivement en pyrotechnie.

Couleurs: les deux fils conducteurs sont de même couleur: blanc-blanc, rouge-rouge, vert-vert, etc.

3.2 Inflamateurs électriques FA

Les inflamateurs FA à pont sont un bon compromis entre les versions A et U. Ces allumeurs requièrent au minimum 3 fois plus d'énergie de déclenchement que la version A (meilleure sécurité). Pour un allumage sûr, les inflamateurs électriques FA ont besoin d'une impulsion d'allumage trois fois inférieure à celle des inflamateurs U.

Couleur des fils : le couleur dépend du fabricant et de la longueur des fils.

3.3 Inflamateurs électriques à insensibilité (inflamateurs U-FIDUZ-F)

La sécurité contre les courants de fuite des inflamateurs U est au moins trois fois plus élevée que pour les inflamateurs électriques à pont A. Pour un allumage sûr, les inflamateurs électriques U ont besoin d'une **impulsion d'allumage cinq fois supérieure** à celle des inflamateurs A.

Couleurs: en règle générale, un fil conducteur est jaune (jaune/blanc)!

3.4 Tableau de comparaison

Intensité du courant d'allumage et impulsion d'allumage des inflamateurs A, FA et U

Type	Résistance en ohm <i>y compris 1 m de fil de Cu</i>	Pas d'allumage avant ... A	Allumage assuré à partir de ... A	Pas d'allumage avant ... mWs/ohm	Allumage assuré à partir de ... mWs/ohm	Couleur des fils (en général)
A	1.3 - 1.5 - 1.8	≤ 0.18	0.8	≤ 0.8	≥ 3	De même couleur
FA	0.8 - 0.85 - 0.9	≤ 0.28	1.1	≤ 2.5	≥ 5.5	
U	0.4 - 0.6 - 0.8	≤ 0.45	1.5	≤ 8	≥ 16	jaune / blanc

Remarque: le tableau indique les valeurs typiques des inflamateurs électriques de fabrication européenne.



Les inflamateurs électriques doivent être protégés des coups, des impacts, du cisaillement, des hautes tensions et des charges électrostatiques!



4 Notions fondamentales d'électricité

4.1 Histoire

L'utilisation technique du courant électrique a commencé au milieu du XIX^e siècle par la télégraphie et la galvanisation. Dans un premier temps, l'utilisation de batteries suffisait pour ces deux applications. En 1866, Werner von Siemens a découvert le principe dynamoélectrique et l'a utilisé dans la mise au point du premier générateur électrique, qu'il a pu commercialiser comme **appareil de mise à feu** pour l'allumage de **charges explosives**.

4.2 Courant électrique

Le courant électrique circule uniquement dans un circuit fermé. Le circuit (figure 1) se compose du producteur (pile), du consommateur (lampe à incandescence) et du conducteur entre le producteur et le consommateur. On peut ouvrir et fermer le circuit à l'aide de l'interrupteur.

Le symbole de l'intensité du courant électrique est I . L'intensité du courant est mesurée en **ampères [A]**.

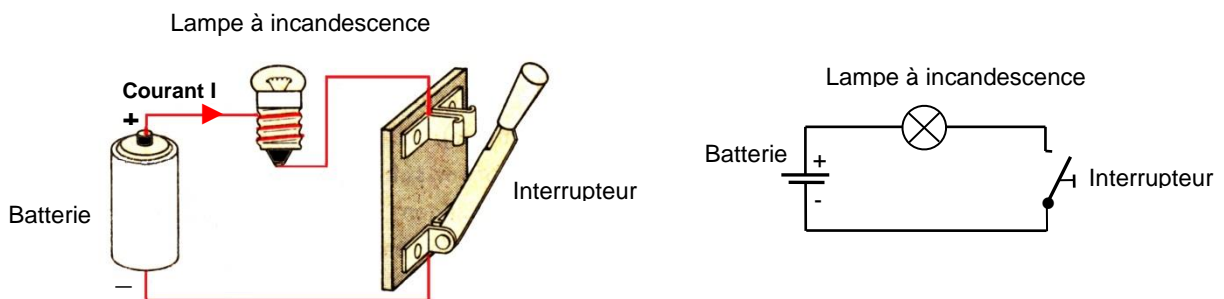


Fig. 1

4.3 Tension électrique

La **tension électrique** est une grandeur physique. La production d'une tension repose sur la séparation de charges. La tension est une énergie potentielle.

