

## IV

# LA MORT PAR LES COURANTS ÉLECTRIQUES

## COURANTS ALTERNATIFS A HAUTE TENSION

Par MM. **J.-L. PREVOST** et **F. BATTELLI**

---

(Travail du laboratoire de physiologie de l'Université de Genève.)

---

Nous étudierons dans ce second mémoire l'effet des courants de haute tension chez le *chien*, le *cochon d'Inde*, le *lapin* et le *rat*. Comme nous l'avons déjà dit dans notre premier mémoire, les symptômes observés diffèrent de ceux que nous avons signalés avec les faibles tensions; le mécanisme de la mort est en particulier tout autre.

Nous commencerons par l'étude et l'analyse de nos expériences faites sur le chien, qui nous servira de type, avec lequel nous pourrons comparer les autres espèces animales.

**Chien.** — Nous avons soumis vingt-deux chiens à des courants alternatifs de 4800, 2400 et 1200 volts; nous diviserons ces expériences en plusieurs groupes, en résumant les faits principaux sous forme de tableau, dans lesquels nous les mettrons en relief.

Dans le plus grand nombre de nos expériences, nous avons enregistré la pression de l'artère crurale et nous avons souvent pris le tracé de la respiration.

Dans le premier tableau, nous réunissons les cas dans lesquels les électrodes ont été placées de la tête aux pieds avec toutes les précautions voulues pour assurer les meilleurs contacts possibles.

Le chien qui est soumis au passage de la tête aux pieds d'un courant de 4.800 volts pendant une secousse, c'est-à-dire pendant le temps suffisant pour fermer et rompre le courant en faisant jouer la manette (1/10 de seconde environ) offre déjà des troubles graves du système nerveux, qui s'accusent encore davantage si le contact est un peu plus prolongé et dure une ou deux secondes.

Ces phénomènes graves s'observent aussi avec l'application semblable des courants de 2500 volts que nous avons le plus souvent employés. Ils existent aussi, quoique moins violents, avec les courants de 1200 volts.

Les symptômes nerveux dont nous parlons sont caractérisés par de violentes convulsions tétaniques avec opisthotonos auxquelles succèdent quelques convulsions cloniques.

TABLEAU I. — Électrodes (Tête ou bouche, cuisses rasées et rectum).

	VOLTS.	DURÉE.	CŒUR.	PRESSION.	RESPIRATION.	CONVULSIONS.	RÉSULTAT ET OBSERVATIONS.
I. Chien adulte..... (Tracé, fig. 1.)	4800 » »	2 secondes. 2 — 2 —	Rapide. Id. Id.	Élévation. Id. Id.	Arrêt momentané. Id. Id.	» Mouv. fibril. des muscles. »	Se remet. Id. Id.
II. Chien adulte..... (Tracé, fig. 2.)	4800 » »	1 secousse. 2 secondes. 2 —	Bat. Accélééré. Lent.	Élévation. Id. Id.	Arrêt momentané. Resp. artif. le remet. Arrêt.	Convulsions. Manquent. Id.	Rétabli. Id. Mort par respiration.
III. Chienne adulte.....	2400	1 secousse.	Lent. Arythmique.	Pas inscrite.	Arrêt momentané.	Convulsions.	Rétablie. Bave longtemps. Etourdie, effrayée, intelligence obtuse pendant une heure.
IV. Chienne adulte.....	2400 » »	1 secousse. 1 — 5 secondes.	Rapide, puis lent. Id. Arrêt.	Pas inscrite. » »	Arrêt momentané. Arrêt, 1 minute. Arrêt.	Convulsions. Id. Manquent.	Se remet. Id.
V. Chienne adulte.....	2400 »	1 secousse. 1 seconde.	Bat. Id.	Élev. très forte. Id.	Arrêt momentané. Arrêt.	Convulsions. »	Se remet. Mort par la respiration.
VI. Chienne de 5 kilogr.....	2400	1 seconde.	Accélééré, puis arythmique.	Élévation forte.	Arrêt.	Cenvulsions.	Mort par la respiration.
VII. Chien..... (Tracé, fig. 3.)	2400	4 s. 1/2.	Bat.	Élévation.	Arrêt.	Manquent.	Mort par la respiration.
VIII. Jeune chien, 2 mois....	2400 »	1 secousse. 1 seconde.	Bat. Id.	Élévation. Id.	Arrêt. Resp. artif. Id.	Convulsions. Manquent.	Se remet. Mort par la respiration.
IX. Chien adulte.....	2400 » »	1 secousse 2 secondes. 3 —	Rapide, puis lent. Id. Id.	Élévation. Id. Id.	Arrêt, 1 s. 1/2. Id. Arrêt.	Convulsions. Contracture muscul. Manquent.	Se remet. Id. Mort par la respiration.
X. Chien de 10 kilogr.....	2400 »	1 secousse. 5 secondes.	Bat. Rapide.	Élévation. Id.	Arrêt. Resp. artif. Arrêt.	Violentes. Manquent.	Se remet. Mort par la respiration.
XI. Chienne adulte.....	1200	5 secondes.	Pouls lent.	Élévation.	Arrêt momentané.	Convulsions.	Se remet.
XII. Chien de 8 kilogr.....	1200	2 secondes.	Bat.	Élev. très forte.	Suspendue 25 secondes.	Convulsions.	Faible et peu sensible, se remet en une demi-heure.

La crise de convulsions est d'autant plus accusée que le contact est plus court. Si on le prolonge plus d'une seconde, généralement les convulsions s'éteignent et sont remplacées par une inhibition complète du système nerveux central : la sensibilité a disparu, les réflexes cornéens et patellaires ne peuvent se percevoir ; la respiration est suspendue et quelquefois définitivement arrêtée.

Ces phénomènes graves du côté du système nerveux entraînent souvent la mort de l'animal, qui succombe surtout aux troubles de la respiration. Cependant ces accidents peuvent aussi s'amender spontanément ; après quelque temps on voit la sensibilité et les réflexes reprendre peu à peu leur état normal et l'animal se rétablir (exp. III, XI, XII). Il faut la plupart du temps avoir recours à la respiration artificielle, qui maintient l'animal en vie pendant le temps nécessaire à la disparition de la violente inhibition des centres nerveux.

On doit ajouter que les troubles de la respiration sont d'autant plus accusés que la durée du contact a été plus longue. On peut voir dans nos observations, qu'une simple secousse ne paralyse pas la respiration d'une façon durable (exp. II, III, IV, V, VIII, IX, X), tandis que si le contact a duré plus d'une seconde on voit cette importante fonction dangereusement atteinte et dans certains cas définitivement paralysée.

