

Manuel de Sécurité Haute Tension

Traduction de :

[https://web.eecs.utk.edu/~dcostine/ECE482/Spring2014/components/equipment/
High Voltage Safety Manual.pdf](https://web.eecs.utk.edu/~dcostine/ECE482/Spring2014/components/equipment/High_Voltage_Safety_Manual.pdf)

Introduction

Informations générales sur l'électricité et le corps humain :

Plus de mille personnes sont tuées chaque année aux États-Unis en raison du courant électrique généré, et plusieurs milliers d'autres sont blessées. Le courant circulant à l'intérieur du corps peut causer des brûlures profondes et un arrêt cardiaque. Fréquemment, l'individu ne peut pas lâcher la source d'alimentation en raison d'une contraction musculaire involontaire. Le cerveau et le cœur sont les organes les plus sensibles. Pour les effets du courant sur le corps humain, voir le tableau 1. Un courant alternatif (CA) avec un potentiel de tension supérieur à 550 V peut perforer la peau et entraîner un contact immédiat avec la résistance interne du corps. Un choc de 110 V peut ou non résulter en un courant dangereux, selon le trajet du circuit, qui peut inclure la résistance de la peau. Un choc supérieur à 600 V entraînera toujours des niveaux de courant très dangereux. Le résultat le plus grave d'un choc électrique est la mort.

Les conditions pour un choc grave, mais encore potentiellement mortel, à travers un trajet critique, tel que le cœur, sont :

1. Plus de 30 V efficaces (RMS), 42,4 V crête, ou 60 V CC à une impédance totale inférieure à 5 000 ohms.
2. 10 à 75 mA.
3. Plus de 10 J.

Les conditions pour un choc potentiellement, mais plus que probablement, mortel à travers le cœur sont :

1. Plus de 375 V à une impédance corporelle totale inférieure à 5 000 ohms.
2. Plus de 75 mA.
3. Plus de 50 J.

La fréquence la plus dangereuse pour les humains est 60 Hz, qui est couramment utilisée dans les systèmes d'alimentation électrique. Les humains sont environ cinq fois plus sensibles au courant alternatif de 60 Hz qu'au courant continu. À 60 Hz, les humains sont plus de six fois plus sensibles au courant alternatif qu'à 5 000 Hz - et la sensibilité semble diminuer encore davantage à mesure que la fréquence augmente. Au-dessus de 100-200 kHz, les sensations passent du picotement à la chaleur, bien que des brûlures graves puissent survenir avec une énergie radiofréquence plus élevée.

À des fréquences beaucoup plus élevées (par exemple, au-dessus de 1 MHz), le corps redevient sensible aux effets d'un courant électrique alternatif, et le contact avec un conducteur n'est plus nécessaire ; l'énergie est transférée au corps au moyen d'un rayonnement électromagnétique.

Tableau 1 : Effets du courant électrique sur le corps humain

Sensation	Courant continu (mA)		Courant Alternatif (mA)				Sévérité de l'incident
			60 Hz		10,000 Hz		
	68 kg	52 kg	68 kg	52 kg	68 kg	52 kg	
Sensation légère	1	0.6	0.4	0.3	7	5	Aucune
Seuil de perception	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8	Aucune
Choc non douloureux	9	6	1.8	1.2	17	11	Aucune
Choc douloureux	62	41	9	6	55	37	Spasme, blessure indirecte
Muscle agrippe la source	76	51	16	10.5	75	50	Possiblement mortel
Arrêt respiratoire	170	109	30	19	180	95	Fréquemment mortel
Fibril. vent. >0,03s	1300	870	1000	670	1100	740	Probablement mortel
Fibril. vent. >3s	500	370	100	67	500	340	Probablement mortel
Fibril. vent. >5s	375	250	75	50	375	250	Probablement mortel
Arrêt Cardiaque	--	--	4000	4000	--	--	Probablement mortel