Dans la nature, il y a création d'une tension électrique lors d'orages et, par exemple, par frottement. Pour rendre possible son exploitation technique, la tension électrique est générée le plus souvent par induction électromagnétique ou par électrochimie (batterie).

Le symbole de la tension est U , son unité de mesure est le **volt [V]**.

4.4 Résistance électrique

En électrotechnique, la **résistance électrique** mesure quelle tension électrique est nécessaire pour faire circuler un courant électrique déterminé à travers une résistance électrique (un conducteur).

Le symbole utilisé pour représenter la résistance électrique est généralement R . L'unité de la résistance est l'**ohm [Ω]**. La résistance électrique est mesurée à l'aide d'un instrument de mesure appelé **ohmmètre**.

4.5 Loi d'Ohm

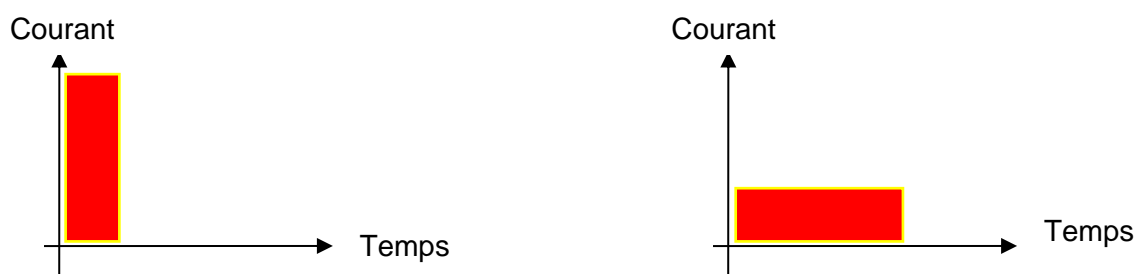
Le courant dépend de la tension et de la résistance. La loi d'Ohm exprime le rapport entre le courant, la tension et la résistance.

$$U = R \cdot I \quad (\text{Aide-mémoire: penser au canton d'URI})$$

5 Principes de l'allumage électrique

Le courant nécessaire à l'inflammation de l'inflamateur électrique à pont est fourni par un appareil d'allumage raccordé au circuit d'allumage.

Pour échauffer suffisamment le pont chauffant, il est nécessaire d'appliquer un courant à une intensité déterminée pendant un temps déterminé. Si le courant est plus fort, il chauffe plus vite le pont chauffant. Un courant plus faible a besoin au contraire de plus de temps pour chauffer le pont de façon à ce qu'il allume la charge d'amorce. Le temps dont a besoin le pont chauffant du début de l'application du courant à la fusion est appelé «temps de réaction».



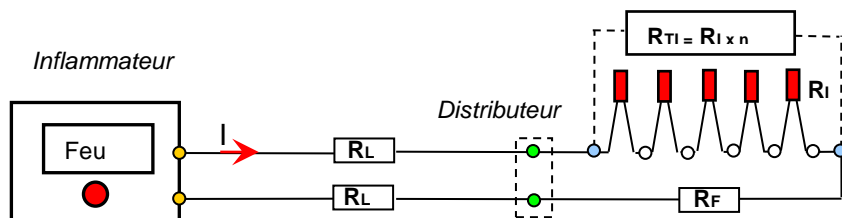
Remarque: temps de réaction (déclenchement dans les 10 ms) - inflamateur A 0,6 A
inflamateur U 1,3 A

Le pont chauffant de l'inflamateur électrique nécessite une certaine énergie pour chauffer afin de pouvoir enflammer la charge d'amorçage de la pastille fulminante. L'énergie est mesurée en watt-secondes = **joule**. L'énergie électrique **E** consommée par un circuit électrique d'amorçage en **watt-secondes** (joule) est le produit de la tension **U** créée en volts, du courant **I** en ampères et de la durée de débit **t** en secondes.

Remarque: la plus grande partie de l'énergie d'amorçage est utilisée pour vaincre la résistance de la ligne d'alimentation et de la ligne de raccordement des inflamateurs. Une toute petite partie seulement est consommée pour chauffer les ponts chauffants ou pour enflammer les pastilles fulminantes.