Les phénomènes observés du côté de la *circulation* ne sont pas moins remarquables : on constate dans les tracés de la pression une violente ascension du tracé (*fig. 1*). Dans plusieurs cas la pression fut si violente que le

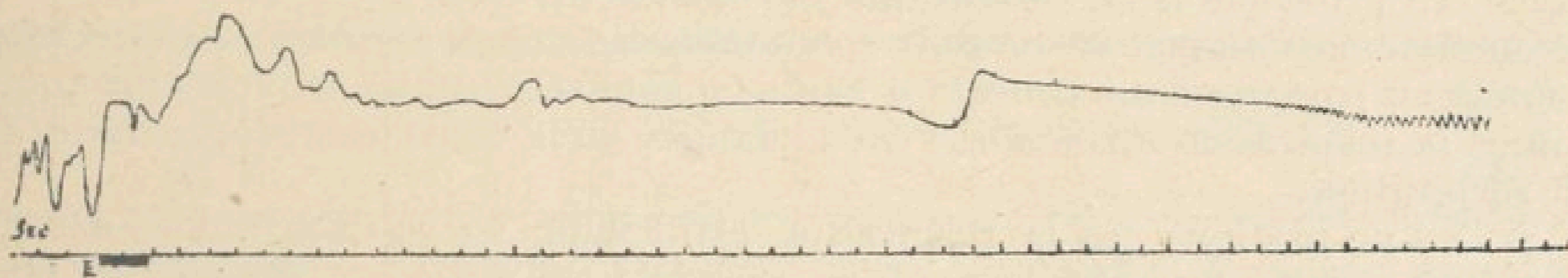


Fig. 1 (réduction à 1/4).

CHIEN I. Electrodes (tête et cuisses). — E, électrisation, 4800 volts ; cœur rapide ; élévation de pression.

flotteur de notre manomètre fut projeté jusqu'au haut du tube et ne put inscrire le niveau supérieur de la courbe. Cette élévation de pression qui s'élève jusqu'à 25 ou 30 centimètres de mercure et même davantage s'accompagne d'une accélération considérable du pouls. Après quelque temps (30 secondes à 1 minute environ) la pression commence à baisser et le pouls subit une phase de lenteur, avec oscillations plus grandes que normales ; puis, si l'animal se rétablit, le tracé reprend au bout d'un certain nombre de minutes son caractère normal. Néanmoins, dans bien des cas, le pouls reste arythmique, fait que nous avons pu constater quelquefois pendant plusieurs heures après l'expérience, chez les animaux qui avaient survécu.

Comment se comporte le cœur pendant cette phase d'élévation considérable de la pression avec accélération du pouls ? C'est ce que nous a permis de constater l'ouverture du thorax de plusieurs animaux soumis aux courants de haut voltage : les ventricules du cœur offrent une accélération et une augmentation de l'énergie de leurs contractions, tandis que les oreillettes s'arrêtent en diastole. L'arrêt des oreillettes qui peut être définitif ne dure généralement qu'une à deux minutes, après lesquelles on voit reparaitre progressivement les contractions normales, généralement d'abord dans l'oreillette gauche, la droite restant plus longtemps sans contractions. Le rythme cardiaque se rétablit alors.

Chez plusieurs chiens, nous avons ouvert le thorax immédiatement après la dernière électrisation, et nous avons observé aussi une modification dans le rythme du cœur : les contractions des oreillettes n'étaient pas suspendues,

mais suivaient celles des ventricules, d'une façon inverse à ce qui est le cas dans l'état normal. La contraction du cœur paraissait débiter à la pointe du ventricule et se propager de là à la base et aux oreillettes, paraissant souvent le faire avec un caractère vermiculaire.

Mais cette modification du rythme normal, que nous signalons, n'est pas irrémédiable, car fréquemment, après quelques minutes, le cœur reprend son rythme physiologique et se rétablit. Cependant, comme nous l'avons dit, il subsiste pendant un certain temps de l'arythmie.

Le passage des courants alternatifs à haut voltage amène aussi des modifications importantes dans les fonctions du système nerveux et de la circulation

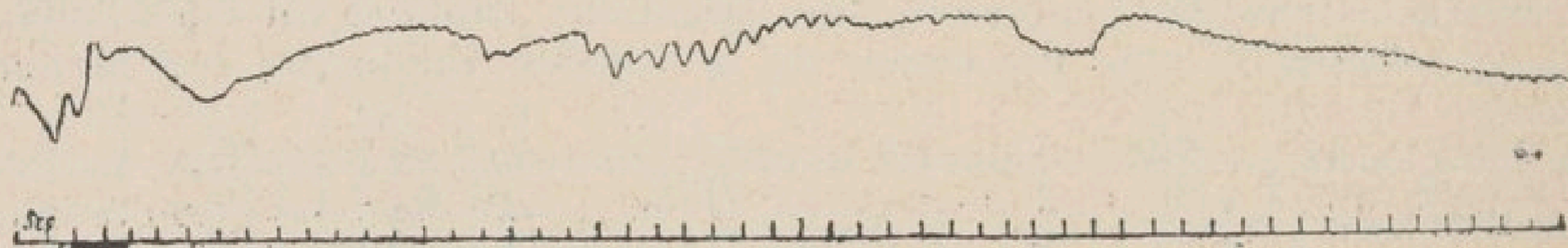


Fig. 2 (réduction à 1/4).

CHIEN II. Electrodes (tête et cuisses). — E, électrisation, 4800 volts; respiration artificielle après cinq secondes.

qui mettent l'animal en grand danger de mort; mais le chien n'est point irrémédiablement condamné, comme c'est le cas de celui chez lequel de faibles voltages ont provoqué les *trémulations fibrillaires* du cœur.

Quelquefois l'animal se rétablit spontanément; dans tous les cas, le chien soumis au passage d'un courant à haute tension sera sauvé, si l'on pratique à temps la respiration artificielle; car le danger qu'il court est la paralysie de la respiration.

Si l'on ne pratique pas la respiration artificielle, on voit souvent en effet la pression baisser progressivement, les contractions du cœur devenir de plus en plus faibles et finalement s'éteindre comme dans tous les cas de mort par asphyxie.

