

Version Française

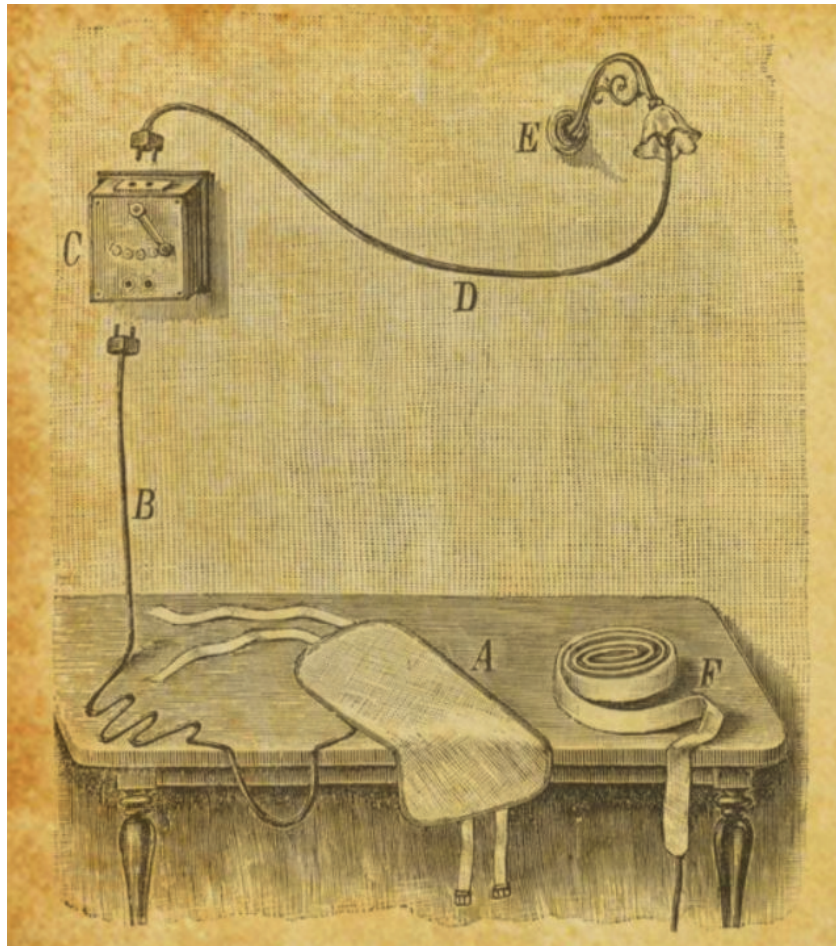


Jacques Jumeau

Histoire des techniques liées au chauffage,

Chapitre 7

Histoire des éléments chauffants souples



Histoire des éléments chauffants souples

Introduction historique aux éléments chauffants souples électriques, aussi nommés :

Dans le domaine médical : Bandes thermiques, Cataplasme électrique, Genouillère chauffante, Thermaplasme, Thermoplasme.

Dans l'électroménager : Chancelière électrique, Chauffe assiette souple, Chauffe-lit, Chauffe-pieds, Coussin chauffant, Couverture chauffante, Couvre lit chauffant, Couvre pieds chauffant, Filet chauffant, Manteau chauffant, Matelas chauffant, Moquette chauffante, Poufs chauffants, Tapis chauffant, Tenture chauffante, Thermophile électrique.

Dans l'industrie et l'horticulture : Cordon chauffant, Fils électrothermiques thermophiles, Galon chauffant, Tissu chauffant, Toile résistante, Bandes chauffantes.

Dans l'automobile et l'aéronautique : Chauffe-voiture, Combinaison chauffante, Gants chauffants, Gilet chauffant, Tricots chauffants, Vêtements chauffants.

Première partie : Naissance et évolution des éléments chauffants souples

L'arrivée de ces appareils, dans les toutes dernières années du 19^{ème} siècle, est liée à la conjonction de plusieurs évolutions technologiques :

- Le développement de la Science médicale, et l'étude des effets de la chaleur sur le traitement de certaines affections (Rhumatismes et névralgies en particulier)
- Le tissage de fils en amiante en tresse autour de fils chauffant
- Le progrès des techniques d'étrépage des fils métalliques, permettant de réaliser des fils de petits diamètres, de l'ordre du dixième de mm
- L'amélioration des procédés de raffinage du nickel et ses alliages ayant permis de le rendre malléable.
- Le développement de la distribution électrique domestique.

Le tissage de l'amiante, nommé par les anciens alchimistes « lin vif » ou « laine de salamandre » était connu depuis l'antiquité. L'arrivée des appareils de chauffage au gaz, dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, en développa l'usage sous forme de mèches ou de touffes dans les foyers rayonnants. (1857 Marini, *Le Génie Industriel*).

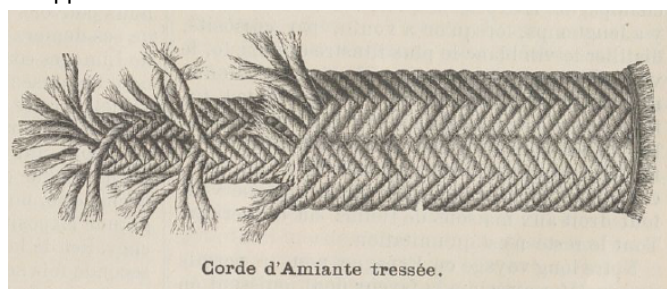
L'amiante fut longtemps le seul « textile » résistant à la température des fils de résistances chauffantes. Vers 1882, les établissements Bender et Martini, à Turin, commencent à produire des tresses souples en amiante.

(Octobre 1892 *L'amiante en Italie, Le Génie industriel*)

1887 : M. Geoffroy [Saint Hilaire] est arrivé à tresser, autour des fils métalliques, un tissu d'amiante incombustible qui les isole et les rend incapables de communiquer un incendie, même lorsque le courant est suffisant pour les fondre. (1887 *Dictionnaire d'électricité et de magnétisme, étymologique, historique, théorique, technique par Ernest Jacquez*)

En 1892, l'amiante est utilisée comme isolant autour des fils chauffants des fers à souder électriques (1892 *La Nature, chauffage électrique*) et les premiers appareils de chauffage électriques étaient composés de fils de platine entourés d'amiante (1896 *Teymon journal des connaissances utiles N°46*).

Si les premiers appareils chauffants électriques isolés à l'amiante ne comportaient que des éléments chauffants fixes et rigides, la disponibilité d'amiante tressée et souple allait permettre le développement des éléments chauffants flexibles.



Corde d'Amiante tressée.

Corde d'amiante tressée par Bender et Martini (Octobre 1892 *L'amiante en Italie, Le Génie industriel*)

Histoire des éléments chauffants souples

Le nickel n'est malléable, et donc étirable en fils que lorsqu'il est pur. Il fut longtemps une curiosité de laboratoire sans applications industrielles. La découverte des mines de nickel en Nouvelle Calédonie par Jules Garnier, qui breveta un procédé de raffinage et construisit une usine à Septème dans les Bouches du Rhône avec l'aide d'Henri Marbeau, permirent de produire du nickel pur à 98% dès 1878. (1938 *Histoire du Nickel* par Joseph Dhavernas, Musée Ulimbea). Le développement industriel de son usage eut lieu lorsque les militaires constatèrent l'augmentation de la résistance des blindages lors de l'addition de nickel dans l'acier, et lorsque certains états remplacèrent l'argent et le cuivre des monnaies par du nickel. La fondation par Henri Marbeau de l'établissement « Fonderie de Nickel et de Métaux Blancs » à Lizy sur Ourcq, qui devint en 1884 la société « Le Ferro Nickel » permit la production de nickel malléable pour résistances chauffantes. (1884 *Le Ferro Nickel*, Musée Ulimbea)

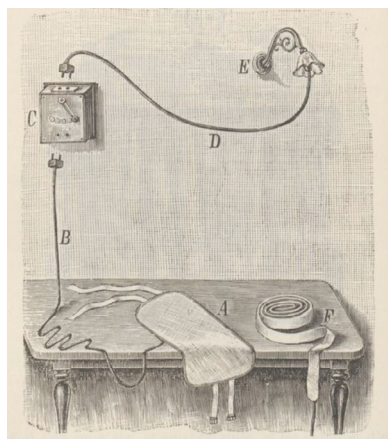
Dès les débuts du chauffage électrique, on s'est préoccupé d'introduire des résistances dans l'épaisseur même des étoffes et d'y envoyer du courant, pour les rendre calorigènes, en raison de l'élévation de température produite en elles.

« Quelques essais avaient pourtant été faits pour avoir des tissus ; on avait d'abord fixé des conducteurs électriques à la surface de tissus ordinaires ignifugés, puis mêlé ces fils, par tissage, à ceux mêmes d'un tissu en amiante. On avait ainsi des rhéostats de chauffage pour haute température, des tapis ou tentures radiantes, par exemple ». (1910 *Revue industrielle : revue mensuelle technique et économique*)

1893-1913 : L'arrivée des tissus chauffants à usage médical

Les premiers tissus chauffants « souples » semblent avoir été utilisés en 1893 par le Dr S. Salaghi, professeur de Physique à la Faculté de médecine de Bologne. Ils furent présentés à l'Exposition internationale de médecine tenue à Rome en 1894 à l'occasion du Congrès international de médecine. Ils étaient alimentés à partir du réseau électrique domestique, et un commutateur permettaient de les faire fonctionner sous diverses puissances.

Le Dr S. Salaghi les nomma thermoplasmes électriques



Thermoplasme du Docteur S. Salaghi (1893). Existe en forme ovale (A) pour le chauffage du tronc et en bande longue (F) pour les applications aux extrémités, au cou, à la tête.

Les premiers essais de tissus chauffants furent effectués en France par Charles Camichel, alors que de 1895 à 1900, maître de conférences à la faculté des sciences de Lille, il y enseignait alors l'électricité industrielle. Les essais qu'il y fit donnèrent des résultats satisfaisants mais le poids et la raideur des étoffes chauffantes empêchèrent alors l'application de celles-ci à la confection des vêtements. D'autre part, l'isolement était souvent imparfait, ce qui pouvait constituer un danger, ou la résistance à l'usure était insuffisante, ou le métal employé comme élément chauffant était rapidement attaqué par la rouille, autant d'inconvénients qui ont fait abandonner tout d'abord, comme insuffisamment pratique, l'idée de fabriquer industriellement des tissus chauffants.

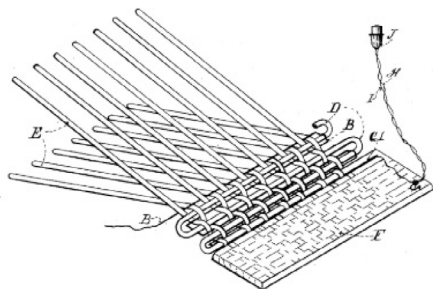
Ces appareils faisaient appel à des fils chauffants cousus sur un support en amiante ou des toiles formées par une trame en fil résistant, isolé avec de l'amiante, recouverts d'une simple toile.

Les contraintes pour réaliser des tissus chauffants en contact avec la peau étaient importantes : la température ne devait pas dépasser 60-70 C en surface, ce qui était obtenu avec des puissances maximales de l'ordre de 0.04W/cm . Cela obligeait à utiliser des fils chauffants avec une résistance linéaire importante, obtenue en diminuant au maximum le diamètre des fils. La conséquence était la grande longueur des fils chauffants à utiliser. En effet, pour une puissance moyenne de 50 watts en 110 Volts, en utilisant le plus faible des diamètres de fils existants sur le marché (0.1mm), il fallait utiliser environ 20 m de fil en fer étamé (le fil résistif le plus courant de l'époque), 15m en constantan, et jusqu'à 110m en cuivre.

On peut citer comme exemple de tissu chauffant de cette époque, celui inventé par

Histoire des éléments chauffants souples

l'américain John Emory Meek, dont le brevet N°540398 du 4 juin 1895 décrivait une méthode de tissage rudimentaire utilisant des fils de chaîne en amiante et des fils de trame en métal conducteur.



4 Juin 1895, brevet US 540398, de John Emory Meek à Denver, pour la société Johns Manufacturing Cy de New York, décrivant un tissu chauffant dont les fils de chaîne (E) sont en amiante, les fils de trame (B) en métal conducteur, avec un deuxième fil de trame intercalaire (D) en amiante. Le début et la fin de l'élément chauffant (F) ne comportent pas de fil chauffant.

En 1896 Camille Herrgott (1) ingénieur civil, commença à fabriquer des couvertures chauffantes et vêtements chauffants. Fils unique, il avait perdu à l'âge de 3 ans son père Camille Herrgott, ingénieur à la compagnie des Forges d'Audincourt. Sa mère avait alors quitté Audincourt avec son fils pour Le Valdoie ou résidait sa belle-soeur Joséphine Hergott, épouse de Michel Page, fondateur des Ets Page, à Valdoie. S'y construisaient alors, entre autres équipements, des machines à tréfiler le cuivre.

(Annuaire de la Société d'histoire des régions de Thann-Guebwiller, 1985 T16, par Joseph Baumann).

(1) (Joseph, Michel, Camille Herrgott né le 31 Août 1870 à Audincourt Doubs, décédé le 16 Juillet 1942 à Valdoie, Territoire-de-Belfort. Marié au Valdoie, le 19 Avril 1904 à 34 ans à Marie Agathe Thérèse Riss (1881-1971) dont il eut 4 enfants en 1905, 1906, 1909, 1916)

1897 Les appareils calorifiques ne sont pas très connus à Paris, quoiqu'un secteur, celui de la place Clichy ait fait des expériences intéressantes....

A Londres, dans cet ordre d'idées, on se sert d'un appareil dit cataplasme électrique et qui n'est autre chose qu'un matelas en amiante dont les malades se trouvent bien. (1897, rapport du conseil municipal de Paris sur l'électrification et l'évolution des appareils électriques)

Après 5 années de mise au point, de 1896 à 1901, Camille Herrgott, déposa en Janvier 1902 en France en Angleterre, en Allemagne, et en Août aux USA, un brevet pour des tissus chauffants qu'il nomma Thermophiles électriques, terme qui resta en usage plus de 30 ans.