Brûlure d'organes	--	--	5000	5000	--	--	Mortel si organe vital
-------------------	----	----	------	------	----	----	------------------------

Effets potentiellement mortels :

- Des courants supérieurs au courant de « non-lâcher » d'un humain (>16 mA à 60 Hz) traversant la poitrine peuvent produire un collapsus, une perte de conscience, une asphyxie et même la mort.
- Des courants (>30 mA à 60 Hz) circulant à travers les centres nerveux qui contrôlent la respiration peuvent produire une inhibition respiratoire, qui pourrait durer longtemps après l'interruption du courant.
- Un arrêt cardiaque peut être causé par un courant supérieur ou égal à 1 A à 60 Hz circulant dans la région du cœur.
- Des courants relativement élevés (0,25-1 A) peuvent produire des dommages mortels au système nerveux central.
- Des courants supérieurs à 5 A peuvent produire des brûlures profondes du corps et des organes, augmenter considérablement la température corporelle et causer la mort immédiate.
- Des brûlures graves ou d'autres complications peuvent causer des réactions retardées et même la mort.

Le flux de courant le plus dangereux via la cavité thoracique passe par le cœur lorsque le choc se produit dans le temps relatif au rythme cardiaque normal. Ce courant peut causer une fibrillation ventriculaire, qui est définie comme des contractions répétées, rapides et non coordonnées des ventricules cardiaques. La fibrillation ventriculaire qui altère l'action de pompage rythmique normale du cœur peut être initiée par un flux de courant de 75 mA ou plus pendant 5 secondes (5 s) ou plus à travers la cavité thoracique. Le but de cet ensemble de directives n'est pas de vous effrayer mais plutôt de vous sensibiliser aux précautions appropriées. La section suivante discutera des directives générales à suivre lors du travail avec la haute tension et, plus tard, nous discuterons plus spécifiquement des types d'équipement utilisés dans ce laboratoire.

Directives pour le travail en haute tension

Contrôles généraux du travail :

- Ne travaillez pas seul - en cas d'urgence, la présence d'une autre personne peut être essentielle.

- Connaissez les procédures d'urgence à suivre en cas d'accident (composez le 911).
- Mettez l'équipement hors tension au moins deux fois avant de commencer le travail. Assurez-vous que les commandes appliquées empêcheront le fonctionnement de l'équipement et que toute l'énergie dangereuse, y compris l'énergie résiduelle ou stockée, est bloquée, déchargée ou évacuée avant de commencer le travail.
- Après avoir tout déchargé, ne touchez le circuit qu'avec le dos de votre main en premier. Cela vous permet de lâcher si vous en avez besoin.
- N'entrez jamais seul dans une zone contenant des sources d'énergie électrique exposées.
- Utilisez uniquement les instruments de test et les outils isolés adaptés à la tension et au courant spécifiés.
- Gardez toujours une main dans votre poche lorsque vous êtes près d'un système alimenté par le secteur ou d'un système haute tension.
- Portez des chaussures à semelles en caoutchouc ou des baskets.
- Ne portez aucun bijou ou autre article qui pourrait accidentellement entrer en contact avec le circuit et conduire le courant, ou se coincer dans des pièces mobiles.
- Configurez votre zone de travail loin des mises à la terre possibles que vous pourriez accidentellement contacter.
- Connaissez votre équipement.
- Si vous devez sonder, souder ou toucher autrement des circuits avec l'alimentation coupée, déchargez (à travers) les grands condensateurs de filtre d'alimentation (au moins 2 fois). Surveillez pendant la décharge et/ou vérifiez qu'il n'y a pas de charge résiduelle avec un voltmètre approprié.
- Si vous devez sonder en direct, mettez du ruban électrique sur tout sauf le dernier 1,5 mm des sondes de test pour éviter la possibilité d'un court-circuit accidentel, qui pourrait causer des dommages à divers composants. Attachez l'extrémité de référence du compteur ou de l'oscilloscope au retour de masse approprié afin de ne devoir sonder qu'avec une seule main.
- Effectuez autant de tests que possible avec l'alimentation coupée et l'équipement débranché.