5.1 Montage en série (raccordement en série)

Le montage en série est la méthode la plus simple et la plus évidente pour créer un circuit d'amorçage. Dans cette configuration, les différents inflammateurs sont placés l'un à la suite de l'autre. Ces inflammateurs sont reliés l'un à l'autre, le premier et le dernier étant chacun raccordé par un fil d'amorce à un pôle du circuit d'allumage.



Dans le montage en série, tous les inflammateurs sont parcourus par le même courant.

R_i = résistance d'un inflammateur
R_L = résistance du conducteur (par ex. câble multibrins)
R_F = fils de rallonge
R_{Ti} = résistance totale de tous les inflammateurs électriques à pont → résistance équivalente
R_{Ta} = résistance totale du circuit d'amorçage

Dans le montage en série, la résistance totale **R_{Ta}** du circuit d'amorçage est égale à la somme des résistances des inflammateurs électriques séparés **R_{Ti}** (résistance individuelle d'un inflammateur multiplié par le nombre (n) des inflammateurs), de la résistance de la ligne d'alimentation **R_L** et de la résistance des fils de prolongation **R_F**!

Exemple: un circuit d'amorçage se compose de 5 inflammateurs électriques de 1,5 ohms, d'un câblage long de 25 m avec fil de prolongation en Cu de 0,5 mm de Ø (10,0 Ω / 100 m) et d'une ligne d'alimentation de 0,5 mm² pour une longueur de 100 m (4 Ω / 100 m)

Solution: **R_{Ti}** = 5 x 1,5 = **7,5 Ω** et **R_V** = 25 x 10 / 100 = **2,5 Ω** et **R_L** = 200 x 4 / 100 = **8 Ω**
R_{Ta} (résistance totale) = **18 Ω**

5.1.1 Avantages et inconvénients du montage en série

Avantages:

- montage clair!
- en cas de court-circuit d'un inflammateurs, les autres s'activent quand même!
- contrôle facile du circuit d'amorçage: les coupures peuvent être détectées à l'aide d'un ohmmètre ou d'un contrôleur de continuité (pas de passage)!
- la résistance totale peut être calculée et mesurée facilement (pas d'ohm à 2 virgules décimales)!
- seul un faible courant d'amorçage est nécessaire (amorce A 0,8 A)!
- Les défaillances du circuit sont facilement détectables!

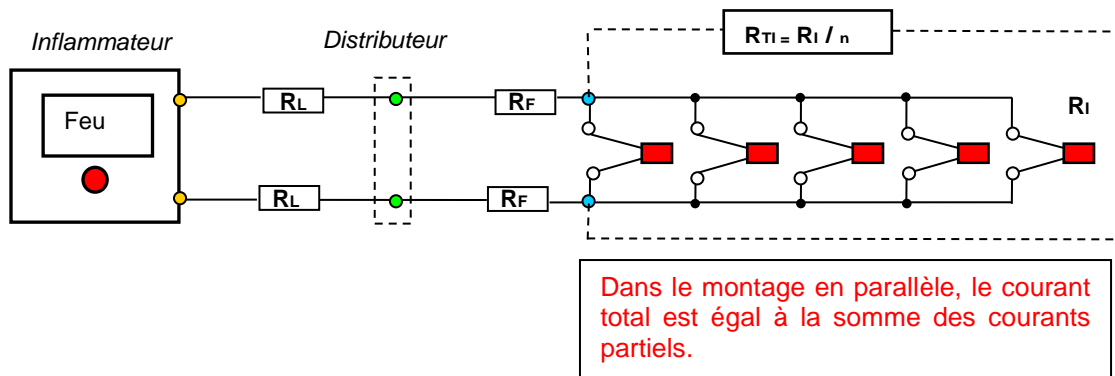
Inconvénients:

- de faibles tensions d'amorçage ne peuvent allumer que quelques inflammateurs (~1 volt par circuit d'amorçage de 1 ohm);
- si le courant d'amorçage est trop faible (juste à la limite), une partie des inflammateurs peut déjà brûler et interrompre ainsi le circuit avant que les autres n'aient reçu assez d'énergie;
- des inflammateurs différents ne doivent **jamais** être montés en série!