Ces brevets décrivaient **deux particularités** à la base de tous les éléments chauffants souples ultérieurs :

La première, qui sera utilisée sur les cordes chauffantes, décrit la méthode de bobinage du fil chauffant sur une âme isolante textile, ce qui permet d'augmenter la longueur de fil chauffant par mètre de corde chauffante. Jusqu'alors, la technique d'enroulage d'un fil très fin et très résistant sur un fil simple isolant (amiante), donnait un fil chauffant trop gros et trop rigide pour aller au tissage, et on ne pouvait que l'appliquer sur des tissus, comme les fils métalliques. En 1910, après de nombreuses évolutions cette technique permettait de réaliser un cordon chauffant de très petit diamètre, consistant en une tresse plate de fils de nickel pur spiralée autour d'une âme en laine. Ce fil chauffant recevait ensuite deux enveloppements en spirale, enroulés en sens contraire, formés de fines guipures de tissu. On obtenait ainsi un fil souple, qui ne bouclait pas, et où la traction était combattue non par les fils thermiques, mais par les fils en laine et les guipures externes.

Cette technique de fabrication de cordes chauffantes sera universellement utilisée dans les couvertures chauffantes du milieu du 20ème siècle.



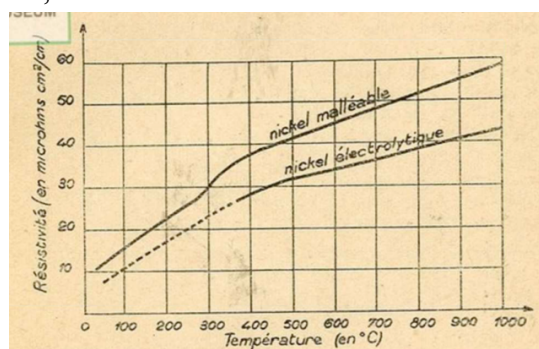
Corde chauffante (brevet Camille Herrgott, 1901). A= fil chauffant ; B= âme textile ; C= guipage extérieur bobiné en sens inverse du fil chauffant

La deuxième innovation de ce brevet consistait dans le tissage manuel ou mécanique, d'une toile utilisant une chaîne support en fil incombustible et une

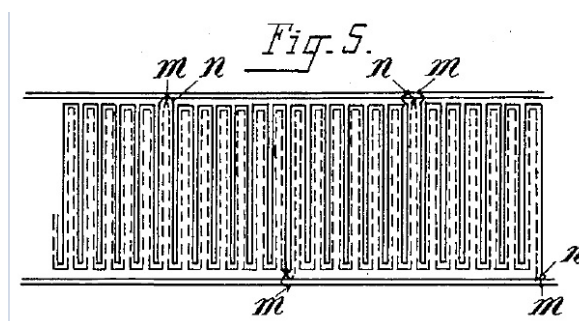
Histoire des éléments chauffants souples

trame en fil résistant chauffant.

Cette technique n'était pas nouvelle (voir brevet Meek ci-dessus), mais jusqu'alors les boucles des fils chauffants situés dans les chefs et les lisières provoquaient, en s'usant, des courts-circuits et des ruptures. Camille Hergott, utilisant son fil chauffant spiralé, arrêta les fils thermiques en dehors de ces zones. Il réalisa les amenées de courant par des fils spéciaux, un dans chaque lisière, placés après tissage. Ce montage permettait de faire des groupements de circuits en shunt ou en série. Les fils chauffants étaient au tissage repris entre deux couches de fils de trame isolants. Cette technique permit la réalisation, dès 1904, des tapis et couvertures, ainsi que des équipements médicaux. Une sécurité thermique, consistant en un fusible eutectique à 70°C les équipait. L'utilisation du nickel, qu'il substitua vers 1910 aux autres fils métalliques, en particulier ceux en fer, rendit l'ensemble inoxydable. Il fallut toute la technique d'un ingénieur d'une usine de machines à tréfiler pour réaliser des fils en nickel de 0.1mm de diamètre (Encore de nos jours, l'étrépage commercial de fils de Nickel ne descend pas au-dessous de 0.025mm de diamètre.) Dans cette section, il fallait une longueur d'environ 20m de fil chauffant en Nickel pour réaliser une résistance de 50W couvrant une surface de tissu chauffant de 350 x 350mm. De plus le nickel pur, dont la résistivité croît fortement avec la température donnait au système une fonction auto-régulante. En effet, il est facile de calculer que la puissance d'un élément chauffant en nickel de 50 watts à la température ambiante, baisse à 36W à 100°C et à 26W à 200°C.



Variation de la résistivité du nickel en fonction de la température : effet auto-régulant. (1945 Matériaux électrotechniques modernes, Musée Ultimheat)



m, n : Détail des raccords sur les fils d'alimentation dans les lisières. Cette technique est toujours utilisée de nos jours en traçage électrique (brevet Camille Herrgott, 1901).

En 1902, le Dr Jules Larat de l'hôpital des Enfants Malades, à Paris, avait le premier en France, utilisé un tissu chauffant pour des applications médicales :

« Le thermoplasme se compose de deux parties distinctes, une compresse chauffante une boîte de réglage, dans laquelle une manette et une série de contacts permettent de passer progressivement de 40 à 100 C. Une petite lampe témoin s'éclaire dès que le courant passe, et augmente de clarté à portion de la chaleur développée dans la compresse. Cette dernière est montée sur un fil souple, et il est facile d'appliquer localement le coussinet chauffant, le soir en se couchant, pour le garder toute la nuit sans que la température ne varie aucunement. Les indications de cet appareil, dont le seul inconvénient est de ne pouvoir fonctionner économiquement que là où se trouve l'éclairage électrique, sont aussi variées que nombreuses, puisqu'il peut être employé dans tous les cas où les applications chaudes sont utilisées : rhumatismes, névralgies, etc. » (Bulletin de l'Académie de médecine, séance du 21 janvier 1902.)

Histoire des éléments chauffants souples

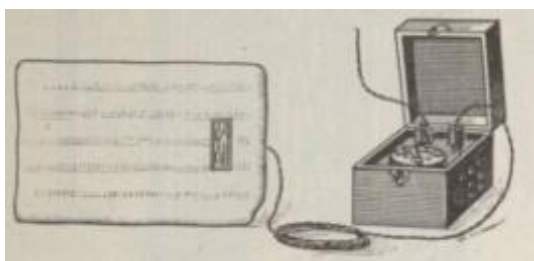
L'élément chauffant, proprement dit, est formé de lames de mica autour desquelles se trouve enroulé un fil métallique de résistance calculée ; les lames sont reliées entre elles par un fil souple isolé et protégées par une enveloppe de toile d'amiante et un sachet de molleton et de soie, ces enveloppes multiples ayant pour objet de répartir uniformément la chaleur sur toute la surface de la compresse et d'éviter son refroidissement. Cette dernière peut être confectionnée dans toutes les formes : chaussons, genouillères, ceintures, bandes, etc. (Mode et beauté, Décembre 1902)

Larat créa en Janvier 1902 la Société en nom collectif Larat et Dutar, afin d'exploiter un système de médication dénommé « Thermoplasme du docteur Larat »

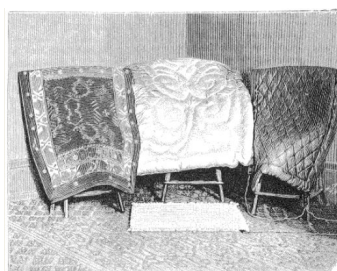
En Avril 1903, à la suite des descriptions données sur ces nouvelles applications, la Société anonyme des anciens établissements Parvillée frères et Cie, connue pour ses appareils de chauffage et de cuisson électriques, exposa une série d'appareils pour les applications l'électricité à la médecine, dont un thermoplasme ou cataplasme électrique, formé d'un tissu simple et incombustible en amiante, dans les doubles duquel était placé un conducteur résistant. L'appareil comprenait le thermoplasme proprement dit et un régulateur.

Le régulateur était relié par l'intermédiaire de la prise de courant en marbre et d'un fil souple vert à un bouchon à baïonnette que l'on mettait à la place d'une lampe à incandescence.

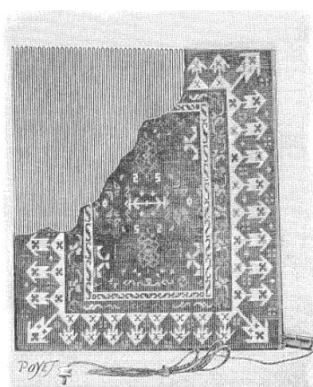
Le thermoplasme était ensuite relié au régulateur par un fil. La position 0 correspondait à l'arrêt, Les positions 1, 2, 3 et 4 correspondaient à 4 degrés de chaleur, augmentant graduellement depuis le n 1 (minimum) Jusqu'au n 4 (maximum). Cet appareil se fit également sous forme de tapis chauffant.



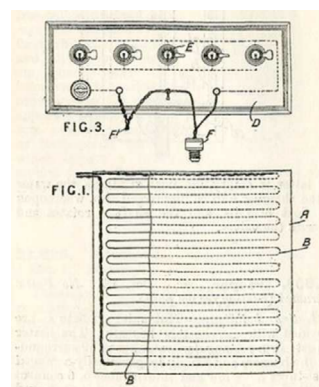
1903 Thermoplasme Parvillée. Dimensions 25cm x 35 cm Puissance : « inférieure à celle d'une lampe 5 bougies » soit environ 50 watts (à cette date). La charge surfacique était de l'ordre de 0.06W/cm².



Dès 1904, Camille Hergott avait mis sur le marché des tapis et couvertures chauffantes utilisant les particularités techniques de ses inventions (1904, La Nature, collection Ultimheat)



Vue intérieure du tapis chauffant, à gauche, à la partie supérieure, fils traversés par le courant, en bas à droite, prise de courant (1904, La Nature, collection Ultimheat)



En Angleterre, en 1906, R.F. Lafoon proposa de régler la puissance en plaçant des lampes témoins en parallèle sur la résistance (Brevet du 13 octobre)

Les tissus chauffants de Camille Herrgot furent dès cette époque, largement commentés dans la presse scientifique qui en imagina les évolutions futures « Vêtement électrique pour chauffage. M. Hergott, de Valdoie-Belfort, vient de créer des tissus chauffants qui pourraient bien, si le public y met un peu de bonne volonté, introduire une révolution dans l'art de se vêtir et de se chauffer. Il s'agit naturellement de tissus chauffant grâce à l'électricité qui les parcourt ou plutôt qui parcourt un réseau de fils savamment intercalé dans le tissu. Je ne désespère pourtant pas de voir ces tissus se convertir un de ces jours en vêtements véritables, qui auraient à mon avis de sérieux avantages économiques, puisqu'il ne s'agirait plus alors de chauffer le volume assez considérable de l'air contenu dans une pièce plus

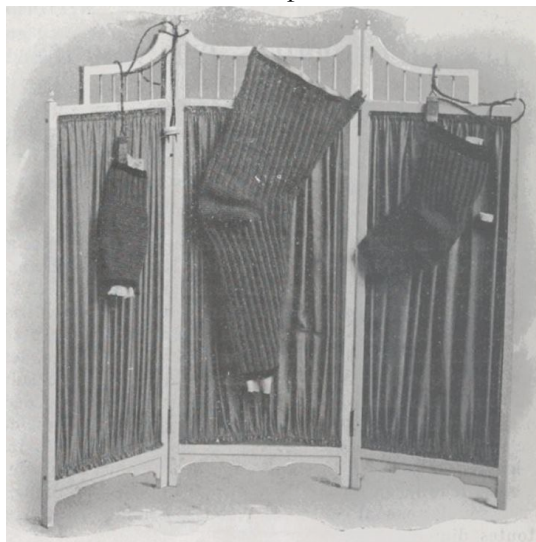
Histoire des éléments chauffants souples

ou moins vaste, mais seulement le volume infiniment plus réduit du corps. Dans les tramways, on n'aurait qu'à fixer une fiche au banc pour ressentir une douce et bienveillante chaleur. A la rue même et pourquoi pas ? on pourrait inventer quelque petite plate-forme avec moteur électrique et contact à fiche pour chauffer les gens »
(La Nouvelle réglementation du travail : hygiène et sécurité dans le commerce et l'industrie 1906)

En 1907, lors de l'exposition annuelle d'appareils médicaux à Paris, du 3 au 5 Avril, Georges André Félix Goisot exposa des appareils souples de chauffage par l'électricité, (Archives d'électricité Médicale, 10 Avril 1907). Les premiers essais de ses tissus chauffants montrèrent la fragilité de ses fils chauffants à un seul conducteur, et il déposa un brevet la même année en décrivant des cordons composés de plusieurs conducteurs, bien que ceux-ci aient déjà été brevetés par Herrgott.

Les techniques développées par Camille Hergott lui valurent, en 1909 une médaille d'or à l'Exposition internationale de l'Est de la France, à Nancy, et le 17 Mai 1910, un compte rendu élogieux présenté par d'Arsonval à l'Académie des Sciences (Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 1910-05-17, p 1234). Il confia la distribution et la fabrication des appareils à usage domestique à Paz et Silva (Paris) et ceux à usage médical à G. Gaiffe (Paris).

Il conserva la fabrication des appareils à usage industriel (Filtres sécheurs, toiles sans fin mobiles), à La Sablière au Valdoie, près de Belfort.



1910 Vêtements chauffants Herrgott à usage médical (Archives d'électricité médicale du 25 Aout 1910).
On peut y voir clairement l'existence de nappes de cordes chauffantes cousues.

Les utilisations des tissus chauffants à usage médical se développèrent et on pouvait lire en 1913 « J'ai utilisé pour ma part les compresses chauffantes électriques système Herrgott mises en vente par les maisons Gaiffe et Paz et Silva. Ces tissus, dits thermophiles Herrgott, présentés à l'Académie des sciences par d'Arsonval, étudiés par Bergonié, de Bordeaux, avec toute la compétence qu'on lui reconnaît, ont fait récemment l'objet d'un rapport très élogieux de Daniel Berthelot à la Société Française d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Ils ont le double avantage d'agir comme des isolants calorifiques à la façon des vêtements et des couvertures et d'être de plus des générateurs de chaleur dont l'action est absolument régulière. Les fils fins de nickel pur qui constituent les résistances chauffantes seront enroulés sur une âme textile et enveloppés d'un guipage, la finesse de l'ensemble est assez grande pour que les éléments qui le composent puissent être tricotés à la main ou tissés mécaniquement. La partie chauffante est bordée d'un tricot de laine ordinaire qui la protège et qui sert en même temps à maintenir les fils amenant le courant à la résistance. La nature des fils métalliques traversés par le courant est telle que leur résistivité s'élève d'une façon considérable avec la température : les thermophiles sont donc eux-mêmes leur propre régulateur : plus ils chauffent, moins ils consomment d'électricité. Les expériences de Daniel Berthelot ont établi la sécurité absolue que présente le fonctionnement de ces appareils dans lesquels les courts-circuits et les échauffements locaux anormaux ne peuvent se produire grâce aux dispositions prises par l'inventeur. Quant à la chaleur produite

Histoire des éléments chauffants souples

par les tissus Herrgott, elle peut varier de 40 à 150 degrés, d'après Berthelot. J'ai utilisé dans un certain nombre de cas ces compresses chauffantes, j'en ai toujours obtenu des résultats extrêmement satisfaisants. »

Annales de chirurgie et d'orthopédie 1913-11

1912-1917 : Le début des couvertures chauffantes domestiques, des tissus chauffants industriels et des toiles chauffantes électrodomestiques

En 1912, 10 ans après les brevets de Camille Herrgott, et 8 ans après la commercialisation de ses couvertures chauffantes, un médecin Américain nommé Sidney I. Russel imagina un chauffe-matelas souple, « underblanket », qui le créditera aux USA du titre « d'inventeur des couvertures chauffantes ».