Nous avons plusieurs fois observé dans ce cas, en ouvrant le thorax de chiens dont le cœur se paralysait consécutivement à la paralysie de la respi-

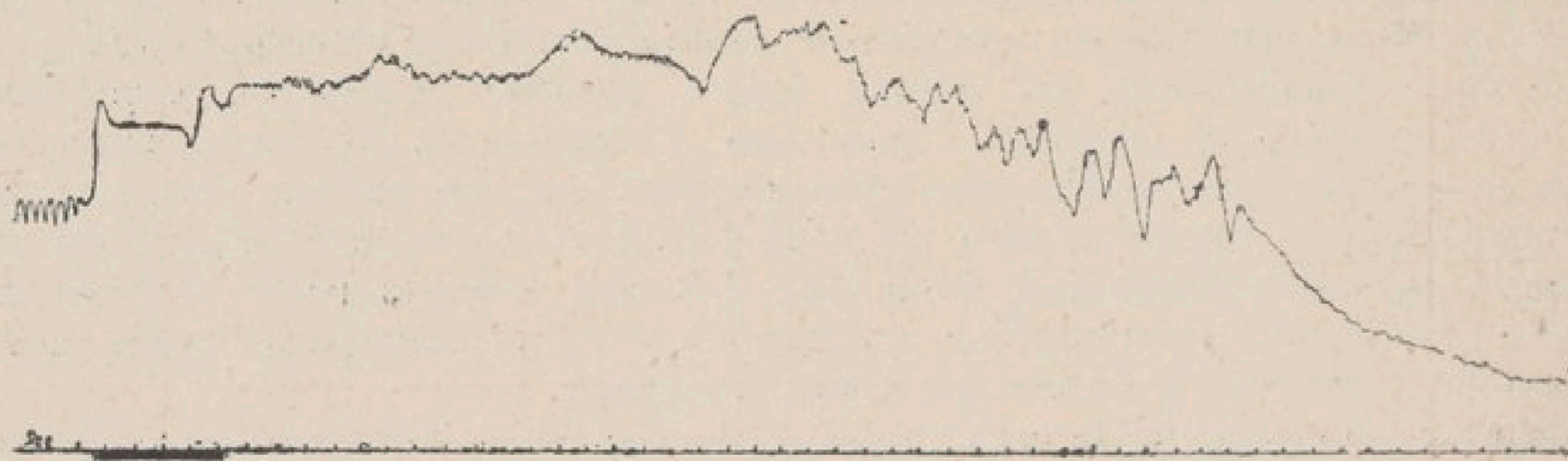


Fig. 3 (réduction à 1/4).

CHIEN VII. Electrodes (tête et cuisses). E, électrisation, 2400 volts; arrêt définitif de la respiration; chute consécutive de la pression; mort.

ration par les courants alternatifs à haute tension, que l'on pouvait en massant le cœur y faire naître des trémulations fibrillaires.

L'élévation de la pression si intense qui suit immédiatement la fermeture du courant nous paraît pouvoir être attribuée à une contraction vaso-motrice générale: elle est en tout cas la preuve que les vaso-moteurs ne sont pas paralysés à ce moment-là.

Ces phénomènes observés du côté du cœur ne sont point modifiés par la

section préalable des nerfs vagues. L'excitabilité des nerfs vagues fut souvent momentanément diminuée, ou même supprimée pendant plusieurs minutes; leur excitation électrique ne modifiait plus les contractions du cœur. Cette paralysie momentanée du nerf vague disparaît généralement au bout de quelques minutes, et l'électrisation du nerf arrête de nouveau le cœur.

Nous avons pu aussi constater un affaiblissement semblable de l'excitabilité du sympathique cervical, qui ne dilatait plus l'iris pendant plusieurs minutes, à la suite du passage du courant à haute tension.

Au contraire, les nerfs des muscles volontaires ne perdent pas leur irritabilité. L'excitabilité du nerf sciatique a toujours amené une contraction dans les muscles correspondants.

*Température rectale.* — Dans plusieurs expériences, nous avons pris la température rectale qui n'a pas été modifiée d'une façon notable surtout par un passage très court du courant. Il en est tout autrement dans les cas où le courant a passé pendant plusieurs secondes: nous avons souvent alors constaté une élévation de plusieurs degrés qui sera encore plus manifeste chez de petits animaux comme le rat.

Le second groupe d'expériences que nous réunissons dans le tableau II comprend des animaux chez lesquels les électrodes ont été placées sur les membres antérieurs bien rasés.

TABLEAU II. — Électrodes (*Membres antérieurs*).

	VOLTS.	DURÉE.	CŒUR.	PRESSION.	RESPIRATION.	CONVULSIONS.	RÉSULTAT et OBSERVATIONS.
XIII. Chien adulte.	2500	1 seconde.	Trém. fibril. Or. battent.	Chute.	Suspendue 40 sec.	Convulsions.	Mort par le cœur. Thorax ouvert.
XIV. Chien adulte.	2500 Matin.	1 secousse.	Rapide.	Élévation.	Entrecoupée Se remet.	Convulsions.	Quelque temps étourdi, titu- bant; se remet.
	2500 Après-midi.	1 —	Bat.	Élévation.	Arrêt momentané	Convulsions.	Se remet.
	Memb. ant.	1 seconde.	Trém. fibril.	Chute.	Respire après quelq. secondes.	Manquent.	Thorax ouvert, mass. du cœur: retour de la sen- sibilité générale. Mort par le cœur.
XV. Chien adulte.	2500	1 seconde.	Bat.	Élévation.	Arrêt momentané	Opisthotones.	Se remet.
XVI. Chien adulte.	2500	1 secousse.	Bat.	Élévation.	Arrêt momentané	Convulsions.	Se remet, déglu- titions et bave.
	»	1 s. 1/2.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.

Les quatre expériences de ce groupe sont fort intéressantes et instructives quand on les compare à celles du groupe précédent. On voit, en effet, dans plusieurs de ces cas, les phénomènes nerveux, et en particulier la respiration, être moins atteints et se rétablir spontanément et plus rapidement; la sensibilité et le sensorium sont moins inhibés que lorsque le courant passe de la tête aux pieds. Dans les observations XIII et XXI le passage d'un courant de 2.500 volts pendant une seconde a produit des effets tout à fait analogues à ceux qui ont été décrits dans notre précédent mémoire concernant les courants à basse tension: le cœur a été paralysé et a offert des trémulations

fibrillaires irrémédiables, tandis que la respiration a persisté pendant assez longtemps.

Un résultat un peu différent fut celui des expériences XV et XVI, dans lesquelles le cœur des chiens en expérience ne fut pas paralysé : nous croyons pouvoir attribuer la cause du résultat différent de ces deux expériences au fait que les deux électrodes embrassaient complètement les racines des deux membres en s'étendant jusque sous les aisselles et par conséquent se trouvaient trop rapprochées du cœur.

On voit donc qu'en cas d'application des courants de haute tension sur les membres antérieurs, on peut observer une action paralysante sur le cœur, qui manque, au contraire, quand le courant de cette tension passe de la tête aux pieds. Nous reviendrons plus loin sur l'importance que la différence du point d'application des électrodes peut avoir sur les effets qu'ils produisent.

*Arrêt des trémulations fibrillaires par l'application des courants de haute tension.* — En présence de la différence considérable que présentent les tracés de la pression artérielle chez les chiens soumis à un faible voltage et ceux qui ont, au contraire, été électrisés par des courants de haute tension, nous nous sommes demandé quel serait l'effet de l'application d'un courant de haut voltage sur un chien dont le cœur vient d'être mis en trémulations fibrillaires, soit par un courant de faible voltage, soit par l'électrisation directe du cœur par un courant induit (XVIII). Le tableau III résume ces expériences.