- N'essayez pas de réparer lorsque vous êtes fatigué. Non seulement vous serez plus négligent, mais aussi votre outil de diagnostic principal - le raisonnement déductif - ne fonctionnera pas à pleine capacité.
- Enfin, ne supposez jamais rien sans le vérifier par vous-même ! Ne prenez pas de raccourcis !

Les alimentations haute tension (CA ou CC) et les générateurs de déclenchement peuvent présenter les dangers suivants :

- Les défauts, la foudre ou les transitoires de commutation peuvent provoquer des surtensions dépassant les valeurs nominales normales.
- Une défaillance de composant interne peut provoquer des tensions excessives sur les circuits de mesure externes et les circuits de commande auxiliaires basse tension.
- Les dispositifs de protection contre les surintensités tels que les fusibles et les disjoncteurs pour les applications conventionnelles peuvent ne pas limiter ou interrompre adéquatement l'énergie inductive totale et les courants de défaut dans les systèmes CC hautement inductifs.
- L'énergie stockée dans les longs câbles peut être un danger inattendu. Des procédures doivent être en place pour assurer une décharge appropriée de cette énergie.
- Les réactions involontaires au contact avec des systèmes haute tension à faible courant peuvent entraîner une chute ou un enchevêtrement avec l'équipement.

Les alimentations qui peuvent délivrer une énergie supérieure à 10 J à plus de 50 V sont considérées comme potentiellement dangereuses, et les dangers doivent être identifiés. Un panneau d'avertissement approprié doit identifier les dangers électriques dans les zones ou équipements accessibles au personnel non qualifié. Une défaillance de composant interne des alimentations peut entraîner des tensions excessives sur des composants qui peuvent ne pas être dimensionnés de manière appropriée. Un court-circuit de composant interne dans un banc de condensateurs peut entraîner un courant de défaut excessif, des températures extrêmement élevées, une suppression des composants, des incendies et des explosions. Une surcharge ou un refroidissement inadéquat des alimentations peut causer des températures excessives et des incendies. Les circuits de sortie et les composants peuvent rester sous tension après que l'alimentation d'entrée est coupée.

Alimentations basse tension, courant élevé :

Les systèmes de R&D peuvent inclure des équipements fonctionnant à moins de 50 V. Même si ce niveau de tension n'est généralement pas considéré comme dangereux, les niveaux de courant élevés générés par ces systèmes peuvent être dangereux. De plus, une mise à la terre par inadvertance des conducteurs peut entraîner des arcs électriques et des brûlures, et les circuits inductifs peuvent créer des dangers de haute tension lorsqu'ils sont interrompus. Pour ces raisons, les systèmes basse tension à courant élevé doivent avoir des couvercles de protection ou des barrières adéquats, des étiquettes d'avertissement appropriées et des composants adaptés à l'utilisation prévue.

Alimentations haute tension, courant faible :

Les alimentations avec des courants de sortie inférieurs à 5 mA ne présentent pratiquement aucun risque de choc électrique. Dans les emplacements dangereux, cependant, un tel équipement peut produire des étincelles et provoquer une explosion. Des surtensions dépassant les valeurs nominales normales peuvent résulter de défauts ou de la foudre. Les dispositifs de protection contre les surintensités (fusibles ou disjoncteurs) pour les applications conventionnelles peuvent ne pas être adéquats pour les systèmes à courant continu hautement inductifs. L'énergie stockée dans les longs câbles peut causer des dangers supplémentaires.