Cette même année 1912, Camille Herrgott reçoit une médaille de vermeil de la Société d'Encouragement, qui récompense les nombreuses années passées à la mise au point de ses tissus chauffants. (Bulletin de la Société Nationale d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, 1^{er} Février 1913, p218.)

1913 La plupart des difficultés signalées ont été surmontées par un ingénieur de Belfort, M. C. Herrgott. Le tissu qu'il a inventé a triomphé de toutes les épreuves que lui avait imposées le rapporteur chargé de son examen technique il s'est, de plus, admirablement comporté au cours des essais pratiques qui ont été poursuivis dans un hôpital de Bordeaux, sous la direction du professeur Bergonié. M. Daniel Berthelot a constaté la supériorité manifeste du tissu Herrgott sur ceux qui font intervenir une trame de conducteurs électriques ou une carcasse d'amiante supportant un enroulement de fils en spirales. Les conducteurs y font partie intégrante de l'étoffe, sans cependant que leur présence enlève à celle-ci rien de la souplesse qui lui est indispensable. Le métal choisi pour les constituer est le nickel pur, dont la résistance à l'oxydation est bien connue. Entre deux fils voisins, la différence de potentiel est trop faible pour qu'un court-circuit soit à redouter, et l'isolement est à ce point assuré que l'eau dont on arrose le tissu en travail ne détermine aucun échauffement anormal. Le souci de prévenir tout accident possible a d'ailleurs poussé l'inventeur à ne pas étendre le réseau conducteur jusqu'aux bords de l'étoffe, en sorte que l'usure de celle-ci n'a pas pour résultat fâcheux de déterminer la mise à nu du métal. Enfin des douilles ordinaires permettent de brancher l'étoffe sur les prises d'un secteur urbain à 110 ou 220 volts, et cela comme on le ferait pour une simple lampe.

Rapport présenté par M. Daniel Berthelot à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, (Bulletin de la société nationale d'encouragement pour l'industrie Nationale, 1^{er} Février 1913, p218)

1924 Le Correspondant : revue mensuelle : religion, philosophie, politique

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k415185c/f882.item.r=%22C%20Herrgott%22.texteImage>

1914-1918 : les vêtements chauffants à usage militaire et leurs applications automobiles après-guerre

En 1914, Camille Herrgott fut distingué par un grand prix à Lyon.

Lorsque la guerre éclate, il a 44 ans. La classe dont il faisait partie, celle de 1890, fut appelée en 1915.

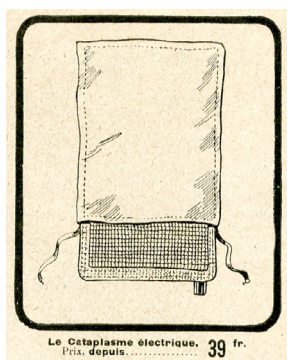
L'Ouest éclair, le 14 Novembre 1915 « Les sentinelles allemandes chauffées à l'électricité » Zurich 13 novembre, le Leipzeiger Neuste relate une curieuse invention des professeurs allemands Bech et Chroter : Le chauffage à l'électricité des sentinelles. Cette invention consiste dans des caleçons et des gilets de tissus dans lesquels sont placés et isolés des fils souples conducteurs. Ces fils n'empêchent nullement la liberté des mouvements, seulement le poids des caleçons augmente de 850 grammes, ils sont revêtus d'un tissu imperméable, isolant la source de la force électrique qui doit réchauffer les sentinelles ne se trouve pas sur la personne même, c'est-à-dire que l'on ne recourra pas à une batterie portative, telle, par exemple, celle qui existe dans les petites lampes électriques. La sentinelle est reliée à un petit central électrique qui se trouve dans toutes les positions avancées, et l'usage

Histoire des éléments chauffants souples

des réfracteurs des fils de fer pour obstacles à haute tension. La sentinelle qui va prendre sa faction dérouta un petit fil qui la relie au générateur, dont la puissance est diminuée par le transformateur. On calcule qu'à 500 mètres, il est très facile d'utiliser cette méthode. Un contact permet à la sentinelle de faire fonctionner ou d'interrompre le courant, si la chaleur devient excessive. Le coût de ces caleçons ainsi préparés et de tout l'appareil est de 125 francs.

L'Ouest éclair 17 Novembre 1915.

Monsieur le Directeur, Je lis dans l'Ouest-Eclair de ce jour un article intitulé « les sentinelles allemandes chauffées à l'électricité ». Je ne puis m'empêcher de protester en voyant les professeurs Bech et Chroten s'attribuer l'invention d'appareils que l'on construisait en France quelques années avant mon départ en Tunisie, c'est-à-dire vers 1907. A ce moment un de nos amis, M. Hergott, ingénieur attaché à la maison Chaudet-Page, à Valdoie (près Belfort), fabriquait des tapis chauffants pour appartements, des couvertures chauffantes et des gilets chauffants susceptibles d'être utilisés dans les parcs ou au bord des rivières à plusieurs centaines de mètres de la source d'électricité. Tous ces tissus étaient incombustibles et ont effectivement été utilisés. Mr. Hergott me disait avoir pris des brevets en France et en Allemagne et le sais qu'il a vendu quelques-uns de ses appareils à des magasins parisiens.



Novembre 1916 Paz et Silva
Cataplasme électrique Camille
Hergott

Durant la 1^{ère} guerre mondiale, l'évolution des performances des avions, volant à des altitudes de plus en plus élevées et en particulier au-dessus de 4 à 5000 mètres, fit naître le besoin de vêtements chauffants. En Avril 1918, une combinaison chauffante faisait partie de l'équipement des pilotes. A la différence des vêtements chauffants médicaux réalisés avant la guerre par Camille Hergott, ceux-ci étaient alimentés en basse tension. Ce fut le domaine en particulier du constructeur G. Goisot (Boulevard Gouvion Saint Cyr à Paris).

« Aussi, au cours de la dernière guerre, avait-on eu recours aux vêtements et sous-vêtements chauffés par l'électricité. Ce chauffage est produit par des fils cousus sous des gaines d'étoffe à l'intérieur des vêtements.

Ces fils sont chauffés légèrement. Ce mode de chauffage est indispensable pour conserver à l'homme tous ses moyens d'action dont le froid le prive en partie. Les principaux vêtements chauffants ont été : les gants, les chaussons, le casque, les genouillères et les plastrons. L'automobilisme emploie avantageusement ce système, car ce sont les deux fils conduisant le courant produit par la dynamo vers les appareils de T. S. F. qui sont utilisés pour les vêtements chauffants » 1920 Sciences et voyages N°26

En Avril 1916, André Aimé Lemerrier déposa un brevet en France (N°468588) et aux USA pour des gants chauffants électriques et autres vêtements chauffants. Il était le fils de Charles François Ernest Lemerrier qui s'était, dès avant 1910, spécialisé dans les vêtements pour aviateurs. A la fin de la guerre, il s'associera avec son frère Henri Gaston pour créer la société Lemerrier frères, qui en raison de leurs métiers d'origine, réalisera tout d'abord des tissus chauffants électriques avant de se mettre à construire d'autres appareils électrodomestiques. Fort de son expérience dans l'aviation, Lemerrier frères continuera jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale la fabrication des combinaisons chauffantes pour les aviateurs, ainsi qu'une activité purement textile dans la fabrication des parachutes.

Il semble que l'activité de Lemerrier dans le domaine des tissus chauffants avait commencé dès 1913 puisque Henry Letorey dans son ouvrage « Je vous offre la santé, la gaieté, le bien-être, je suis la fée électricité », édité en 1923 lui donne alors plus de 10 ans d'existence.

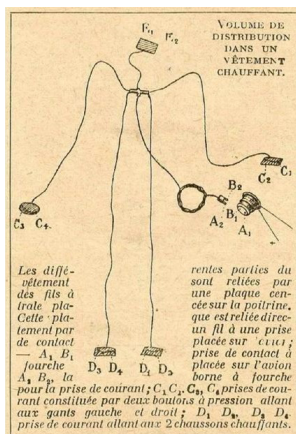
Le tissu de Camille Hergott n'a pas, à l'usage, donné tous les résultats qu'on attendait de son emploi. En fait, il n'a jamais servi qu'à fabriquer des couvertures ou des tapis chauffants ou encore, pendant la guerre surtout, des combinaisons « de

Histoire des éléments chauffants souples

dessus » pour les aviateurs.

1924 Le Correspondant : revue mensuelle : religion, philosophie, politique

Dès Janvier 1919, fort de son expérience militaire, Georges Goisot édite un catalogue de 12 pages d'appareils de chauffage souples par l'électricité. Il comporte des tapis chauffants pour bureaux et salons, poufs, coussins, couvertures de lits, cataplasmes, ceintures, chauffe-neque, genouillère, gants, chaussons, etc., chauffés par l'électricité. (4 Janvier 1919, revue générale de l'électricité)



Vêtement chauffant électrique (1920 Sciences et voyages N°26)



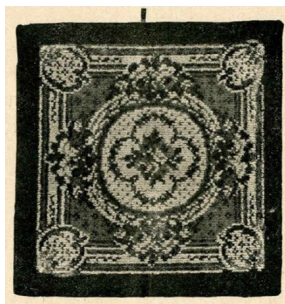
1919 Gant chauffants G. Goisot (catalogue Ultimheat)



1919 Gants chauffants proposés par l'Équipement électrique (Automobilia, l'automobile aux armées, 15 Octobre 1919)

1918-1940 L'extension des applications électro-domestiques

La fin de la 1^{ère} guerre mondiale fut marquée par une pénurie de charbon, en raison des dégâts subis par les mines françaises du Nord et du Pas de Calais et de l'augmentation du prix du charbon importé. Cela profita aux constructeurs d'appareils de chauffage électrique. Les appareils souples de Georges Goisot furent bientôt imités. Déjà, à la foire de Lyon en Mars 1917, le constructeur parisien L.



1920 L. Brienne, tapis chauffant de 350x350mm 10 rue Allibert fondé en 1890, Paris (catalogue Ultimheat)

Brienne exposait des tapis chauffants et cataplasmes électriques (1917 Catalogue de la Foire de Lyon, Musée Ultimheat)

A la foire de Lyon en Mars 1919, La Manufacture d'Appareils de chauffage par l'électricité George Fox, exposait dans son stand n° 8, groupe 10, ses nouveaux appareils pour les usages médicaux, industriels et domestiques, tels que : Cataplasmes, chaussons, genouillères, œillères et gants; radiateurs et réchauds obscurs ou à feu visible, fers à souder, fers à repasser d'atelier, de ménage et de voyage, chauffe-fers à friser, chauffe-lits, chauffe-pieds, bouilloires, cuisinières, allume-cigares, tapis chauffants, etc., ainsi que le chauffe-liquide «

Histoire des éléments chauffants souples

Le Thermo-Fox », si apprécié. (Revue générale de l'électricité, 15 Mars 1919)

Dans cette même foire, la « Société Anonyme pour la Fabrication des Appareils de Chauffage et des Appareils Domestiques par l'Electricité », (Calor), alors 200 rue Boileau à Lyon, n'expose pas de thermoplasme ni de couverture chauffante, mais annonce qu'elle «fabrique tous les appareils électriques qui étaient importés avant la guerre» En octobre 1919, à la foire d'automne, elle annoncera 300.000 appareils vendus.

Fin 1919 se créa la société Lemercier frères, qui développa le « Thermaplasme », et lança une campagne publicitaire dans les journaux parisiens «Par ces temps de restrictions, le thermaplasme électrique à régulateur de sécurité est nécessaire dans tout intérieur. Pour les bien portants, il remplace avantageusement au lit la bouillote qui se refroidit. Pour les malades ou les affaiblis, il remplace le cataplasme incommode et malodorant et préserve de la grippe par son action réactive» (Le Figaro, 4 Janvier 1920, et le Petit journal du Parti Social Français, 1er Janvier).



Chancelières, Couvertures électriques, Thermaplasme (1922 Lemercier)

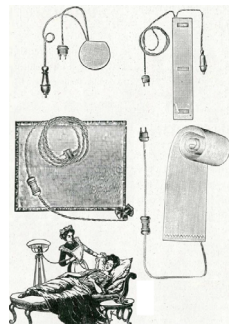
Pour Camille Herrgott, la situation devient difficile : ses brevets de 15 ans sont tombés dans le domaine public en 1916. Pendant la guerre, alors que son oncle Henri Chaudel, dirigeant de l'usine était mobilisé, les fabrications dans l'usine du Valdoie furent uniquement consacrées à l'industrie de guerre (grenades, obus, malaxage des poudres sans fumée, puis machines de visserie boulonnerie). Il ne resta pas de place pour le développement des couvertures chauffantes. Le 9 Septembre 1918, Henri Chaudel étant mort au front, son

fil Edmond le remplaça, secondé par Camille Hergott. A la fin de la guerre, l'activité de l'usine sera essentiellement consacrée à construction urgente d'importantes fournitures destinées à l'assèchement des puits de mines inondés. Soumis à une forte concurrence, avec des possibilités de fabrication réduites, il abandonna vers 1921 les couvertures chauffantes. Les tissus et vêtements chauffants souples à usage médical, de Gaiffe-Gallot et Pilon à Paris, furent abandonnés vers 1923.