5.2 Montage en parallèle

Dans un montage en parallèle, chaque inflammateur est relié directement au circuit de tir.



RI = résistance d'un inflammateur
RL = résistance du conducteur
RF = fils de rallonge
RTI = résistance totale de tous les inflammateurs à pont → résistance équivalente
RTA = résistance totale du circuit d'amorçage

Pour calculer la résistance totale **RTA** d'un circuit d'amorçage constitué d'inflammateurs montés en parallèle, la résistance d'un inflammateur individuel **RI** doit être divisée par le nombre (n) d'inflammateurs. A cette résistance **RPZ** doivent être ajoutées la résistance de la ligne d'alimentation **RL** et la résistance des fils de prolongation **RF**.

5.2.1 Avantages et inconvénients du montage en parallèle

Avantages:

- distribution facile;
- en cas de rupture d'un inflammateur, les autres s'activent quand même !
- la tension d'amorçage nécessaire est faible !
- différents inflammateurs peuvent être allumés !

Inconvénients:

- l'identification d'un inflammateur défectueux induisant une coupure est difficile !
- il est difficile de détecter un court-circuit d'amorce ou de connexion!
- le court-circuit d'un inflammateur entraîne une **défaillance totale de l'allumage** !
- ce type de montage nécessite des appareils d'allumage présentant une faible résistance interne et un circuit d'amorçage de basse impédance !
- l'appareil d'allumage doit pouvoir fournir un courant élevé.
- la résistance totale se calcule facilement, mais ne peut pas être vérifiée à l'aide d'instruments de test vendus dans le commerce (**0,0x ohm**) !

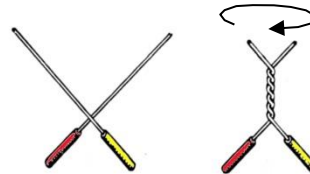
6 Liaison des fils d'amorce

Des liaisons de fils solides et bonnes conductrices entre les inflammateurs et les lignes de raccordement comptent parmi les conditions les plus élémentaires d'un allumage sûr. Une liaison solide nécessite des extrémités de fil parfaitement dénudées (attention à l'oxydation !).

6.1 Exemples de liaisons sûres:

Torsadage

1. Epissure de deux fils de même section.



Croiser les bouts dénudés des fils et les vriller six à huit fois.

2. Epissure de fils de différentes sections

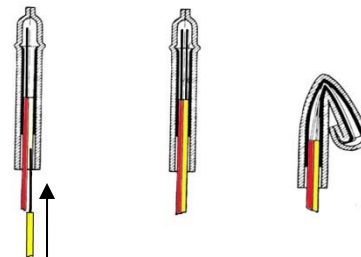


Poser les deux fils à lier côte à côte; les plier en boucle et tourner vigoureusement quatre à cinq fois.

Pour empêcher les contacts de terre ou les courts-circuits, les parties dénudées des points de liaison du câblage d'amorçage doivent toujours être couvertes d'un ruban adhésif isolant ou recevoir un manchon d'isolation en PVC à recourber.

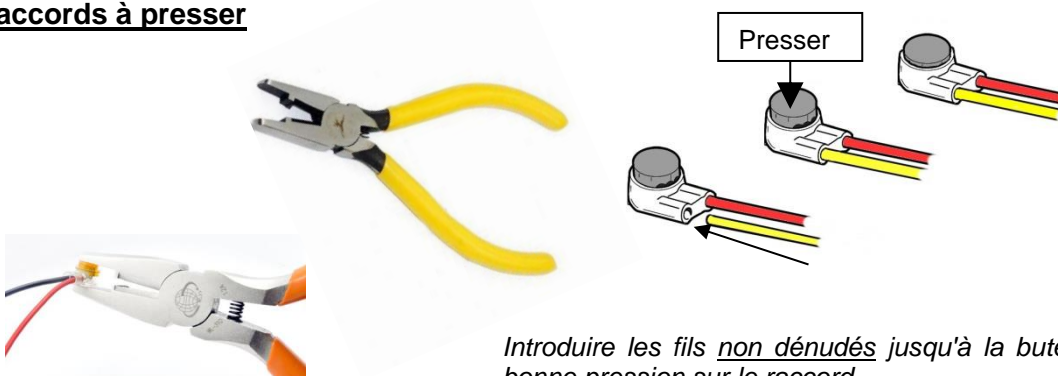
Raccords rapides

Les raccords rapides isolés à l'extérieur ou raccords à presser sont vivement recommandés, parce qu'ils garantissent une liaison électrique (métallique) irréprochable et offrent simultanément une isolation sûre!