Nous avons opéré ainsi six chiens. Sur trois d'entre eux (XVII, XVIII, XIX), nous avons pu constater que le cœur, paralysé et offrant des trémulations fibrillaires des ventricules, se remit à battre et que la pression s'éleva et se maintint à la suite de l'application, pendant une ou deux secondes d'un courant de 4800 volts appliqué de la tête aux pieds.



Fig. 4 (réduction à 1/4).

CHIEN XVII. Electrodes (bouche, cuisses, rectum). — E. électrisation 20 volts; trémulations ventriculaires; E', électrisation, 4800 volts; rétablissement des battements du cœur. (Le pointillé indique un court arrêt de l'enregistreur.)

Dans l'un des cas, l'expérience a pu être répétée deux fois avec le même succès, puis la pression est tombée à la suite de la paralysie de la respiration survenue consécutivement à l'électrisation avec cette tension élevée. (exp. XVIII.)

L'un de ces chiens (exp. XIX) est assez intéressant pour que son observation soit donnée *in extenso*; l'animal s'est, en effet, remis complètement après la paralysie du cœur produite par 40 volts et supprimée par le passage du courant de 4800 volts.

## EXP. XIX. — Chien adulte de 10 kilogr.

Les électrodes placées l'une dans la bouche, l'autre sur les cuisses rasées et dans le rectum, la pression est prise dans l'artère crurale gauche. Un courant de 40 volts est appliqué pendant deux secondes; la pression baisse rapidement. A la septième seconde et demie, on applique le courant de 4,800 volts pendant une seconde; immédiatement la pression monte et se maintient élevée pendant plusieurs secondes; le pouls est d'abord rapide, puis se ralentit.

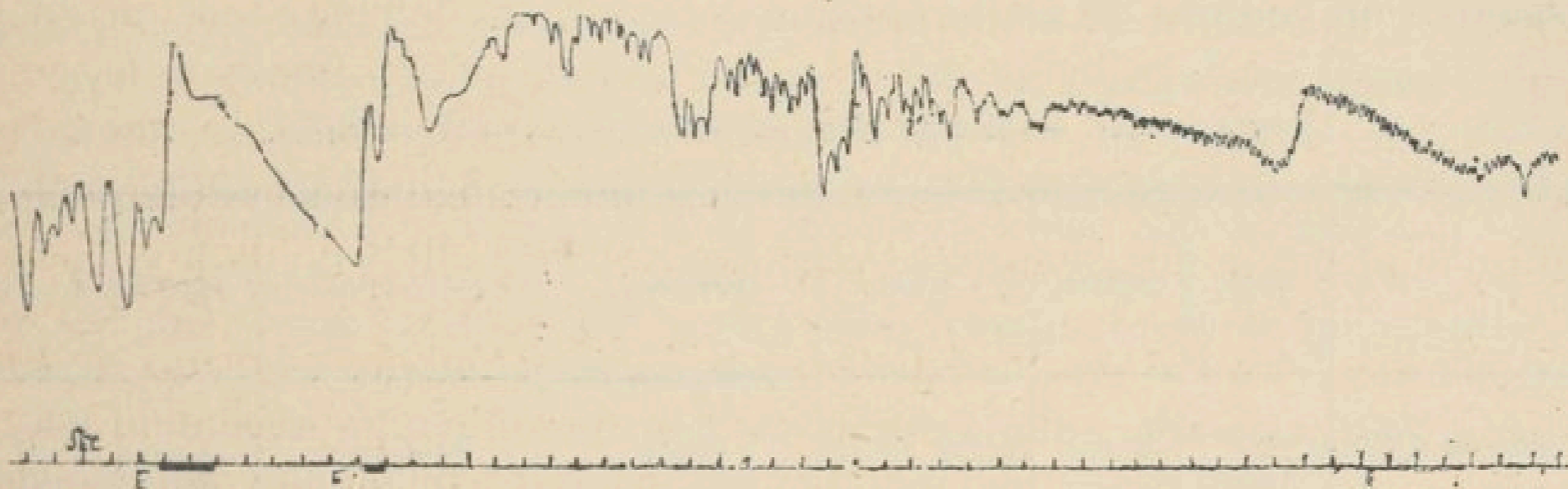


Fig. 5 (réduction à 1/4).

CHIEN XIX. Electrodes (bouche, cuisses et rectum). — E, électrisation 40 volts; trémulations ventriculaires; E', électrisation 4800 volts; rétablissement des battements du cœur.

La respiration est suspendue, l'animal est inerte et insensible. Nous comprimons le thorax d'une façon rythmique pour entretenir l'hématose, des tractions rythmiques de la langue sont faites en même temps.

Au bout de quelques minutes, la respiration spontanée s'est rétablie, et l'animal, d'abord très affaibli et sans réaction, se remet peu à peu. Une demi-heure environ après, il peut marcher et a repris la sensibilité et l'intelligence.

Le lendemain il est guéri, tout en étant triste et offrant des brûlures dans la bouche et le rectum. Les cornées sont opaques dans une grande partie de leur surface.

Chez ces trois animaux, le courant de 4800 volts fut appliqué avant que quinze secondes se soient écoulées à la suite de l'électrisation paralysante.



Fig. 6 (réduction à 1/4).

CHIEN XXII. Electrodes (bouche, cuisses et rectum). — E, électrisation, 40 volts; trémulations ventriculaires; E' électrisation, 4800 volts; trop tardive pour rétablir les battements du cœur.

Dans les trois autres cas (XX, XXI, XXII), l'électrisation de 4800 volts arriva après 18-30-45 secondes, à un moment où la chute de pression était déjà à l'abscisse: nous pensons que cette circonstance peut être la cause de l'insuccès de ces trois opérations.

Nos trois observations et les tracés que nous publions suffisent pour prouver ce fait curieux et intéressant que l'on peut, au moyen d'un courant de haut voltage, ranimer le cœur du chien qui offre des trémulations fibrillaires.

Nous rappelons que, chez le chien, les trémulations ventriculaires sont habituellement suivies d'une paralysie irrémédiable.

Le chapitre que nous consacrons aux cochons d'Inde viendra confirmer ces expériences, en multipliant les exemples de cœurs paralysés, restaurés par le passage d'un courant de haute tension.

TABLEAU III. — **Electrodes** (*Bouche, cuisses et rectum*).