En 1921-22, alors que les sanatoriums se développent, et avec eux, le besoin de couvertures chauffantes médicales permettant aux malades de séjourner plus longtemps en plein air, on vit arriver de nouveaux constructeurs : Victor Russenberger (Cataplasmes, chauffe-lits, tapis chauffants, qui sera connu plus tard pour ses interrupteurs), Albert Bourgain (Tapis chauffant Fulgator), Fare, Calor



1921 Tapis chauffant Fulgator fabriqué par Albert Bourgain



1921 la gamme des éléments chauffants souples de Fare (Catalogue Ultimheat)

« Peu connu avant la guerre, le chauffage électrique des vêtements s'est considérablement développé ces dernières années et l'on peut dire qu'aujourd'hui, en automobile, il n'est plus permis de souffrir du froid, même par les randonnées hivernales les plus longues. Pendant les hostilités, l'aviation a eu besoin d'une protection efficace contre les températures sibériennes (-40° à -50°) pour les pilotes

Histoire des éléments chauffants souples

naviguant aux hautes altitudes, et de cette nécessité naquit une industrie qui a créé et mis au point une série d'appareils dont l'usage permet d'augmenter le confort d'un sport qui, pour beaucoup, n'est plus aujourd'hui qu'un moyen de transport.... Alors que jusqu'aux organes chauffant le fil est bon conducteur, dans ceux-ci il devient très résistant, c'est-à-dire long et fin, ce qui lui donne toute la souplesse nécessaire au montage dans les vêtements. Bien isolé, de métal à grande résistivité et inoxydable, ce fil n'a que quelques centièmes de millimètre de diamètre (10 à 11 centièmes), selon sa nature : nickel ou maillechort ; sa longueur est de plusieurs mètres, si bien qu'on lui fait décrire de nombreuses sinuosités dans le tissu. L'étoffe n'est cependant pas spéciale et l'application est si facile qu'une maison d'équipement convertit en quelques heures une couverture ordinaire en couverture chauffante ». (L'Ouest Eclair du 15 Mai 1922)



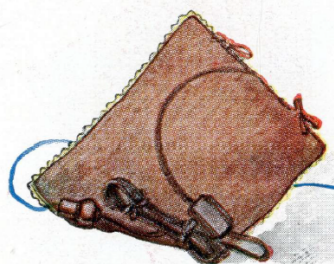
1923 publicité pour le thermoplasme Calor

En 1922 Calor commence à produire son Thermoplasme qu'il présente comme suit : « La raison de la supériorité de notre tissu tient de ce que nous avons réussi à tisser directement sur la machine nos fils de résistance. Ce procédé nous permet de vous présenter des appareils d'utilisation ayant des avantages incontestables inconnus jusqu'à présent. L'absence d'amiante et l'isolement imperméable recouvrant les

tissus «Calor» les rendent absolument insensibles à l'humidité. Se livrent pour tous voltages de 12 à 220 volts sans augmentation de prix. Ne peuvent servir de chauffe-lit ». (1923 Calor)

1925 Charles Mildé et fils (Tapis chauffants. Consommation : 30 Watts). Nous pouvons livrer toutes couvertures chauffantes fonctionnant sous un voltage quelconque. Nous fabriquons des couvertures pour appartements (fonctionnant sous 110 volts), pour l'automobile et l'aviation (fonctionnant sous 12 ou 16 volts).

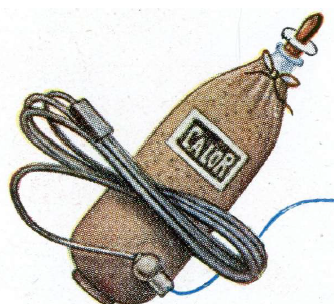
La technologie développée pour le thermoplasme donnera naissance à deux autres produits Calor utilisant des éléments chauffants souples : le tapis chauffant et le chauffe biberon. (Catalogue Calor 1926 Musée Ultimheat)



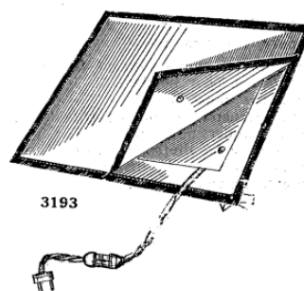
1926 Thermoplasme Calor avec interrupteur sur le cordon (Catalogue Calor 1926, Musée Ultimheat)



1926 Tapis chauffant Calor (Catalogue Calor 1926, Musée Ultimheat)



1926 Chauffe biberon souple Calor avec interrupteur sur le cordon (Catalogue Calor 1926, Musée Ultimheat)



1930 Couverture chauffante, 120 × 80 cms, environ 50W. Très pratique, on peut la laisser branchée des heures entières dans un lit recouvert (Bazar d'électricité,

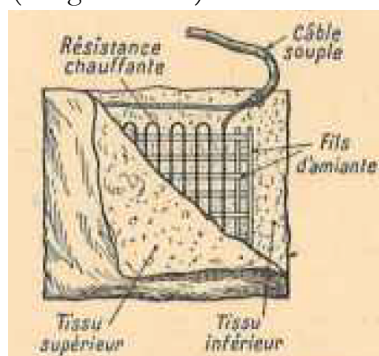
Histoire des éléments chauffants souples

Cochet G.) L'interrupteur sur le câble d'alimentation est identique aux interrupteurs sur les câbles d'éclairage.

1930, Aux USA, La première couverture chauffante électrique est mise en vente par Samson United Corporation



En Janvier 1929, Abkin, qui vient de breveter un modèle de couverture chauffante, commence à la fabriquer et à la distribuer. Il la présentera pour la première fois au salon des Arts Ménagers à Paris de 1930, sous la marque Perfecta. Elle est décrite comme sans concurrence (Image de 1931).



1932, Pour le chauffage individuel proprement dit, on peut citer : Les tissus chauffants sous forme de tapis, chancelières, couvertures, tricots, vestons, ... où la résistance chauffante (50 watts) est isolée par deux fils d'amiante, tissés entre deux épaisseurs d'étoffe (1932 Boll, électricité à la ville et à la Campagne).


1932 Alsthom et La Cie Générale d'électricité proposent des thermoplasmes ; Lemercier des thermaplasmes et des moquettes.



Cataplasme en tissu souple léger, avec une taie en flanelle lavable, monté avec régulateur de chaleur à 3 températures, livré avec fil souple.

N°	Dimensions en %	Consommation en watts	Prix.
17787	18x25	20	81. »
17788	25x32	30	85. »
17789	30x40	40	108. »
17791	40x40	60	122. »

Tapis chauffant moquette de 35x35 %. Cet appareil de consommation analogue au chauffe-pied est mieux indiqué pour les appartements.
Consommation 40-50 watts.
N° 17799. Prix 72. »



COUVERTURES CHAUFFANTES ÉLECTRIQUES

Modèles recommandés, ne demandant ni réglage ni entretien.

N° 17794 A. 120x80% (110 à 250 volts). Prix 390. »
N° 17794 B. 80x60% (110 à 250 volts). Prix 290. »

Tous nos modèles sont livrés, complètement équipés, avec câble de 2 mètres et prise de courant.

Modèles pour usages médicaux, pour chaises longues, chirurgicales, avec limiteur de température, et types spéciaux :
Prix sur demande.

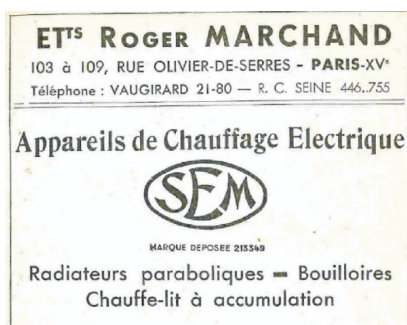
1933 Bouchery propose dans son catalogue des cataplasmes électriques, tapis chauffants et couvertures chauffantes.

1939-1945 :

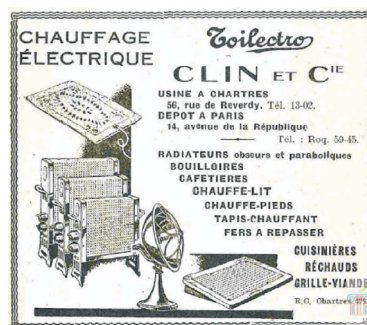
- En France restrictions d'utilisation et de production,

- Développement en Angleterre et aux USA

1939 La deuxième guerre mondiale et les restrictions et pénuries de combustibles, y compris pendant les années qui la suivirent relancèrent l'intérêt pour les couvertures chauffantes, particulièrement économiques en énergie électrique, ainsi que pour tous les systèmes de chauffe-lits électriques. Cependant, par manque de matières premières, et en particulier des fils chauffants utilisant du nickel et du chrome, matériaux stratégiques, la production des couvertures chauffantes cessa. De plus à partir du 6 Juin 1943 la vente des appareils de chauffage électrique, dont les couvertures, chauffe lits, thermoplastes fut interdite sauf avec cartes de rationnement.



1941 Chauffe-lits à accumulation Roger Marchand
(Mastier, le chauffage électrique Domestique)



1941 Tapis chauffants Toilectro (Mastier, le chauffage électrique Domestique)

1941 (7 Février), alors que les restrictions d'approvisionnement commencent être appliquées les appareils électriques Chaluvia, 33 rue Bergère à Paris proposent un chauffe-lit électrique «Idéal» et un cataplasme électrique.

1942 L'utilisation de nickel pour la fabrication de la plupart des résistances chauffantes est interdit en France, ce qui oblige la société métallurgique d'Imphy à développer un nouvel alliage résistif sans nickel : le RCR.

Conformément au vœu exprimé par l'Office de Répartition des Fers, Fontes et Aciers, l'impérieuse nécessité d'économiser le nickel a conduit les Aciéries d'IMPHY à mettre au point un alliage sans nickel répondant aux mêmes conditions d'emploi que le RNC.0 ou le RNC.00. Ce but a été atteint avec la nuance RCR que nous présentons dans cette notice. Cet alliage utilisable jusqu'à 600° se substitue au RNC.0 ou RNC.00 sans qu'il y ait lieu pratiquement de modifier les sections et les longueurs calculées pour ces alliages austénitiques.

Document Imphy 1942, alliage RCR (Musée Ultimheat)

Juin 1943 : Interdiction de vente. Un arrêté du 5 juin (J.O. du 9 juin) a décidé qu'il est interdit, aux entreprises vendant directement au public, de vendre, mettre en vente, louer ou échanger sauf avec tickets de rationnement, les chauffe-lits ; chauffe-pieds, coussins chauffants (cataplasmes électriques), couvertures chauffantes, tapis chauffants.

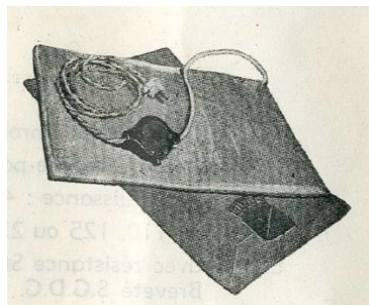
En dehors de la France, les recherches sur les combinaisons chauffées électriquement destinées aux pilotes de chasse pendant la guerre ont permis d'améliorer la sécurité et ont permis aux fabricants de fabriquer des couvertures plus minces et plus faciles à plier. En particulier, aux USA General Electric, un des plus importants constructeurs de couvertures chauffantes. Commença dès 1945, à faire la publicité de sa couverture automatique, en soulignant le lien avec sa fabrication en temps de guerre de combinaisons "chaudes" pour les pilotes se battant au-dessus du Japon.

Histoire des éléments chauffants souples

Les fabricant français Lemercier développa une combinaison chauffante « aviation », qui fut standardisée après la guerre, ainsi que son concurrent Airaile

1945-1960. L'après-guerre. La pénurie de charbon fait exploser les ventes des couvertures chauffantes. L'arrivée des thermostats de sécurité et des temporisateurs dans les couvertures chauffantes et les thermoplasmes.

En 1946, seuls quelques constructeurs purent recommencer rapidement à produire: Airaile à Anger (couvertures, thermoplasme, vêtements chauffants militaires et civils), Calor à Lyon (thermoplasmes), Suzor à Boulogne sur Seine, (thermoplasmes, tissus chauffants) et Verpillat (couvertures chauffantes) à Lyon.



1947 Thermoplasme Suzor. Compresse chauffante 3 allures par interrupteur 3 positions. Sécurité totale par double thermostat, Intérieur ouatiné assurant un chauffage très régulier Puissance : 50 watts Dimensions : 250 X 320 mm Livrable en 110 ou 220 volts (cat Ultimheat)



Le Thermoplasme distribue une chaleur bienfaisante par simple application sur la partie malade. Il remplace avantageusement l'antique, inconcomode et malpropre cataplasme. Il agit efficacement contre les rhumes, bronchites, pleurésies, gripes, mauvaises digestions, etc ...

Commutateur à réglage. Il se règle à 3 températures différentes au moyen du commutateur place à la portée de la main. De petits repères sous forme de bossages permettent de se rendre compte, dans l'obscurité, de la position du commutateur par rapport aux différents régimes de chauffe et d'effectuer le réglage.

Régulateurs automatiques de température. Deux régulateurs de température fonctionnant automatiquement, assurent le maximum de sécurité en cas d'oubli de l'appareil sur le courant. Le « Thermoplasme électrique Calor » recommandé par le Corps Médical a sa place dans la pharmacie familiale au même titre que les médicaments de première nécessité. (cat Calor 1947 Musée Ultimheat)



Le cordon de 3 mètres de long est muni d'un commutateur en bakélite marbrée, qui, facilement actionné d'une main par le malade, permet d'obtenir trois degrés de température et la mise hors circuit. Position 0 : arrêt Position I : faible Position 2 : moyen. Position 3 : fort.

Une fois la température désirée obtenue, celle-ci reste automatiquement constante grâce à deux thermostats ou régulateurs de température qui arrêtent instantanément le courant lors d'une chaleur excessive et le rétablissent dès que la température est redevenue normale. Thermor coussin chauffant 1949

En 1949, le constructeur Angevinois Airaile, dont l'expérience dans les tissus chauffants et vêtements chauffants militaires remonte alors à plus de 25

ans, décide d'ouvrir un bureau 27 avenue Mozart à Paris.