Condensateurs

- Des dispositifs de mise à la terre manuelle doivent être installés avec les condensateurs et utilisés, même si des systèmes de décharge automatique sont utilisés.
 - Pour mettre à la terre, utilisez simplement une tige de mise à la terre (correctement mise à la terre) et touchez les deux bornes du condensateur HT.
- Les condensateurs doivent être physiquement mis à la terre indépendamment de l'existence de résistances de décharge, d'interrupteurs de vidage, de verrouillages ou d'autres dispositifs de mise hors tension potentiels. Les dispositifs de mise à la terre doivent être placés aux points de faible impédance et maintenus dans ces positions pendant que le personnel se trouve dans l'enceinte. Toutes les bornes doivent être mises à la terre, au moins 2 fois, pour assurer une décharge complète.

La mise à la terre d'une borne chaude alors que la borne de mise à la terre nominale est flottante n'assurera pas la sécurité du personnel.

- Les systèmes de décharge et de mise à la terre doivent être conçus de manière à ce que le personnel ne soit pas exposé au métal fondu volant provenant d'arcs électriques à courant élevé.
- La conception de tous les bancs de condensateurs doit inclure des résistances de décharge. Le temps de décroissance de la tension résiduelle à 50 V ou moins ne doit pas dépasser 5 minutes pour les condensateurs dont la tension nominale est supérieure à 600 V ou 1 minute pour les condensateurs dont la tension nominale est de 600 V ou moins.
- Un condensateur défectueux dans un banc de condensateurs peut se rompre, parfois de manière explosive. Selon le type de diélectrique utilisé, la rupture pourrait entraîner un incendie ou la libération de gaz toxiques. Pour contrôler ces dangers, des systèmes spéciaux de suppression d'incendie et de ventilation doivent être fournis lors de la conception d'une enceinte de banc de condensateurs. Lorsque les fusibles ne peuvent pas limiter les courants de défaut, la conception doit inclure une barrière ou une enceinte autour du banc de condensateurs pour protéger le personnel de tout projectile.
- Parce qu'un condensateur déconnecté et déchargé peut se charger automatiquement (en raison d'effets de mémoire diélectrique) ou accumuler une charge en étant placé dans un champ électrique, tous les condensateurs doivent être court-circuités avec un fil de drain et mis à la terre, le cas échéant, au boîtier lorsqu'ils ne sont pas utilisés.
- Les connexions ne doivent pas être faites ou rompues avec l'alimentation sous tension à moins qu'elles ne soient conçues et dimensionnées pour ce type de service (par exemple, coudes à rupture de charge).
- Inspectez les câbles et les connecteurs pour détecter les dommages et ne les utilisez pas s'ils sont endommagés.

Exemples de ce qu'il ne faut pas faire

*** Un étudiant, travaillant sur un doctorat, a reçu un choc électrique en aidant un collègue étudiant.**

- L'étudiant en doctorat a touché un fil haute tension isolé et la terre.
- L'étudiant a reçu 10 kV CC main à main (avant-bras) à une intensité ampérique entre 1-2 ampères.
- Le point d'entrée était le majeur et l'annulaire de la main gauche et la sortie était par l'avant-bras droit.

- Le fil peut avoir été endommagé auparavant.
- L'individu a été emmené directement au Valley Medical Center, traité et libéré.

*** Un employé a reçu un choc de 6 kV à 5 mA.**

- Il a éteint la mauvaise alimentation et ouvert une enceinte pour accéder à un ventilateur de refroidissement sur un duoplasmatron de 10 kV (pistolet à ions).
- Il avait ouvert l'alimentation pour déplacer un fil qui frottait contre un moteur de ventilateur.
- L'employé n'a pas vérifié que l'alimentation était mise hors tension ou verrouillée. Traité et libéré du centre médical.

*** Choc et brûlure au deuxième degré :**

- Un technologue en électronique dépannait une alimentation et avait mis le châssis hors tension.
- Il retirait une carte de circuit qui contenait trois condensateurs lorsque son pouce droit a touché les fils de l'un des condensateurs.
- Il a reçu un choc de 470 V CC <10 J et une brûlure au deuxième degré au pouce.
- L'employé n'a pas déchargé les condensateurs avant de retirer la carte de circuit.

**** Tous les exemples se sont produits aux Lawrence Livermore National Labs (LLNL).**