Après avoir introduit les fils dénudés dans le tube en aluminium graissé, bien recourber le tout.

Raccords à presser



Introduire les fils non dénudés jusqu'à la butée et exercer une bonne pression sur le raccord.

7 Pose des lignes de tir

En cas d'installation complexe, il est conseillé de toujours établir un **plan de montage** ! Il est en effet essentiel que chaque artificier puisse avoir une vue d'ensemble des points d'amorçage !

Les lignes de tir et les câbles doivent être posés dans les règles de l'art ! Il convient d'éviter toutes situations (lacets, boucles, enroulements) dans lesquelles des personnes pourraient se prendre les pieds ! Aux endroits de passage, les lignes de tir doivent être fixées et protégées proprement à l'aide de ruban adhésif. Les lignes doivent être posées sans aucune contrainte de traction, par exemple en utilisant des attache-câbles.

Recommandation

- Il est important de poser les lignes de tir en restant concentré sur son travail, et de ne pas se laisser distraire. Pour empêcher toute confusion, les boîtiers de connexion doivent être étiquetés (identifiés clairement) !
- Un grand nombre de ratés d'allumage sont causés par des fiches de raccordement arrachées ou par des fils de tir détachés !
Enfoncer les fiches à fond et les visser éventuellement. Épisser correctement les fils de tir et bien les fixer.
- Évitez les boucles d'induction !
- Lors du raccordement à des bornes, il convient de s'assurer que seuls les fils dénudés sont serrés, pas l'isolation ! L'isolation des fils doit rester à une distance minimale de 1 mm de la borne !
- Sur les bornes à fiche, le fil, après avoir été introduit, doit être ressorti en exerçant une force moyenne. L'isolation doit commencer à environ 1 ou 2 mm après la borne (elle ne doit être ni trop longue ni trop courte). Fig. 3

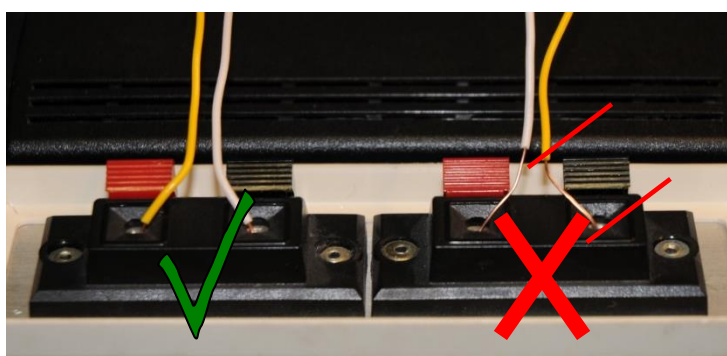


Fig. 3

8 Sécurité à proximité d'émetteurs ou de lignes de haute tension

Ordonnance sur les explosifs, OExpl 941.411

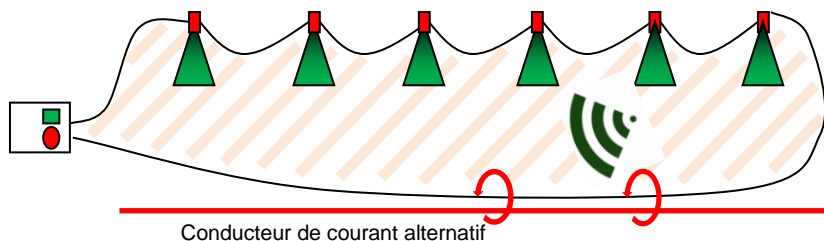
art. 99 Distances de sécurité par rapport aux installations d'énergie électrique

Lors des allumages électriques, les distances de sécurité minimales par rapport à des installations d'énergie électrique (p. ex. émetteurs, installations radar ou lignes à haute tension) indiquées par le fabricant doivent être respectées.