Il expose à la foire de Paris en 1949 et à celle de Metz la même année (ou il reçoit un grand prix) des couvertures chauffantes et thermoplasmes de 50 à 180W. Ces produits utilisent des cordes chauffantes de type aviation «

Histoire des éléments chauffants souples

compound » composées de fibres multiples de nickel pur autorégulant, boudinée sur une âme textile de grande résistance mécanique et isolée par surguipage. Ils sont équipés de thermostats de précision limitant automatiquement l'échauffement, même en cas d'oubli sous tension. Particulièrement en avance sur la technique des concurrents, ces thermostats, sont accélérés par une résistance additionnelle. Le réglage de puissance est effectué par un interrupteur rotatif à trois positions de contact et deux de coupure bipolaire

Il propose aussi des gilets chauffants de 40 watts, qui sont une sorte de plastron sans manches, assez ample, en forte toile de coton, disponibles dans différents voltages de 6 à 220V, pour des applications rurales, agricoles et industrielles (catalogues divers Air-Aile 1949, et 1951 Ultimheat,

Entre 1950 à 1960 dans un marché en pleine expansion la concurrence devint rude entre de nombreux constructeurs de couvertures chauffantes et de thermoplastes, En voici une liste non limitative :

Abkin (A.), 95, boulevard Soult, Paris 12^{ème}. (marque Perfecta).

A.E.M., 5, rue de la Procession, Paris.

AirAile, 1 bis, rue J.-P.-Timbaud, Issy-les-Moulineaux (Seine).

Amplelec, (marque Morphée)

Area (A.) Grand-Gallargues (Gard).

Armand (M.), Digne (B.-A.).

Astoria, 26, r. St-Charles, Schiltigheim (Bas-Rhin).

Baugas et Cie, Chemillé (M.-et-L.)

Barrière (A.), 282 boulevard Voltaire, Paris 11^{ème}. Dernière nouveauté: La plus moderne des couvertures chauffantes électriques est en textile de verre siliconé (marque Tentation).

Bois (M.), 2, rue Condorcet, Cachan (Seine).

Botteau, 37, rue Cambronne, Paris.

Buga (Ets), Obernai (Bas-Rhin).

Calor, place A. Courtois, Lyon.

Camulco

Chromex, (1953)15 rue du Port, Le Mans (Sarthe).

Coillard (R.), pl. de la République, Cours (Rhône).

Constellation, 16 ter, rue Censier, Paris.

Covex

C.R.E.O. rue de la Barillerie, Le Mans (Sarthe).

Degois (Jean), (puis Raymond Degois) marque Jidé (1949 ca,1962) Le cordon chauffant permet de confectionner soi-même sans connaissance électrique et très facilement une couverture chauffante. Le chauffe-lit filet, Très léger, peu encombrant, facilement transportable. Résistance incassable, boudinée en spirale par procédé breveté. La couverture chauffante. Confortable. Laine de belle qualité. Sécurité garantie. Le créateur de la résistance pour couverture chauffante, 66, Rue Francois-Chénieux Limoges (Hte Vienne).

Despont, 276, rue de Belleville, Paris.

Elefo, Obernai (Bas-Rhin).

Eletex, 27, r. Ferrandière, Lyon.

Euphorie, (1950, 1955) 71 rue Hippolyte-Kahn, Lyon-Villeurbanne. Les ateliers Euphorie sortiront, cette saison, 25.000 couvertures chauffantes, plus de 20 années d'expérience).

Fox, 64, bd de Ménilmontant, Paris. (Uniquement thermoplastes).

Gautier (A.), 7, rue de la Mignonne, St-Rambert (Rhône).

Petit (G.), (marque Gelux), 6, Place Léon Deubel, Paris 16^{ème} (avec résistance en Nickel Chrome 80-20).

Gervaiseau, 151, av. Georges-Durand, Le Mans. (uniquement thermoplastes), Brevet de thermostat bilame en Mars 1957 (Evo-Stop).

Guérillot (Pierre), (marque Filecho électronique) Chauffe-lit électrique de sécurité, Tapis chauffant pour Autos-Camions, Galon chauffant antigel pour tuyauteries,

Histoire des éléments chauffants souples



On verra en 1957 Jidé proposer le « Jidéstop », minuterie permettant l'arrêt automatique des couvertures chauffantes. Coupatan met sur le marché un produit équivalent, et Calor son « Tempomatic ». Chromex emboîtera le pas en 1958 avec son « Stop Index ». En 1958 Jidé modifiera sa minuterie pour réaliser deux allures de chauffe, la couverture passant automatiquement en petite puissance après un certain temps (Brevet 1.198174).

Le 1^{er} Janvier 1957, apparut un marquage de qualité USE-APEL décerné par l'Union Technique de l'Electricité pour les couvertures chauffantes. Il avait été rendu nécessaire par les articles insuffisamment solides et sûrs produits dans l'immédiat après-guerre et aux nombreux accidents qui en furent la conséquence.

L'ancienne norme NFC 6023, qui couvrait les couvertures chauffantes et les thermoplastes ne comportait que des obligations techniques simples et limitées telles que l'interdiction de croiser les fils, une résistance au pliage, à la chaleur et à l'humidité et un seul thermostat, fut remplacée par les normes NF C 73-147 (couvertures chauffantes) et NF C 73-123 (thermo-plastes).

Vedette et Kalliste furent les premiers constructeurs à obtenir le marquage USE-APEL.

Ces nouvelles normes créaient deux catégories en fonction du type d'élément chauffant :

- les couvertures dont le fil ou l'élément chauffant est fixé sur un tissu support au moyen de coutures ou de tout autre procédé équivalent. Cette catégorie fut désignée par la lettre T.

- les couvertures dont le fil ou l'élément chauffant ne peut pas être enlevé. Cette catégorie fut désignée par la lettre N.

Il fut aussi créé deux classes en fonction de la tension d'alimentation :

- les couvertures destinées à être reliées directement à un réseau de distribution 110 ou 220V.

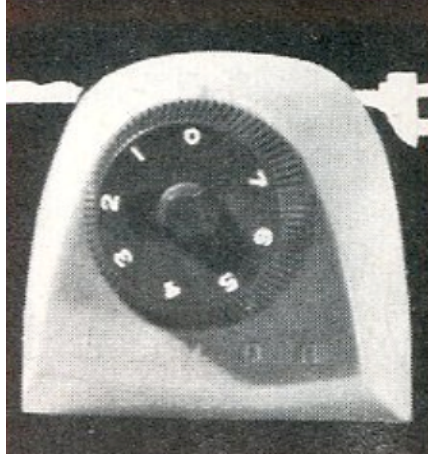
- les couvertures destinées à être alimentées en très basse tension. » (1961 Equipement ménager).

Un régulateur de température devint obligatoire pour les thermoplastes, et au minimum deux pour les couvertures, qui furent désormais soumises à plus de 15 tests différents pour vérifier leur sécurité de fonctionnement.



1959 Calor met sur le marché sa Couverture chauffante Textomatic, comportant un système de réglage continu de la température par doseur d'énergie. Sur ses couvertures simples, elle ajoutera l'option « Tempomatic », minuterie d'arrêt automatique.

Histoire des éléments chauffants souples



1960 Calor Tempomatic (catalogue Ultimeat)

1980 Chromex propose toutes ses couvertures chauffantes en version résistances étanches et label NF « Non Feu ».

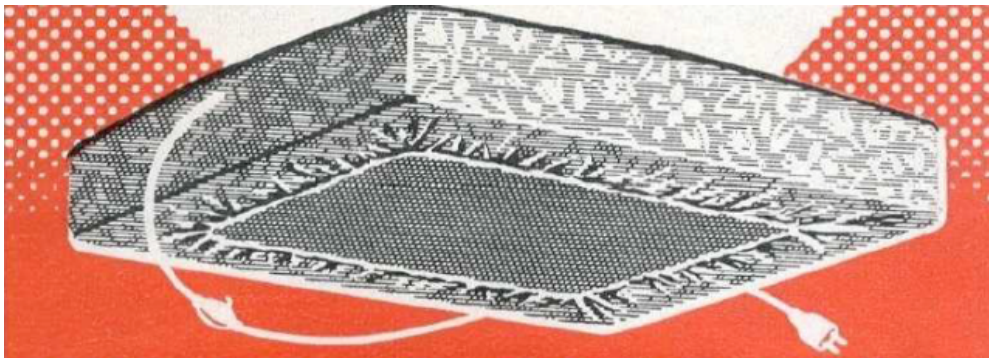
Les chauffe-matelas

1957 On commence à trouver sur le marché des systèmes qui se placent sous l'utilisateur et non plus au-dessus. Ces éléments doivent être munis d'un système de fixation et être suffisamment rigides pour ne pas se friper et se replier sur eux-mêmes.

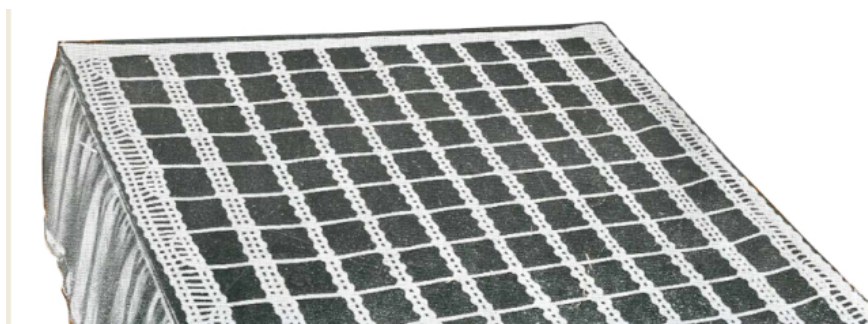
La housse chauffante pour matelas Grizzli est constituée par une résistance intégrée entre deux épaisseurs de tissus.

Le tissu inférieur sert de support à la résistance qui est fixée par un procédé de tissage breveté. Le tissu supérieur est collé (gutté) par-dessus, par un autre procédé breveté. La résistance est un multibrins en nickel chrome enrobé de matière plastique spéciale supportant bien la chaleur, procédé moderne qui permet le lavage. Fonctionne dans l'eau.

Elle comporte deux allures de chauffe. Elle comporte un prolongateur avec interrupteur. Son thermostat est étanche et parfaitement isolé. (1957 Manufacture de tissus thermiques, Musée Ultimeat)



Housse chauffante Grizzli (1957 Manufacture de tissus thermiques, Musée Ultimeat)



Chauffe lit Jidé (1957), ses cordes chauffantes son recouvertes de deux couches de coton :Guipe et tresse) et d'un gainage en matière plastique. (Catalogue Jidé 1957, Musée Ultimeat)

L'isolation silicone

Il manquait alors aux cordons chauffants souples un vernis qui en assure l'étanchéité. Les cordons étaient alors revêtus d'isolants textiles, (coton, laine etc..) mais il n'existait pas de vernis qui soit suffisamment souple pour les imperméabiliser. En 1939, le PVC avait commencé à remplacer le caoutchouc comme isolant des câbles électriques domestiques. En 1949, alors que la production de PVC était encore balbutiante en France la Sarl lyonnaise Tisselec, dirigée par Maurice-Pierre Marchal ajouta autour des cordons chauffants un vernis souple de type PVC ou polyéthylène. Cette solution permit dès lors garantir une certaine résistance à l'humidité et une bonne flexibilité. Mais la tenue en température du PVC était insuffisante pour être utilisée sur un fil chargé à 7W/m.

Inventé par Dow Corning aux USA peu avant la 2^{ème} guerre mondiale, et porté à la connaissance du public dès 1944, le caoutchouc de silicone fut d'abord réservé aux applications militaires. Rhône Poulenc commença à produire expérimentalement des silicones (le Rhodorsil) à Lyon en 1948, puis ouvrit son usine de Saint Fons près de Lyon en 1954. Cet élastomère fut tout d'abord utilisé pour imprégner des gaines en fibre de verre tressée, permettant aux petits moteurs électriques de fonctionner à une température plus élevée. La soie de verre résistait très bien à la chaleur. Son imprégnation au silicone lui conférait une bonne imperméabilité et une résistance à beaucoup d'agents chimiques. (1954 Mec, catalogue ultimheat)

Dès 1954, des gaines isolantes en tresse de verre imprégnées au silicone étaient fabriquées par Silisol.

- Peu de temps après, lorsque furent développés des mélanges à vulcanisation rapide permettant l'extrusion directe sur des conducteurs électriques, apparurent les fils chauffants silicone. Le silicone vulcanisé cumulant une extrême souplesse à une excellente tenue en température, (jusqu'à 200-250°C) et une bonne isolation électrique il permit de réaliser des fils chauffants particulièrement adaptés aux couvertures et aux éléments chauffants souples. Cette technique supplanta, dans les couvertures chauffantes et éléments chauffants flexibles, l'isolation en néoprène qui venait d'apparaître

En 1958, bien que coûteux, les câbles chauffants isolés silicone sont alors largement utilisés aux USA pour le dégivrage des réfrigérateurs, le déneigement des toits et autres applications similaires car le silicone résiste à la température élevée de l'âme chauffante, résiste au froid, et prodigue une excellente étanchéité. Cependant son manque de résistance mécanique obligea à développer pour certaines applications des câbles recouverts d'une tresse métallique souple, qui furent à l'origine du traçage électrique industriel.

Dès avant 1959, la société Electrofil à Joinville proposait des fils **résistifs** isolés silicone (Silastic). Les câbles chauffants des couvertures étaient tous réalisés alors par enroulement de fils chauffants de petit diamètre sur une âme en coton, qui ne résistait pas à la température très élevée nécessaire pour la vulcanisation en continu du silicone. Le remplacement de cette âme en coton par une âme en Silionne en permit la fabrication. Cette technique est toujours utilisée de nos jours.

En 1960 une solution technique nouvelle apparut : l'utilisation de fils chauffants non isolés repris en sandwich entre des plaques d'élastomères de silicone armé de fibres de verre, puis vulcanisé. L'ensemble forme alors une feuille étanche. Le constructeur Méneret peut alors écrire : « **toutes nos couvertures chauffantes sans exception sont équipées de résistances spéciales isolées sous canaux totalement invisibles** ».

Cette technique sera (et reste encore) largement utilisée dans l'industrie pour le réchauffage des fûts par des ceintures chauffantes, mais aussi dans une foule d'applications dans lesquelles le réchauffage d'une surface plate ou cintrée est requise. L'utilisation du silicone permet, dans ces applications industrielles, d'atteindre des charges surfaciques jusqu'à 2W/cm²

Dès 1961, l'isolation en silicone des éléments chauffants de couvertures chauffantes

Histoire des éléments chauffants souples

et autres appareils souples électrodomestiques devint une solution technique évidente, et certains constructeurs commencent à l'utiliser, tels Tisselec qui propose des couvertures à 2 circuits isolés au caoutchouc de silicone, à 2 thermostats (cette société s'équipera alors d'une ligne d'extrusion de fils chauffants isolés silicone), et Treselle, avec sa couverture à résistance autorégulatrice, âme silicone et isolement silicone. En 1965 Thomson suivit le mouvement et équipa ses couvertures chauffantes de fils autorégulants avec isolation silicone.