	VOLTS.	DURÉE.	CŒUR.	PRESSION.	RESPIRATION.	RÉSULTAT ET OBSERVATIONS.
XVII. Chienne de 6 kil. (Tracé, <i>fig. 4.</i> )	20 Après 15 sec. 4800	2 sec.  1 sec.	Trém. fibril.  Se rétablit.	Chute.  Monte.	Continue.  Arrêt. Pas de resp. artif.	Les trém. fibril. cessent, le cœur se rétablit par 4800 volts. — Paralysie secondaire du cœur, par paralysie respiratoire.
XVIII. Chienne chloroformée. Thorax ouvert	Électrisat. directe par cour. induit. 4800 Électrisat. directe 4800	1 s. 1/2. 1 s. 1/2.	Trém. fibril. Se rétablit. Trém. fibril. Se rétablit.	Chute. Monte. Chute. Monte.	Resp. artif. mouv. spont. Id. Id. Id.	Les trém. fibril. cessent deux fois, par courant de 4800 volts.
XIX. Chien de 10 kilogr. (Tracé, <i>fig. 5.</i> )	40 Après 7 sec. 4800	2 sec.  1 sec.	Trém. fibril.  Se rétablit.	Chute.  Monte.	Continue.  Arrêt, 35 sec.	Une demi-heure affaibli. Rétabli le lendemain.
XX. Chien de 5 kilogr.	20 Après 45 sec. 4800	2 sec.  1 sec.	Trém. fibril.  Id.	Chute à l'abscisse  Id.	Continue.  Arrêt.	Le courant de 4800 volts trop tardif pour remettre le cœur.
XXI. Chien de 12 kilogr.	20 Après 30 sec. 4800	2 sec.  1 s. 1/2.	Trém. fibril.  Id.	Chute.  Id.	Continue.  Arrêt.	Le courant de 4800 volts trop tardif pour remettre le cœur.
XXII. Chienne de 15 kil. (Tracé, <i>fig. 6.</i> )	30 Après 18 sec. 4800	2 sec.  1 sec.	Trém. fibril.  Id.	Chute.  Id.	Continue.  Arrêt.	Le courant de 4800 volts trop tardif pour remettre le cœur.

On peut, en examinant les tracés de ces expériences de restauration, voir la chute manométrique persistant jusqu'au moment de la secousse de 4800 volts qui provoque une violente ascension du manomètre, avec pouls rapide, qui se ralentit après une minute environ.

Dans le tracé du chien XXVII (*fig. IV*), le kymographion non remonté s'arrêta pendant quelques secondes. Mais cette courte interruption n'empêcha pas de suivre le phénomène dans tous ses détails intéressants.

Le tracé du chien XIX (*fig. V*) qui s'est rétabli est tout à fait analogue; la secousse de 4800 volts fut faite à la septième seconde, à un moment où la chute manométrique n'était pas très avancée.

Quant aux trois autres observations dont nous publions un tracé (*fig. VI*), le



choc fut tardif, et l'on voit que le courant de 4800 volts fut appliqué au moment où la pression était déjà sur la ligne de l'abscisse. Le choc de 4800 volts a cependant déterminé une brusque élévation momentanée de la pression.

**Cochon d'Inde.** — Nous avons soumis à des courants de haute tension (1200 à 240 volts) vingt cochons d'Inde adultes (de 400 à 800 grammes) qui nous ont fourni des résultats analogues à ceux que nous avons décrits chez le chien.

Chez le cochon d'Inde, il est difficile de dépasser la tension de 1200 volts, sans avoir, vu la moindre surface des électrodes, des brûlures dès que l'on prolonge un peu le contact; les accidents locaux troublant les symptômes physiologiques, nous n'y avons pas eu recours.

Le cochon d'Inde, chez lequel on fait passer de la bouche aux cuisses rasées les courants de 1200 — 600 — 240 volts, présente des convulsions, si toutefois l'application du courant a été peu prolongée (une secousse ou une seconde). Ces convulsions d'abord toniques, sont remplacées par des convulsions cloniques; mais dès que le contact a duré plus d'une seconde, surtout avec les voltages les plus élevés (1200 ou 600 volts), elles manquent et l'animal entre en résolution dès la suppression du courant.

Cette inhibition se manifeste aussi par la prostration générale, par la perte de la sensibilité et des réflexes, et par l'arrêt de la respiration.

Avec les courants d'une tension de 240 volts, cette suspension de la respiration n'est que momentanée, et son rétablissement se fait spontanément après quinze à trente secondes, quelquefois après une minute, une minute et demie ou même deux minutes, sans que l'on ait recours à la respiration artificielle.

Avec les courants de 600 volts, la respiration est plus atteinte, souvent elle est faible et difficile, pendant plusieurs minutes, et l'animal risque de succomber au trouble de cette fonction. La respiration artificielle peut, dans ce cas, favoriser le rétablissement et ramener le rythme normal.

Avec les courants de 1200 volts, la fonction respiratoire est si violemment atteinte, que l'animal ne peut généralement être sauvé si l'on n'a pas recours à la respiration artificielle.

Cette inhibition frappe aussi les nerfs vagues qui perdent momentanément leur excitabilité pendant plusieurs minutes, l'électrisation de ces nerfs n'arrêtant plus le cœur. C'est là un fait sur lequel nous avons déjà insisté à propos du chien.

Les cochons d'Inde laissés libres après l'application de courants de haut voltage, restent plusieurs minutes, souvent un quart d'heure ou une demi-heure, prostrés et inertes, sans réaction de sensibilité, avec une respiration dyspnéique: ce n'est que progressivement que ces fonctions se rétablissent et que l'animal revient à son état normal.

**Cœur.** — Comme chez le chien, le cœur n'est pas pris de trémulations ventriculaires. Quand on met le cœur à nu, on voit que les ventricules battent énergiquement, tandis que les oreillettes sont immobiles et diastolées.

Nous pourrions, sans avantage, répéter la même description que nous avons déjà faite pour les chiens.

Chez le cochon d'Inde comme chez le chien, nous avons constaté dans bon nombre d'expériences que le cœur, arrêté et mis en trémulations ybrillaires par un courant de faible voltage (jusqu'à 120 volts), peut être remis en mouvement et reprendre son rythme, quand on soumet l'animal à un courant de haute tension. Ce phénomène remarquable est plus facile à constater chez le cochon d'Inde. Il est vrai que chez lui les trémulations ventriculaires ne sont pas aussi irrémédiables que chez le chien, le simple massage, qui doit être pourtant prolongé quelquefois pendant plusieurs minutes, étant habituellement suffisant pour rétablir le rythme d'un cœur atteint de trémulations fibrillaires; mais l'influence favorable des courants de haute tension en pareille circonstance n'est pas moins un fait remarquable.

Ajoutons que ces courants à haute tension ont pu aussi rétablir le cœur mis

en trémulations fibrillaires par l'électrisation directe au moyen d'un courant induit, fait que nous avons aussi observé chez le chien. (Voy. exp. XVIII.)

**Lapin.** — Les lapins que nous avons soumis aux courants de haute tension sont au nombre de trente et un.

Chez huit d'entre eux, nous avons employé le courant alternatif de 4800 volts en appliquant, dans six cas, les électrodes dans la bouche et sur les cuisses rasées.

Ces animaux sont presque tous morts après avoir reçu une seule secousse.