Des réglementations spécifiques quant au respect de distances minimum entre les inflammateurs et des appareils générant des champs à haute fréquence ne figurent pas dans l'ordonnance sur les explosifs.

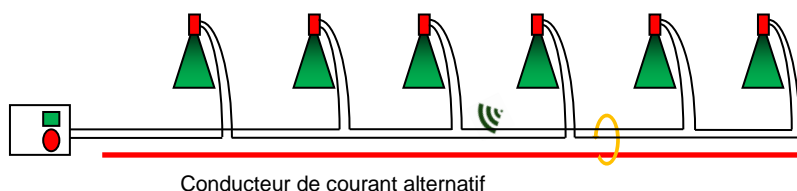
8.1 Bonne et mauvaise pose d'une ligne de tir

Les lignes à courant alternatif de forte intensité ou un rayonnement haute fréquence à proximité d'un émetteur peuvent générer des courants induits dans des boucles d'induction à cause de leurs champs magnétiques. Il faut donc câbler les lignes d'allumage avec une surface d'induction la plus faible possible. Exemple du câblage d'un „mur de volcans” avec 6 volcans en série, avec câblage par grande et faible boucle d'induction.



Câblage par fil unitaire avec grande surface d'induction, donc possibilité d'induction d'énergie!

Fig. 7



Fil électrique à deux brins ne possédant quasiment aucune surface d'induction et une induction d'énergie très faible

9 Installation radiophonique et de téléphonie mobile en Suisse

Le portail internet map.geo.admin.ch permet de consulter tous les émetteurs radioélectriques en Suisse avec leur objet et des informations supplémentaires.



Lien: <https://map.geo.admin.ch>

9.1 Recommandation de sécurité

La probabilité d'un allumage prématuré des inflammateurs causé par un rayonnement électromagnétique est faible - jusqu'à présent, aucun allumage prématuré causé par un rayonnement électromagnétique n'a été rapporté sur le territoire suisse. En présence de certaines conditions très spécifiques, il n'est cependant pas possible d'exclure un risque. En respectant les points suivants, il est possible d'exclure un allumage prématuré accidentel par rayonnement électromagnétique même en cas de conditions défavorables.

1. Les fils d'amorçage trop longs doivent uniquement être **pliés** et non **enroulés** car les bobines constituent une boucle d'induction idéale pour des phénomènes électromagnétiques transitoires.
2. Les personnes manipulant des inflammateurs ou bien qui achèvent un circuit d'amorçage ne doivent pas se servir d'un téléphone portable ou d'appareils radio.
3. Utiliser uniquement des lignes de tir torsadées ou connectées en parallèle à proximité des émetteurs ou lignes de haute tension. Si possible, il faudrait faire passer ces câbles au sol.
4. Ne pas câbler des surfaces / boucles d'induction. *Voir page:10*
5. Ne pas laisser des extrémités ouvertes des lignes de tir au sol.
6. Veiller à garder l'isolation de la ligne de tir intacte, pas de contacts à la terre!
7. Respecter les distances de sécurité autant par rapport aux émetteurs qu'au public!
8. Demander les données des antennes comme la puissance apportée PTx, ERP resp. EIRP ou le facteur de gain d'antenne G et le diagramme de rayonnement auprès des exploitants compétents.
9. Utiliser des inflammateurs FA ou U moins sensibles!
10. Dans le doute, faire appel à un expert!

Important

Les lignes de tir doivent être conçues de manière à présenter un mauvais effet d'antenne dans une zone à proximité d'un émetteur, par rapport à la fréquence émise.

Attention!

En présence d'un rayonnement électromagnétique de taille critique pour les inflammateurs, il faut aussi envisager une **mise en danger des collaborateurs!** Un fort rayonnement radioélectrique peut causer des dommages aux organes!