1965 Couverture chauffante Thomson avec résistances isolées silicone et fils chauffants autorégulants sur âme Silionne

En 1970 Calor mettra sur le marché des couvertures chauffantes utilisant « son nouveau circuit électrique avec gaine isolante en silicone ultra-souple qui assure une grande robustesse à l'élément chauffant »

Resistelec-Tisselec, qui fabriquait ce type de résistances souple fut rachetée en 1973 par son fournisseur Driver Harris (Fabriquant américain de fils résistifs en nickel et alliages de nickel), puis en 1984 par Flexelec, société créée 2 ans auparavant. Peu après ce rachat Flexelec mit fin à la fabrication des fils chauffants isolés silicone.

Câbles et cordons chauffants. Premières applications en horticulture et débuts du traçage électrique antigel

Vers 1925, un ingénieur norvégien, C. Jacobsen, s'aperçut que la neige était fondue et que la végétation était nettement visible tout le long de lignes enterrées de transport

de courant. De là lui vint l'idée d'utiliser des fils chauffants pour hâter les cultures. Ainsi prit naissance cette branche du chauffage qui progressa rapidement en raison de ses multiples avantages techniques et économiques, et qui tenta rapidement les horticulteurs allemands hollandais et français.

Dès le début de 1929, des expériences de chauffage électrique du sol pour la production maraîchère furent faites à l'École d'agriculture de Fontaines en Saône et Loire (Délibérations du conseil général de Saône et Loire, Aout 1929)

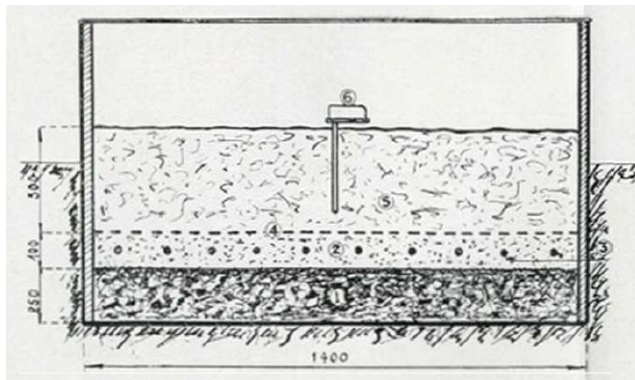
En Hollande, les premiers câbles chauffants à usage horticole, furent installés à titre expérimental au cours de l'hiver 1929-1930 à La Haye, Delft et Rotterdam. Ils avaient été produits par la société suédoise Sievert de Sundyberg. Ils étaient constitués par un fil résistant de 0.73 mm de diamètre, ayant une résistance linéaire de 1.10 ohm par mètre courant. Deux cordons d'amiante hélicoïdalement enroulés en sens inverse, puis une couche de papier imprégné, et enfin une gaine de plomb de 1.3 mm d'épaisseur assuraient l'isolement et la protection mécanique des fils résistants. Le diamètre extérieur du câble chauffant ainsi constitué était de 4.7 mm. La gaine de plomb, dont la résistance linéaire vaut 0.13 ohm servait en même temps de conducteur de retour du courant ; à cette fin, à l'extrémité libre du câble, elle était soudée au fil résistant. Chaque câble, de 50 m de longueur, peut être chargé à 5 A au maximum soit 22W/m (1931 BIP Bulletin d'information et de propagande Electricité N 37)

Dans les pays à climat rude, tels les pays scandinaves et l'Allemagne, des câbles chauffants, enfouis à 30 centimètres, maintiennent la température des couches des serres ; le courant de nuit peut être fourni à des tarifs très bas et l'économie en frais de chauffage est estimée à 75% (Le Temps, 27 Avril 1932)

1936 Pour hâter la pousse des primeurs les horticulteurs font usage de couches de culture recouvertes de châssis vitrés. Il était intéressant d'y expérimenter le procédé de chauffage de couches par l'électricité qui fournit d'heureux résultats dans

Histoire des éléments chauffants souples

diverses régions de France ou de l'étranger. A cet effet, des essais contrôlés ont été exécutés à Nice du 1er février au 15 mai 1935. Le câble chauffant était constitué par un câble armé à un conducteur en nickeline de 12/10 de mm de diamètre. La puissance absorbée était de 3 kW environ, soit environ 200 watts par mètre carré de surface de terrain. [N.B. : La Nickeline était un alliage de cuivre, zinc et nickel proche du maillechort, fabriqué par la société allemande Obermaier] (1936 BIP N°93, Musée Ultimheat)



1 : mâchefer, 2 : sable, 3 : câble chauffant, 4 grillage, 5 : terreau 6 : limiteur de température (1936 BIP N°93, Musée Ultimheat)

Les applications horticoles utilisant le chauffage électrique des couches se développa rapidement en France, et rapidement, le type de câble chauffant pour cette application se standardisa avec deux fournisseurs français principaux : les Câbles de Lyon et Alsthom, utilisant un fil chauffant droit, et un fournisseur Hollandais, la Hollandse Draad en Kabelfabriek (Draka), d'Amsterdam, utilisant un fil chauffant spiralé autour d'une âme en amiante.

Les câbles chauffants constituent une solution très particulière du problème des éléments chauffants qui a jusqu'ici été surtout adoptée dans le domaine agricole pour le chauffage des couches. Ces câbles peuvent cependant rendre des services dans l'industrie pour des puissances superficielles assez faibles et des températures peu élevées (80°C au maximum à la surface du câble) en particulier, lorsque l'on veut obtenir une répartition aussi uniforme que possible de la chaleur. Il existe actuellement trois sortes de câbles chauffants que nous indiquons ci-après par ordre alphabétique :

- A/ Le câble Alsthom comporte, en partant du centre vers la périphérie un fil résistant en nickel chrome deux guipages de coton imprégné, une triple tresse d'amiante, un guipage de papier imprégné, une enveloppe de plomb pur et en plus, dans certains cas, soit une gaine supplémentaire en zinc électrolytique strié (pour éviter les phénomènes d'électrolyse dus aux courants vagabonds) soit des feuillards. Le diamètre du câble sous plomb nu est de 6 mm environ et la résistivité peut varier de 0.5 à 2 ohms par mètre (en général, elle est choisie égale à 1 ohm par mètre), la puissance spécifique maximum est de 30 W par mètre soit environ 33 m.

- B/ Le câble câblerie de Lyon est constitué par un fil résistant isolé par des couches d'amiante et du papier goudronné et essoré, le tout étant enrobé dans une gaine de plomb protégé contre les corrosions chimiques par un traitement spécial (sulfuration) et recouvert de papier imprégné et d'une armure de feuillard mis à recouvrement : la puissance spécifique varie de 25 à 40 W/m en général.

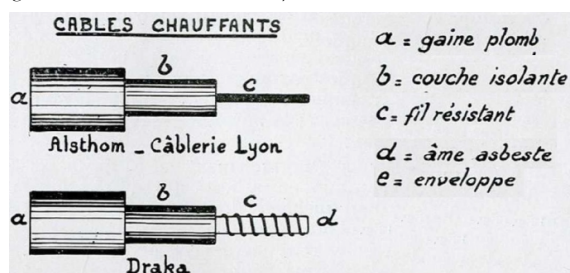
- C/ Le câble Draka (fabrication hollandaise) comporte normalement un fil de nickel-chrome boudiné sur une âme en asbest (produit à base d'amiante) et entouré d'un mélange dont nous ignorons la composition et qui forme isolant électrique et conducteur thermique : l'ensemble est recouvert d'une couche de plomb pur. Dans certains cas le câble est armé, l'enveloppe de plomb étant asphaltée, enveloppée dans du papier imprégné, armée ensuite de 2 couches de feuillard, asphaltée à nouveau et enveloppée enfin de papier imprégné. Le diamètre extérieur du câble sous plomb non armé est de 4,15 à 6.5 mm La puissance spécifique est prévue en général à raison de 30 W/ m.

Les câbles chauffants présentent en particulier trois avantages intéressants : facilité

Histoire des éléments chauffants souples

d'emploi ; résistance à certains agents chimiques (gaine de plomb pur) ; faible prix (par exemple un câble de 1 kW vaut actuellement environ la moitié du prix d'un tube blindé à la magnésie, de même puissance).

(1938 Les éléments protégés, Gautheret, Musée Ultimheat)

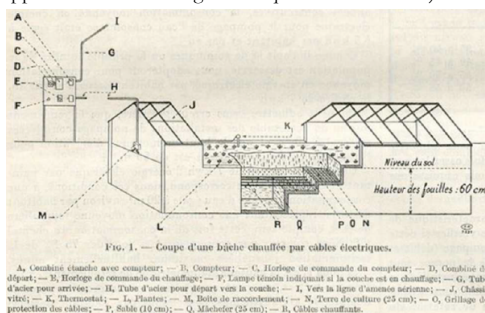


Câbles chauffants Alsthom, Câblerie de Lyon, Draka (1938 Les éléments protégés, Gautheret, Musée Ultimheat)

1938 Le dispositif de chauffage électrique qui répond le mieux aux besoins de l'horticulture est le câble chauffant. Il est constitué par conducteur en alliage de résistance électrique élevée (nickeline, nichrome, nickel, constantan), isolé par plusieurs couches d'amiante et de papier imprégné et protégé mécaniquement, par une gaine de plomb recouverte d'un enduit anti-corrosif et parfois doublé d'un feuillard d'acier. La résistance métrique du câble à installer sera fonction de la longueur nécessaire pour obtenir, sur une surface donnée, une égale répartition de la chaleur voulue.

Les fabricants construisent des types de câbles de résistances diverses, variant de 0,15 à 2,55 ohms/m, susceptibles de répondre à tous les besoins

(1938 technique moderne, les applications du chauffage électrique en horticulture.)

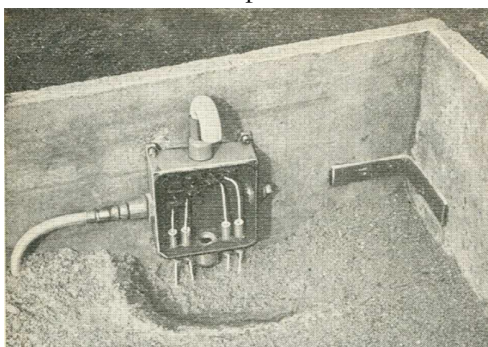


Installation horticole chauffée à l'électricité (1938 technique moderne, les applications du chauffage électrique en horticulture.)

En 1956, deux mille cinq cent exploitations françaises avaient été équipées, pour une puissance total installée d'à peu près 5000 kW, et une consommation annuelle (exclusivement de nuit) de 3 à 4 millions de kWh.

(Le chauffage par câbles souples enterrés. 1956 Le chauffage électrique en horticulture (Musée Ultimheat)

En 1957, l'EDF, dans son manuel décrit les applications du chauffage électrique en horticulture. Les valeurs recommandées varient de 150 à 200 W /m² pour les bâches en plein air et de 80 à 120 W /m² pour les tablettes de serre.



Chauffage électrique du sol, vue de l'arrivée des câbles chauffants (1957, Manuel EDF, Musée Ultimheat)

Les applications diverses des câbles chauffants

L'apparition en 1929-1930 et le développement des câbles chauffants à usage horticole donna naissance à d'autres applications. Etanches et entourés d'une enveloppe de protection mécanique en plomb, ils pouvaient facilement être utilisés seuls et non plus intégrés dans une enveloppe comme les fils chauffants des tissus et du petit matériel électro-domestique. Le blindage en plomb conservait au câble une certaine flexibilité, tout en procurant une certaine résistance à la température. L'évolution des isolants vers une tenue en température plus élevée augmentera progressivement la gamme des applications.

Dès 1938 quelques réalisations industrielles ont déjà été faites avec certains de ces câbles chauffants : étuves de séchage pour fil vernissé, chauffage de canalisations d'eau en vue d'éviter le gel, de cuves de solutions photographiques, de cuves de paraffine. Il est alors envisagé d'utiliser ces câbles pour le chauffage à faible température des liquides et de l'air, par exemple : étuves, chambre-étuves, parois et planchers chauffants

(1938 Eléments protégés, Gautheret)

En 1946 les établissements E Clin à Chartes (Toilectro) déposent un brevet (FR928369) de carton chauffant pour plafond et panneaux chauffants. Il ne semble pas qu'il ait été suivi d'une production.

Ce concept de plafond chauffant donnera lieu à plusieurs expérimentations. La première semble avoir eu lieu en 1950 à Bâle, où un magasin fut équipé d'un plafond réalisé avec des câbles chauffants de 14.4 kW tirés dans des tubes de cuivre noyés dans le crépi du plafond et distants de 12 cm. La température du plafond ne dépassait pas 45°C.

(Bulletin A.S.E., 2 septembre 1950, 1951 BIP N 153 Arts ménagers)

1963 vit le premier exemple français de chauffage électrique domestique par câble chauffant noyé dans la dalle de sol. Il fut présenté au salon international de la construction par la société Panélac, Il fonctionnait par accumulation thermique en « heures creuses (1963 Equipement ménager N92, Musée Ultimheat)

En 1966, comme pour les couvertures chauffantes, le silicone modifia la conception des câbles et tissus chauffants industriels souples

On commença à trouver sur le marché des câbles chauffants constitués par un fil résistant en Fe-Ni-Cr ou en maillechort, simple ou double, protégé électriquement par des gaines ou tresses de soie de verre ou encore de soie de verre et de caoutchouc de silicone.

Pour les applications industrielles (étuves, chauffage de liquides) et traçage électrique agricole, ces câbles chauffants étaient protégés mécaniquement par une gaine souple en plomb, acier, ou cuivre. Leur diamètre variait de 4 à 9 mm, pour une résistance linéaire de 0,25 à 100 Ω par mètre, et une puissance en général de 30 à 40 W/m. (1966 Résistances électriques de chauffage, Musée Ultimheat)

Le développement des câbles autorégulants de type polyéthylène-carbone à la fin des années 1960, ouvrit une voie nouvelle au marché du traçage électrique alors que leurs applications initiales dans les couvertures chauffantes domestiques stagnèrent. Quelques années après, en 1975, des essais de réchauffage anti-verglas des chaussées par des câbles chauffants furent expérimentés dans le Cher (Journal Officiel du 14 Janvier 1976)

Les cordons chauffants souples, avec isolation PVC, silicone, PTFE ou polyoléfines, utilisant des conducteurs métalliques résistifs ou autorégulants devinrent une nouvelle branche importante du chauffage électrique, trouvant de multiples débouchés au fur et à mesure de l'apparition de nouveaux produits. On peut par exemple citer : les cordons chauffants pour vitrines réfrigérées, les câbles chauffants de traçage électrique, les systèmes de mise hors gel de tuyauteries, le dégivrage des chaussées, le déneigement des toitures, la protection antigel des compteurs, le chauffage électrique domestique par le sol

La Silionne et les éléments chauffants souples haute température, avec isolation en fibre de verre pour applications en température élevée.