Dans tous ces cas, le cœur continue à battre, la pression monte; mais la respiration s'arrête. Pour rétablir l'animal atteint par ces courants de haute tension, il est nécessaire de prolonger la respiration artificielle plus longtemps que chez le chien, les centres nerveux étant bien plus atteints.

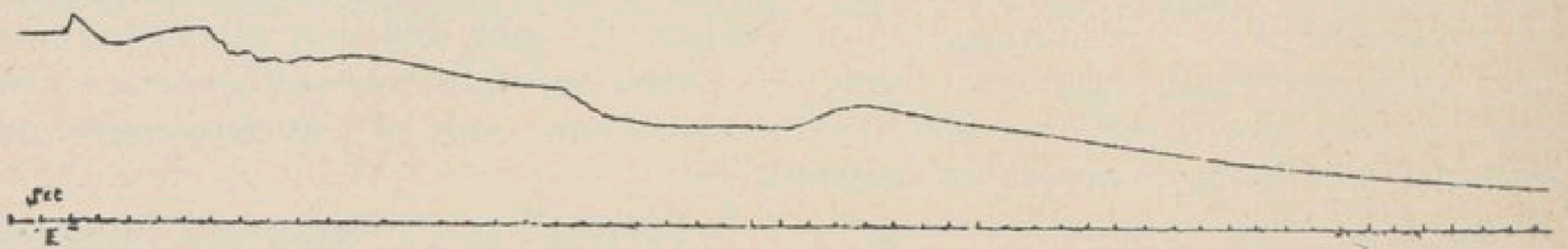


Fig. 7 (réduction à 1/4).

LAPIN ADULTE. Electrodes (bouche et cuisses). — E, électrisation, 4800 volts; chute tardive de la pression due à l'arrêt de la respiration.

Dans deux cas où les électrodes furent placées sur les membres antérieurs, plusieurs secousses furent nécessaires pour obtenir ce résultat mortel, qui survint dès la première secousse chez les autres lapins.

Les courants de 2500 volts furent appliqués sur sept lapins, avec des résultats qui sont très analogues aux précédents, sinon qu'une secousse n'a pas été généralement suffisante pour amener la mort; mais il a fallu plusieurs secousses, ou bien un contact prolongé pendant une ou deux secondes.

Après une crise de convulsions et une suspension momentanée de la respiration, l'animal s'est quelquefois rétabli.

Dans plusieurs cas, cependant, la secousse unique a produit la mort par arrêt de la respiration.

Quant au cœur, il a continué à battre.

La section préalable des *nerfs vagues* n'a point modifié ces symptômes.

Ces nerfs, dans plusieurs cas, ont été trouvés inexcitables et n'arrêtant pas le cœur. Une inhibition semblable de plusieurs minutes s'est aussi montrée dans les sympathiques cervicaux, tandis que les nerfs sciatiques avaient conservé leur excitabilité.

En employant des courants ayant une tension de 1800, 1200, 600 ou 240 volts, il est nécessaire de prolonger de plus en plus la durée du contact, si l'on veut produire des symptômes graves du côté du système nerveux. Ainsi, la respiration est généralement arrêtée, d'une façon définitive, par un courant de 1800 ou de 1200 volts si la durée du contact a été de deux secondes.

A 600 volts, il faut que le passage du courant soit prolongé au moins pendant quinze secondes pour arrêter définitivement la respiration et même, quelquefois, l'électrisation a dû être répétée une seconde fois.

A 240 volts le centre respiratoire est encore moins atteint.

Les mêmes constatations ont été faites pour ce qui concerne la *sensibilité générale*.

La crise des *convulsions*, énergique en cas d'un contact de courte durée, manque si le contact est prolongé, comme nous l'avons constaté chez les autres espèces animales.

Quand les animaux résistent au choc électrique, ils se rétablissent peu à peu après une phase d'affaiblissement général et d'insensibilité, pendant laquelle la respiration est faible et dyspnéique.

D'une façon générale on peut observer que la respiration a plus de peine à se rétablir chez le lapin, comme chez le cochon d'Inde et le rat, que chez le chien. La respiration artificielle ne réussit pas toujours chez ces animaux à relever cette fonction. L'animal reste dans une prostration complète, ne reprend pas les mouvements respiratoires spontanés et peu à peu le cœur perd aussi son énergie.

Quant au *cœur*, il n'est pas mis en trémulations ventriculaires par des courants de 1800 ou 1200 volts, quand les électrodes sont placées dans la bouche et sur les cuisses.

Un courant de 600 volts, appliqué pendant quelques secondes, a déterminé une seule fois ces trémulations; dans deux autres cas, elles ne se sont pas montrées.

Au contraire, un courant de 240 volts détermine toujours des trémulations fibrillaires si la durée du contact est d'une seconde au moins. Ces trémulations ne durent que quelques secondes, comme nous l'avons déjà dit en parlant des courants à basse tension et le cœur reprend bientôt ses battements rythmiques. Cependant, dans un cas, les trémulations ventriculaires ont été définitives, et l'animal est mort de l'arrêt simultané du cœur et de la respiration.

**Rat.** — Chez le rat, les courants de 2200 volts, appliqués pendant une secousse, ont produit une inhibition immédiate du système nerveux, avec arrêt définitif de la respiration, le cœur continuant à battre. En ouvrant l'animal, nous avons pu observer que, tandis que les ventricules continuaient à battre, les oreillettes étaient arrêtées en diastole.

Avec les courants de 1200 ou de 600 volts, les effets ont été analogues, quoique moins immédiats. Une secousse ne suffit pas pour inhiber complètement le centre respiratoire, mais dès que l'on prolonge le contact pendant une seconde ou mieux deux secondes, la respiration est définitivement suspendue. La respiration artificielle ne réussit pas toujours, dans ce cas, à relever cette fonction, ce que nous avons déjà vu chez le lapin.

Quand les courants de 600 volts sont prolongés pendant deux secondes ou davantage, on observe des brûlures plus ou moins graves aux points d'application des électrodes et, en même temps, la température rectale monte aussi de plusieurs degrés. Dans un cas, elle atteint 47°. La haute température est de nature à entraîner des désordres qui troublent les manifestations symptomatiques physiologiques.

Un courant de 240 volts produit des troubles encore moins graves du système nerveux. Nous avons pu prolonger le passage du courant pendant cinq secondes, sans déterminer la mort de l'animal. Celui-ci était très affaibli, insensible, mais peu à peu il se rétablit complètement.

Chez les rats, les électrodes furent toujours placées dans la bouche et sur les deux cuisses rasées. La résistance variait de 850 à 1300 ohms environ.