10 Contrôle d'une ligne de tir

Après la réalisation d'un circuit de tir, il est indispensable de contrôler la ligne de tir à l'aide d'un contrôleur de continuité ou, mieux, d'un ohmmètre. Le contrôle de continuité donne une première indication de l'état d'un circuit: s'il est raccordé et s'il y a passage. Cette méthode de test ne détecte cependant pas les courts-circuits. Pour cela, il faut recourir à un ohmmètre (les multimètres disponibles dans le commerce intègrent généralement un ohmmètre). Il convient de s'assurer à cet égard que la précision de l'affichage dans la plus petite plage de mesure soit au minimum de 0,1 ohm ou d'une position après la virgule. Exemple: **12,6 ohm!**



Un contrôle sérieux du circuit de tir ne nécessite que peu de temps et évite les échecs et les mauvaises surprises à l'allumage!

Attention!

Le courant de test du circuit doit être de **maximum 25 mA!**

Ne pas utiliser de contrôleur de continuité électromécanique (oscillateur)!



Signalisation :
optique/acoustique
Courant de test : 75 μ A
Mesure de la résistance : 0...1 M Ω
Résistance diélectrique : ...500 V c.a.
Piles : 1 x 6LR61/9 V
Description : Contrôleur de continuité

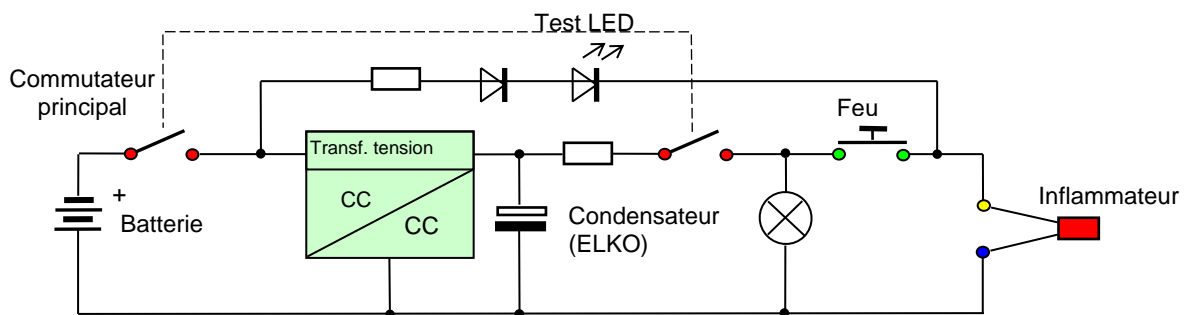


Signalisation :
optique/acoustique
Courant de test : 200 mA
Mesure de la résistance : 0...10 Ω , 0...200 k Ω
Résistance diélectrique : -
Piles : 3 x LR6/AA
Description : Contrôleur de continuité

11 Tables de tir / systèmes de tir

Les systèmes de tir d'un feu d'artifice fonctionnent généralement d'après le principe de l'allumage par condensateur (comme sur un flash d'appareil photo). Le condensateur d'allumage est chargé en quelques secondes soit par un chargeur branché sur le secteur, soit à l'aide d'une batterie autonome via un convertisseur de tension. Lors de l'allumage, le condensateur se décharge et, grâce à sa faible résistance interne (de l'ordre du milliohm), peut délivrer en peu de temps une très grande quantité d'énergie. En raison de leur résistance interne élevée, la plupart des piles ou batteries ne sont pas en mesure de fournir une puissance comparable en si peu de temps pour alimenter de manière sûre des circuits de tir électrique!

11.1 Schéma de connexion d'une table de tir



L'utilisation et le branchement de tout dispositif de mise à feu doivent être réalisés selon les indications du fabricant.



En cas de risque d'orage, toutes les installations doivent être immédiatement déconnectées, car les coups de foudre peuvent faire fonctionner les inflammateurs électriques!

11.2 Montage et plan de tir simple

La surprise du mariage d'Aline et Samuel

Ligne	Allumeur	Nombre	Article	Description
1	1	1	Bengale rouge 30 s	Eclairage de l'allégorie Aline et Samuel
2	3	3	Batterie fête nocturne sur lac	30 mm, 49 coups
3	8	1	Représentation cœur en feu	Combustion couverture A. et S.
4	6	6	Volcan 120 s	A droite et à gauche à côté du cœur
5	5	5	Chandelles romaines 30 mm or, bleu	Montées en éventail sur grille
6	1	1	Batterie en éventail argent, multicolore	40 mm, 100 coups
7	3	15	Batterie Bombes multicolores 75 mm	Chrys. 75 mm, 25 coups 50 s