L'apparition d'une nouvelle matière « textile » isolante qu'il était possible de tisser, la silionne, révolutionna la fabrication des éléments chauffants souples. Inventée et produite tout d'abord aux USA par Owens Corning à partir de 1937, apparut en France en 1938, mais ce n'est que vers 1952-1954 que cette fibre sera produite industriellement sous licence en France. Cette fibre souple, (aussi nommée soie de verre parce que le diamètre des filaments était similaire à celui de la soie), est formée à partir de verre fondu à 1300°C, extrudé et étiré en filaments (brins) d'un diamètre moyen de 5 à 9 microns réunis en fils simples de 100 à 600 filaments. Ces fils simples sont alors regroupés en « retors » pour constituer des cordonnets formant l'âme des résistances chauffantes souples, ou le guipage des fils électriques. Excellent isolant électrique, ininflammable, résistant à des températures élevées, la silionne fut aussi tressée et tissée et servit aussi dès son apparition à la fabrication de feuilles et de tissus. Sous forme coupée en courts filament, elle servit au renforcement des matières plastiques moulées. Dès 1948, les tissus de verre furent utilisés par les établissements Tentation dans la fabrication des couvertures chauffantes, comme certains constructeurs américains le faisaient déjà. Elle remplaça aussi rapidement de nombreuses applications de l'amiante, dont l'âme des conducteurs autour de laquelle étaient spiralés les fils conducteurs des cordons chauffants.



Faisceau de brins de silionne formant un fil simple (Fabrication du silionne, vers 1960, cours de l'école textile de Verviers en Belgique, Musée Ultimheat)



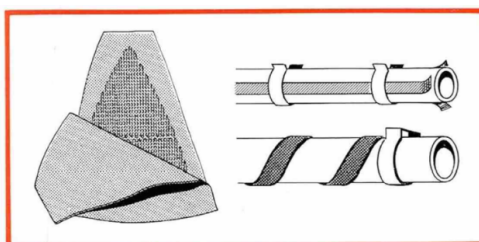
1948 prospectus de la marque Tentation, produite par la Société Barrière. (Musée Ultimheat)

Vers 1960 apparurent sur le marché français des éléments chauffants souples haute température comportant une résistance en Nickel-Chrome ou en Nickel renfermée dans un tissu de verre. Cette technique autorisait une température maximale de 550°C.

Furent alors réalisés de cette façon des rubans ou des bandes ou encore des tissus élémentaires de formes diverses auxquels on pouvait faire épouser strictement des surfaces quelconques, gauches au besoin, en assemblant ensuite convenablement les tissus élémentaires.

En raison de leur souplesse et de leur tenue en température, ils furent utilisés pour le chauffage d'autoclaves, réservoirs, bassins, tubes, tuyaux, appareils de laboratoires, (fig. 2 1).

Nettement plus puissant que les cordons des couvertures chauffantes domestiques, certaines bandes pouvaient alors fournir une puissance surfacique de 0,4 à 1,25 W/cm². En remplaçant le verre par du quartz, il était possible d'atteindre 800°C (1966 Résistances électriques de chauffage, Musée Ultimheat)



Tissus et bandes chauffantes souples en tissu de verre (1966 Résistances électriques de chauffage, Musée Ultimheat)

Peu avant 1966 apparurent des résistances chauffantes industrielles constituées

Histoire des éléments chauffants souples

d'un dépôt de graphite sur un tissu en verre. La résistance était constituée par un réseau maillé de faisceaux de fils de verre extrêmement fins, réseau recouvert d'une couche de graphite colloïdal d'épaisseur régulière. Le tissu obtenu était flexible et sa résistance électrique pouvait être ajustée en fonction de l'épaisseur du dépôt. La température maximale admissible était de 220°C environ, et comme pour les éléments chauffants en fibre de carbone qui apparurent ensuite le coefficient de température était légèrement négatif.

Une des applications pérennes de ces tissus en fibre de verre et fils chauffants nickel chrome fut le chauffe ballon de laboratoire ; il est alors tricoté, le plus souvent manuellement pour réaliser des éléments chauffants semi circulaire.



1913-1980 Les toiles chauffantes tissées haute température à chaîne en amiante

Fin 1913 fut créée à Paris la société E. Clin et Compagnie, qui basa son activité sur le tissage de résistances chauffantes souples comportant une chaîne en amiante et trame en fil résistant chauffant, d'une technologie similaire à celle Camille Hergott, mais orientée vers des températures élevées. Elle utilisa à cet effet des métiers à tisser de passementerie. Les toiles chauffantes qu'elle développa sous la marque Toilectro eurent pour la plupart des applications sur des appareils électrodomestiques rigides ayant besoin de températures élevées : radiateurs, grille pains, réchauds. Comme il était facile de les cintrer, elles furent aussi utilisées pour entourer des réservoirs destinés à chauffer des liquides : bouilloires cafetières, chauffe lits à accumulation.

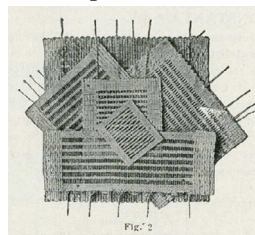
Ces toiles chauffantes étaient formées par une trame en fil métallique, constantan ou nickel-chrome et une chaîne en fil d'amiante. Les fils y étaient espacés comme dans un tamis, ce qui donnait, grâce à une bonne ventilation, un excellent rendement thermique. Une toile tendue verticalement dans l'air libre, atteignait une température d'environ 100°C pour une consommation de 0.4 watts par cm² et 250°C pour 2 watts par cm². A 3W/cm² les fils rougissaient et détruisaient l'amiante. En 1921 Clin breveta des toiles chauffantes dans lesquelles la toile, isolée entre des lamelles de mica était montée dans une armature métallique formant un tout rigide ce qui permettait d'aller ainsi jusqu'à 5 watts par cm². (Informations extraites du catalogue Toilectro de 1939)

Clin produisit aussi une gamme de tapis chauffants semi-souples, avec une puissance surfacique réduite à 0.04W/cm² (50W pour 35cms x 35cms).

La fabrication de ces résistances, largement utilisées dans les radiateurs et convecteurs électriques domestiques, continua sans modifications techniques jusque dans les années 1980-85. Outre son faible coût, cette résistance était particulièrement silencieuse, sans bruits de dilatation. Les principaux constructeurs furent Clin (Toilectro), La Toile Electronique, Noirot, Thomson.

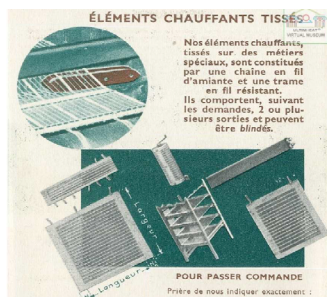


Annnonce publicitaire de E. Clin et Cie, 1922 dans la revue générale d'électricité 12 Mai 1921, E. Clin brevet pour toile électrique avec renfort par des plaques de mica (577486)



Toile chauffante en amiante Toilectro (catalogue 1931).

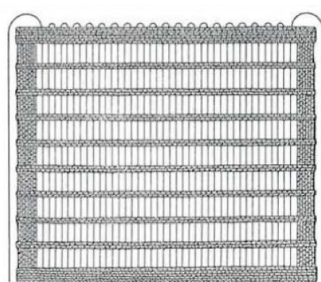
Histoire des éléments chauffants souples



1939 Eléments tissés en amiante
(Catalogue Noiroit 1939, Musée
Ultimheat)



Cordons chauffants non armés avec âme en amiante, pour
applications industrielles (Catalogue Noiroit 1939, Musée Ultimheat)



Toile chauffante avec chaîne amiante,
utilisable jusqu'à 450°C (1950 Ohmewatt)

Modèle	Largeur en mm	Longueur en mm	Résistance en Ohms	Puissance en Watts	Température max. en °C	Notes
R 200	1	8 000	800	220	200	20
R 215	1	8 000	800	220	240	20
R 230	1	8 000	800	220	260	20
R 245	1	8 000	800	220	280	20
R 260	1	8 000	800	220	300	20
R 275	1	8 000	800	220	320	20
R 290	1	8 000	800	220	340	20
R 305	1	8 000	800	220	360	20
R 320	1	8 000	800	220	380	20
R 335	1	8 000	800	220	400	20
R 350	1	8 000	800	220	420	20
R 365	1	8 000	800	220	440	20
R 380	1	8 000	800	220	460	20
R 395	1	8 000	800	220	480	20
R 410	1	8 000	800	220	500	20
R 425	1	8 000	800	220	520	20
R 440	1	8 000	800	220	540	20
R 455	1	8 000	800	220	560	20
R 470	1	8 000	800	220	580	20
R 485	1	8 000	800	220	600	20
R 500	1	8 000	800	220	620	20
R 515	1	8 000	800	220	640	20
R 530	1	8 000	800	220	660	20
R 545	1	8 000	800	220	680	20
R 560	1	8 000	800	220	700	20
R 575	1	8 000	800	220	720	20
R 590	1	8 000	800	220	740	20
R 605	1	8 000	800	220	760	20
R 620	1	8 000	800	220	780	20
R 635	1	8 000	800	220	800	20

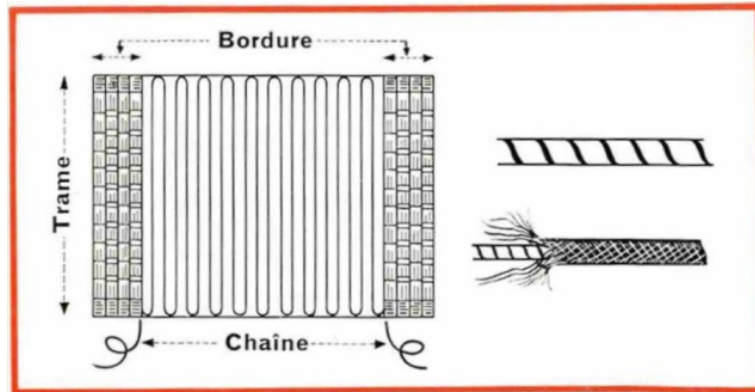
Toiles chauffantes amiante
(1960 Toile-électronique, Musée Ultimheat)

« L'amiante présente une grande souplesse, une bonne résistance aux vibrations et elle n'est pas cassante. On a souvent recours à un mélange (qualité commerciale) de 85 % d'amiante et de 15 % de support, textile (coton, fibranne), la température d'utilisation étant au maximum de 250°C. Il existe aussi deux autres qualités susceptibles de températures plus élevées : 450 et 800°C. Pratiquement, on emploie surtout l'amiante pour des températures ne dépassant pas 450°C, exceptionnellement 600°C sur l'élément. L'amiante est surtout utilisée sous forme de toile, la chaîne formant la partie isolante et la trame la partie électrique chauffante.

La chaîne est constituée par un grand nombre de fils fins d'amiante. Les fils de chaîne sont plus ou moins espacés suivant les applications. La constitution de la trame est très variable, suivant ses dimensions et l'application envisagée pour l'élément. On a le plus souvent recours aux métaux suivants : alliages Nickel Chrome, constantan, nickel, le plus souvent sous forme de fils, quelquefois de rubans ou de cordons. La section des fils est faible, par exemple de 0,10 à 1,30 mm. Lorsque le conducteur doit être de section supérieure, on groupe les fils en parallèle. La disposition de la trame peut être très différente suivant la destination de l'élément : circuit unique comportant un seul fil ou plusieurs fils groupés en parallèle, l'espacement des conducteurs étant régulier ou non ; circuits multiples, en vue de l'alimentation en courant triphasé ou diphasé ou d'un groupement éventuel en série ou en parallèle, etc. Les toiles ainsi tissées comportent une bordure en fils d'amiante de grosseur plus forte que la chaîne et de qualité souvent moindre. Dans la fabrication des toiles, on n'est limité en principe que par la dimension du métier à tisser, donc par la largeur de la trame, en général 20 à 800 mm. Les éléments livrés sont, pour des raisons mécaniques et pratiques (rechanges), d'une surface relativement réduite eu égard aux possibilités des métiers à tisser (maximum exceptionnel de 1 m²). L'amiante ayant un faible isolement électrique, les toiles sont en général fixées à leurs supports par des canons en stéatite ou en porcelaine, des rondelles de mica, etc. Dans certains cas, elles constituent simplement un support des résistances et sont elles-mêmes maintenues en place par un cadre métallique. Une autre application importante est celle des cordes chauffantes, constituées par un cordon d'amiante calibré sur lequel on enroule le conducteur métallique et

Histoire des éléments chauffants souples

recouvert ou non d'une tresse d'amiante ou d'autres substances isolantes ». (1966 Résistances électriques de chauffage, Musée Ultimheat)



Toile chauffante amiante, et cordon chauffant amianté et tressé
(1966 résistances électriques de chauffage, Musée Ultimheat)

La prise de conscience de la dangerosité de l'amiante donna lieu en Aout 1977 à un premier décret sur la protection des travailleurs exposés aux poussières d'amiante, suivi par l'interdiction de l'utilisation de l'amiante en France en 1997. Ce type de résistances chauffante disparut donc du marché.

Tissus et rubans chauffants plastifiés

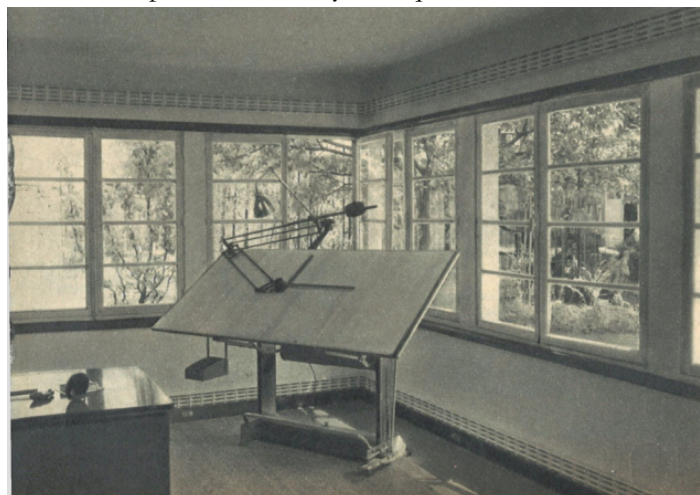
Développés dès 1940 avec un isolant en caoutchouc, ces tissus flexibles furent rapidement utilisés pour le dégivrage des ailes d'avion.