#### COURANTS A TENSION MOYENNE (240 et 600 volts)

Nous avons décrit en détail les troubles principaux qui sont occasionnés par les courants à basse et à haute tension. Nous pensons qu'il est nécessaire de dire quelques mots sur les effets que produisent les courants à tension moyenne. Il va sans dire que la division des courants en courants à tensions élevée, moyenne et basse, est tout à fait arbitraire et que nous ne l'avons employée que pour faciliter la description.

Nous avons pris surtout pour base de notre division les effets qui s'observent chez le chien et en supposant que les électrodes soient placées sur la tête et sur les cuisses.

Chez le *rat* et le *lapin*, les troubles que l'on observe par l'application des courants alternatifs sont de plus en plus graves à mesure que la tension du courant est plus élevée, car chez ces animaux les symptômes dangereux ne se présentent que du côté du système nerveux central. Aussi ne pouvons-nous pas établir chez le rat et le lapin des délimitations nettes entre les effets produits par les courants à différents voltages. On peut toutefois constater que chez le lapin un courant de 600 volts appliqué de la tête aux pieds ne donne plus lieu à des trémulations fibrillaires, qui s'observent encore avec un courant de 240 volts.

Chez le *cochon d'Inde*, la division est assez nette entre les troubles produits par un courant à basse tension (jusqu'à 120 volts) et un courant à tension élevée. Dans le premier cas, la mort a lieu par paralysie du cœur, tandis que par le passage d'un courant de 240 volts le cœur n'est déjà plus paralysé. Au-dessus de 120 volts le cobaye se comporte comme le rat et le lapin.

Chez le *chien* la division des courants en trois classes a bien sa raison d'être. Les effets ne sont pas les mêmes si nous faisons traverser l'animal par des courants de 120, de 600 ou de 2400 volts.

Par le passage d'un courant de 240 ou de 600 volts, nous observons les phénomènes suivants :

Avec un courant de 240 volts prolongé pendant deux secondes le cœur présente des trémulations ventriculaires. Le tétanos généralisé est énergique et quelque temps après l'électrisation on n'observe que trois ou quatre mouvements respiratoires très superficiels, puis l'animal reste complètement immobile.

Un courant de 600 volts appliqué pendant deux secondes produit aussi les trémulations fibrillaires du cœur. Les convulsions sont peu intenses. On n'observe *aucun mouvement respiratoire*.

Les courants à tension moyenne (240 à 600 volts) produisent donc chez le chien un *arrêt simultané du cœur et de la respiration*.

On pourrait s'étonner de ce que la respiration qui n'est pas complètement abolie, même par un courant de 4800 volts et qui n'est que relativement peu atteinte par un courant de 1200 volts, soit au contraire complètement arrêtée par un courant de 600 volts. Mais l'explication est facile, quand on songe qu'avec des courants à tension élevée le cœur ne s'arrête pas, et que le centre respiratoire peut alors se relever du choc, parce qu'il continue à être irrigué par le sang. Avec un courant de 600 volts, le centre respiratoire est atteint en même temps par un choc électrique énergique et par le manque de circulation ; on s'explique aisément ainsi l'inhibition absolue qu'il subit.

En résumé, chez les chiens, les courants peuvent être assez nettement divisés en trois classes d'après les effets qu'ils produisent :

- 1° Les courants à basse tension, produisant la paralysie du cœur ;
- 2° Les courants à tension moyenne qui produisent simultanément la paralysie du cœur et de la respiration ;
- 3° Les courants à haute tension qui occasionnent surtout des troubles du système nerveux.

Nous répétons que cette division n'est justifiée que pour les cas où les électrodes sont placées sur la tête et les cuisses.

## INFLUENCE DU POINT D'APPLICATION DES ÉLECTRODES

Kratter <sup>1</sup> affirme que le point d'application des électrodes n'a pas d'influence sur la production des différents phénomènes dus au passage du courant. Nous sommes arrivés à des conclusions bien différentes : la contradiction entre nos résultats et ceux de Kratter s'explique aisément, quand on observe que cet auteur a employé des courants à tension trop élevée, et n'a pas recherché quel est le voltage minimum, nécessaire pour produire tel ou tel phénomène.

En parlant de nos recherches sur les chiens soumis à des courants à basse et à haute tension, nous avons déjà fait remarquer les différences qu'on observe dans les troubles produits par le passage du courant suivant le point d'application des électrodes ; mais nous avons fait sur ce sujet des expériences plus détaillées sur les cochons d'Inde.

Nous résumons ici dans un tableau quelques-unes des vingt-deux expériences faites dans le but d'élucider cette question.

Chez ces animaux les électrodes étaient placées sur le bord antérieur des bras. Si, en effet, les électrodes eussent embrassé tout le membre antérieur, elles se seraient trouvées, vu la petite taille de l'animal, immédiatement au niveau du cœur, circonstance qui devait être évitée.

TABLEAU IV.

	VOLTS	OHMS.	ÉLECTRODES.	DURÉE	CŒUR.	RESPIRATION.	CONVULSIONS.	RÉSULTAT.
.II. Cobaye de 500 gr..	240	850	Cuis. (Bord ext.)	3 s.	Intact.	Intacte.	Manquent.	Guérit.
.III. Cobaye de 550 gr.	600	930	Cuis. (Bord ext.)	3 s.	Intact.	Intacte.	Manquent.	Guérit.
.IIII. Cobaye de 600 gr.	80	1200	Bras.	3 s.	Bat.	Arrêt de 7 s.	Durent 6 sec.	Se remet vite.
.VIIIV. Cobaye de 600 gr.	120	1400	Bras.	3 s.	Trém. fibril.	Arrêt de 15 s.	Durent 10 s.	Mort par le cœur.
.VV. Cobaye de 510 gr.	40	1100	Bras gauche. Jambe gauche.	3 s.	Intact.	Intacte.	Légères. 4 à 5 second.	Guérit.
.IVVI. Cobaye de 550 gr.	60	950	Bras droit. Jambe droite.	3 s.	Trém. fibril.	Respire.	Manquent.	Mort par le cœur.
.IIVVII. Cobaye de 600 gr.	40	1300	Bras droit. Jambe gauche.	3 s.	Intact.	Intacte.	Manquent.	Guérit.
.IIIVVIII. Cobaye de 600 gr.	30	1200	Bras gauche. Jambe droite.	3 s.	Trém. fibril.	Respire.	Manquent.	Mort par le cœur.
.XIX. Cobaye de 550 gr.	20	850	Côtés du thorax.	2 s.	Trém. fibril.	Respire.	Manquent.	Mort par le cœur.

Il résulte clairement des expériences exposées dans ce tableau que le cœur est plus facilement atteint, s'il se trouve sur la ligne qui réunit les deux

<sup>1</sup> KRATTER, *loc. cit.*

pôles. De même, l'arrêt de la respiration (qui à ces basses tensions est passager), la production des convulsions et la diminution de sensibilité seront provoqués par un voltage moins élevé, quand une des électrodes est placée sur la tête.

L'exemple le plus frappant de ce fait est fourni par les expériences I et II, dans lesquelles les électrodes étaient placées sur le bord externe des cuisses. Quoique la tension fût relativement élevée (240 et 600 volts), l'animal n'a été atteint d'une façon appréciable dans aucune de ses fonctions : détaché, il n'a pas offert la diminution de sensibilité et l'affaissement que l'on observe avec des voltages plus faibles, quand une des électrodes est placée sur la tête et même sur les membres antérieurs.

La même expérience a été répétée avec le même résultat sur un *chien*, en lui appliquant les électrodes sur le bord externe des cuisses et en le soumettant au passage d'un courant de 240 volts pendant cinq secondes.

Ce fait a, nous le pensons, un intérêt pratique : en cas d'accident causé par les courants alternatifs, il n'est pas rare qu'une personne qui a saisi un fil conducteur soit incapable de le lâcher, vu la violente contraction des muscles fléchisseurs. Les assistants n'osent toucher le malheureux de crainte de recevoir une secousse dangereuse en l'absence d'outils isolateurs. Ils pourraient donc le faire sans danger, en se servant du pied pour rompre le fil, ou pour détacher la victime par une impulsion violente.

Nous venons de dire que, si le cœur ne se trouve pas sur la ligne de réunion des deux pôles, il faut un voltage plus élevé pour le mettre en trémulations. Inversement si la tension du courant est élevée (par exemple 2400 volts), le cœur n'est plus paralysé quand les électrodes sont placées sur la tête et les cuisses ; mais chez un chien il le sera si les points de contact sont appliqués sur les deux bras (CHIENS, XIII et XIV) et les ventricules seront pris de trémulations fibrillaires.

#### LÉSIONS ANATOMIQUES

Nous n'avons pas constaté de lésions macroscopiques qui soient constantes. Les points d'application des électrodes, quand ils ne sont pas étendus, offrent, surtout en cas de courants de haut voltage et de contact un peu prolongé, des lésions locales de brûlures plus ou moins profondes, que l'on peut éviter en étendant les surfaces de contact.

Les poumons, les méninges, le cerveau, ont souvent offert de la congestion ; mais ces lésions sont loin d'être constantes, et jamais nous n'avons observé d'hémorragie pulmonaire interstitielle, ni de foyer dans la substance cérébrale. Ces lésions congestives n'ont pas grande importance vu leur manque de constance : elles paraissent être plutôt l'indice de stases qui se sont produites au moment de la mort et qui peuvent faire défaut.

Chez plusieurs animaux (chiens, cochons d'Inde) qui ont échappé à l'action des courants à haute tension, nous avons constaté le lendemain une opacité des cornées, que nous signalons sans pouvoir l'interpréter.

Quant aux recherches histologiques, elles feront le sujet d'un mémoire spécial.

#### CONCLUSIONS

I. Les courants alternatifs à haute tension (de 1200 à 4800 volts) appliqués de la tête aux pieds ne donnent plus lieu, comme les courants à faible tension,

aux trémulations ventriculaires du cœur. Ils provoquent chez tous les animaux des troubles graves du système nerveux central : arrêt de la respiration, perte de sensibilité, prostration profonde, tétanos généralisé, perte des réflexes.

La *respiration* est arrêtée d'une manière passagère ou définitive. Les troubles de la respiration sont d'autant plus accusés que la tension du courant est plus élevée, et que la durée du contact est plus longue. La même observation peut être faite pour la perte de sensibilité et la prostration générale.

Le *tétanos généralisé* est très énergique dans le cas d'une secousse ; mais il ne se produit pas quand le passage du courant est prolongé (par exemple deux ou trois secondes) surtout s'il s'agit de très hautes tensions.

A parité de conditions (voltage et durée du contact égaux) les centres nerveux sont plus fortement atteints chez le cobaye et le rat que chez le lapin, et chez le lapin plus fortement que chez le chien.

L'arrêt de la respiration étant le symptôme qui met la vie en danger, la *respiration artificielle* peut sauver des animaux qui succomberaient sans elle. Toutefois les animaux et surtout les chiens se rétablissent souvent spontanément.

La *pression artérielle* subit une élévation considérable, ce qui prouve que le tonus vasculaire et le centre vaso-moteur ne sont pas paralysés.

Les *ventricules* battent rapidement et énergiquement, tandis que les oreillettes sont arrêtées en diastole plus ou moins longtemps (jusqu'à deux ou trois minutes). Si l'arrêt de la respiration est définitif, le cœur faiblit peu à peu et la pression tombe à l'abscisse.

II. Les courants à tension moyenne (240 et 600 volts) appliqués de la tête aux pieds produisent chez le *rat*, le *cobaye* et le *lapin* des troubles analogues, mais moins graves que ceux que l'on observe avec les courants à haute tension. Le cœur ne présente pas de trémulations ventriculaires, sauf chez le lapin chez lequel le cœur en présente encore avec un courant de 240 volts.

Chez le *chien*, au contraire, les ventricules présentent encore des trémulations fibrillaires définitives et les centres nerveux sont de même fortement atteints. Il en résulte que, chez le chien, les courants de tension moyenne produisent un arrêt simultané du cœur et de la respiration.

III. Chez le *chien* et le *cochon d'Inde* on peut, par l'application faite à temps d'un courant de haute tension, faire cesser la crise de trémulations ventriculaires, provoquée par un courant de faible tension. Le chien qui était perdu à cause de la paralysie du cœur, peut être sauvé par ce moyen.

IV. Le *point d'application* des électrodes peut faire varier considérablement les symptômes. Les centres nerveux offrent des troubles bien plus graves quand une des électrodes est appliquée sur la tête. Les centres sont d'autant moins atteints que les électrodes sont plus éloignées de la tête.

Avec un courant à basse tension, le cœur présente des trémulations ventriculaires avec un voltage d'autant plus faible qu'il se trouve plus rapproché de la ligne qui réunit les électrodes. Inversement, si le cœur ne se trouve pas sur cette ligne, il pourra être mis en trémulations ventriculaires par des courants de haute tension qui en traversant directement le cœur ne l'auraient pas paralysé.

V. Avec les courants à haute tension, on observe en outre :

- 1° La paralysie momentanée du nerf vague et du sympathique cervical ;
- 2° La non-modification des phénomènes décrits ci-dessus par la section préalable des nerfs vagues ;
- 3° La non-élévation appréciable de la température rectale, si la durée du contact n'est pas prolongée ;
- 4° L'apparition rapide de la rigidité cadavérique ;
- 5° A l'autopsie, absence de lésions macroscopiques constantes et caractéristiques ;
- 6° Quand le cœur se paralyse consécutivement à l'arrêt de la respiration, le massage du cœur provoque des trémulations ventriculaires ;
- 7° Dans quelques cas, l'onde contractile part de la pointe du cœur pour se propager à la base et aux oreillettes.