Au début des années 1960, suivant en cela le développement des élastomères PVC et silicone, apparurent les premières résistances chauffantes souples à usage industriel en forme de rubans et de plaques, dont l'isolation principale était réalisée par une résine élastomère polymérisée ou vulcanisée autour d'un fil chauffant. Les élastomères, utilisés étaient le PVC, le silicone, et quelquefois le néoprène.

On trouvait alors des toiles tissées, réalisées avec une nappe dont la chaîne était en amiante et la trame en Ni-Cr ou en constantan, noyée dans un gel de silicone. Ces blocs souples se fabriquaient dans une épaisseur de 2,5 à 5 mm, en format rectangulaire (max. de 0,90 x 0,20 m) ou carré (max. de 0,50 x 0,50 m), avec des puissances surfaciques variables, de 0,4 à 1 W/cm². Leur température maximale était de l'ordre de 250°C.

Au cours des années, leur technologie évolua, et ils furent réalisés au moyen de deux bandes de silicone armé de fibre de verre, vulcanisés ensemble en prenant en sandwich une nappe de fils chauffants.

Cette technique est maintenant largement utilisée industriellement pour le réchauffage de surfaces plates, de fûts cylindriques, de tambours chauffants.



Le ruban chauffant Rubancalor, fabriqué par R.A.S. ceinture non seulement les retombées de plafonds mais aussi les soubassements de mur (1958 Rambert, Le chauffage, musée Ultimheat)

Histoire des éléments chauffants souples

Apparurent aussi durant la même période des rubans chauffants constitués de conducteurs parallèles, noyés dans une lanière de polyvinyle, constituant un ruban de 13 mm de largeur, et permettant une puissance spécifique de 20-25 W/m à 100°C maximum. (1966 Résistances électriques de chauffage)



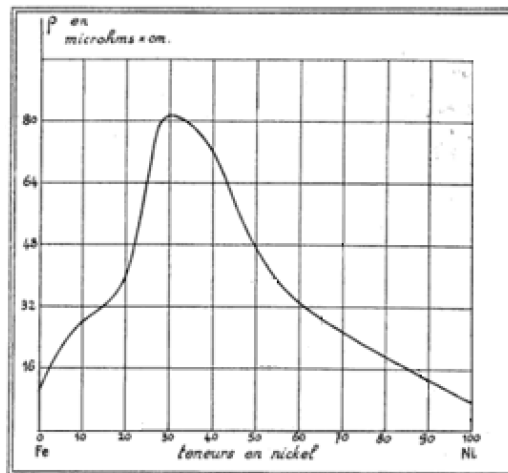
Résistances chauffantes souples en silicone, en ruban pour traçage électrique, en feuilles pour le réchauffage de surfaces et de fûts (2012, catalogue Ultimheat)

Deuxième partie : Evolution technologique des éléments chauffants

Les fils chauffants métalliques

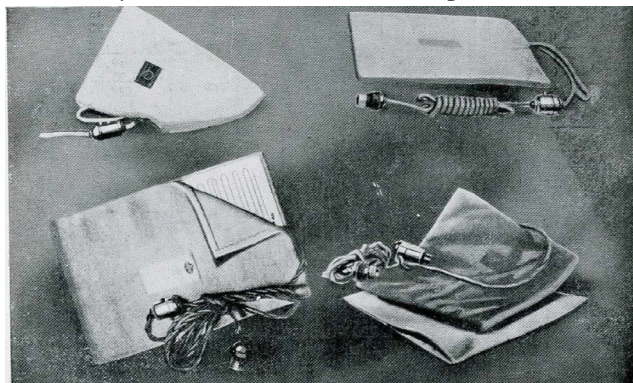
Lorsque Camille Hergott mis au point ses premiers éléments chauffants souples, son choix se porta sur des conducteurs en nickel. Ce choix se fit en raison du coefficient de température élevé, donc de son comportement auto-régulant (sa résistivité double entre 20 et 200°C) et de son inoxydabilité. Les autres métaux utilisés à la fin du 19^{ème} siècle pour les résistances chauffantes étaient le platine (cher), le fer (oxydable), le maillechort (coefficient de température faible), le cuivre (résistivité très faible).

Les ferro-nickels, apparus peu après, permirent de limiter la longueur des fils chauffants nécessaires, car leur résistivité était plus importante. L'alliage le plus résistif, utilisé pour les résistances chauffantes comportait 30% de fer et 70% de Nickel. Sa résistivité variait peu avec la température (coefficient de température 0.0009°C soit 5 fois moins que le Nickel pur 0.0054). Peu oxydables à température élevée, ils furent surtout utilisés dans les réchauds, radiateurs, grille pains.



Variation de la résistivité : courbe en en fonction de la teneur en nickel dans les alliages ferro-nickel
(La Nature, 1934, les alliages de Nickel et leurs applications, P215)

Le développement des alliages de nickel de 1900 à 1940 donna naissance aux alliages résistifs en nickel-chrome et à de multiples alliages en cupro-nickel. Comme pour les ferronickels, ce furent la forte résistivité et la résistance en température qui furent les paramètres principaux de sélection de ces produits. Les alliages devaient aussi avoir un faible coefficient de température, comme le constantan et l'Advance de Driver-Harris, afin que leurs caractéristiques ne soient pas modifiées par la température. Leur utilisation dans les couvertures chauffantes et thermoplâtres nécessitait d'ajouter un système de limitation de température.



1930 Cataplasmes électriques avec éléments chauffants en Advance
(Drivers Harris, catalogue 1930, Musée Ultimheat)

Histoire des éléments chauffants souples

ALLIAGES R. N. C. POUR RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES			
Propriétés	RNC-1	RNC-2	RNC-3
Résistivité à 15°	100 ± 4 microhms/1/16"	111 ± 4 microhms/1/16"	102 ± 4 microhms/1/16"
Coefficient de température de la résistivité, valeur moyenne entre	0 à 500° 0,30 à 0,35 × 10 ⁻³	0 à 500° 0,10 à 0,15 × 10 ⁻³	0 à 1000° 0,05 à 0,08 × 10 ⁻³
Pouvoir thermoélectrique par rapport au cuivre	+ 2 à + 2,5 microvolts par degré	0 à + 0,7 microvolts par degré	+ 5 à + 6 microvolts par degré
Densité	8,05	8,25	8,45
Point de fusion	1.450°	1.450°	1.475°
Température limite d'emploi	600-700°	900-1.000°	1.100-1.150°
Applications	Rhéostats, Chauffage aux températures moyennes, Cuisines électriques, Chauffage domestique.	Radiateurs, Chauffage aux températures élevées, Fours à traitements, Appareils de mesures.	Radiateurs lumineux, Chauffage aux températures très élevées, Appareils de laboratoires, Résistances de mesures.

1933 Les aciéries d'Imphy proposent des fils résistifs dans 3 alliages nickel chrome différents, qu'ils nomment RNC 1, 2 et 3 (Résistif Nickel Chrome). Le RNC1 est bien adapté aux couvertures chauffantes, avec une forte augmentation de résistivité en fonction de la température procurant un effet autorégulant (0.0030 à 0.0035 Ω/Ω/°C).

Vers 1934, Driver Harris produisit un alliage 28% de fer et 72° de Nickel présentant un fort coefficient de température nommé Hytemco. (Pour High Temperature Coefficient). Cet alliage avait un coefficient de température de 0.0048 à 0.0053 Ω/Ω/°C, très proche du nickel pur, mais sa résistivité était deux fois plus élevée, ce qui permettait de diminuer la longueur de fils nécessaires. Utilisé dans les couvertures chauffantes, il procurait une fonction autorégulante importante.

Driver Harris développa au cours des années toute une gamme d'alliages à haut coefficient de température, en particulier :

- Alliage 99 : (Nickel pur à 99,8%) : 0.006 Ω/Ω/°C
- Nickel grade A : 0.005 Ω/Ω/°C
- Nickel grade E : 0.0045 Ω/Ω/°C
- Hytemco : 0.0045 Ω/Ω/°C
- Permanickel: 0.0036 Ω/Ω/°C
- Alliage 152 : 0.0035 Ω/Ω/°C
- Alliage 146 : 0.0032 Ω/Ω/°C

Des alliages similaires furent développés par d'autres métallurgistes sous les noms de Alloy 120, MWS-120, Balco, HAI-380, NIFE 5200, Kanthal 70, Alloy K70, Nifethal 70 ; Pelcoloy.

En 2015, les alliages de ferronickel dérivés du Hytemco de Driver Harris, désormais nommés alliages PTC, furent standardisés en Chine (Norme JB/T 12515-2015) en fonction de leur coefficient de température, afin de permettre une meilleure approche de leur température d'auto-stabilisation dans les couvertures chauffantes. Selon les modèles, leur coefficient de température varie de 0.003 à 0.00465 Ω/Ω/°C.

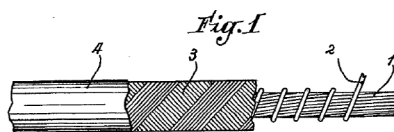
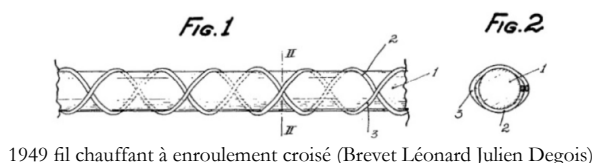
Code de l'alliage*	Composition nominale %		
	Fe	Ni	Mn
P-4650	18.0	82.0	--
P-4350	19.0	81.0	--
P-4050	20.0	80.0	--
P-3750	21.0	79.0	--
P-3550	20.2	79.0	0.8
P-3350	22.0	78.0	--
P-3150	23.0	77.0	--
P-3000	21.5	77.0	1.5

Tableau de la composition des alliages de nickel à effet PTC (Norme JBT 12515-2015)

* Les 4 chiffres après la lettre P donnent la valeur nominale du coefficient de température. Par exemple 4650= signifie 0.004650 Ω/Ω/°C

Les modes de fabrication des cordons chauffants des couvertures

En 1949, Léonard Julien Degois, de Limoges, étudiant les raisons de la rupture des fils chauffants des couvertures et vêtements, développe une nouvelle méthode d'enroulement du conducteur chauffant sur une âme textile : il propose un double enroulement dans les sens différents, de manière à ce que les spires se croisent. Les cordons n'ont plus alors tendance à boucler. Il mettra cette technique en œuvre dans la société Jidé qui sera fondée peu après et fabriquera des couvertures chauffantes. Cette invention lui permettra ensuite de se nommer « l'inventeur de la résistance pour couvertures chauffantes »



Dès 1949, Tissélec dépose un premier brevet pour une corde chauffante dont le guipage extérieur (3) est recouvert d'un élastomère (4) de type caoutchouc, pvc, ou polyéthylène, afin d'améliorer l'isolement en particulier dans les cas où la couverture est humide. (Brevet FR 982675 enregistré le 13 Juin 1951)

Vers 1955 en France, les alliages autorégulants de type Hytemco firent leur entrée chez certains constructeurs de couvertures chauffantes, il éliminant alors le besoin des thermostats de sécurité. En 1958, un des plus importants constructeurs français, Electro-Rivoli (marque Vedette), précise que son système de régulation est assuré par des résistances suédoises auto-régulatrices (Vraisemblablement du Kanthal 70 aussi nommé Nifethal 70).

Dès lors deux systèmes différents coexisterent dans les couvertures chauffantes et les thermoplastes :

- Le premier consistait en l'utilisation de résistances à faible coefficient de température, comme le nickel chrome 80/20 ou des cupronickels, associés à des thermostats limitant la température,
- Le deuxième consistait en l'utilisation de fil chauffant en alliage à fort coefficient de température, très proche de celui du Nickel, tel que l'Hytemco, le Balco, le Kanthal 70, qui ne nécessitaient pas de thermostat. Le Nickel pur, utilisé à l'origine perdit son attrait, car en raison de sa résistivité il nécessitait deux fois plus de longueur de fil.

Le choix technique des constructeurs entre ces deux solutions fut dès lors purement économique, et elles sont toujours présentes sur le marché domestique actuel.

Dans les années 1960 La plupart des couvertures chauffantes utilisent un câble chauffant à 7W/m et une grande partie des constructeurs passe du fil chrome-nickel ou du fil nickel au fil autorégulant.



1960 ca. Atelier de guipage de cordes chauffantes pour couvertures électriques Vedette (Musée Ultimheat)

Histoire des éléments chauffants souples



1960 ca corde chauffante Calor ,diamètre 1.7 mm, fil chauffant unique en nickel chrome diamètre 0.08 mm, sur âme en coton légèrement torsadée pour éviter le bouclage. (collection Ultimheat)



1960 ca corde chauffante marque Ellesert « Auto régulante » , diamètre 1,2mm. L'ame centrale est un fil de coton droit entouré d'une guipure constituée de deux fils en coton de 0.1mm de diamètre enroulés sur un pas de 0.8mm, puis d'une guipure de 3 conducteurs de nickel de 0.067mm enroulés sur un pas de 0.8mm en sens inverse, afin de conserver un ensemble qui ne boucle pas (Collection Ultimheat).



1962 ca, corde chauffante de marque Jidé. Cousue directement sur une des faces de la couverture chauffante, et non plus entre deux tissus, elle comporte 4 conducteurs en nickel spiralés sur une âme en coton, puis recouverts d'un guipage très fin puis d'une tresse en coton. L'ensemble n'est pas étanche et très combustible.



Mesure de la température de surface d'une couverture chauffante (1960 ca, Vedette, Musée Ultimheat).



Corde chauffante isolée PVC souple de très faible diamètre (2 mm), conducteur unique diamètre 0.11mm en alliage de cuivre (vraisemblablement un maillechort), enroulé sur âme polyester dia 0.5mm, utilisée sur une couverture chauffante General Electric (Angleterre), vers 1962. L'ensemble est très combustible. (Collection Ultimheat)

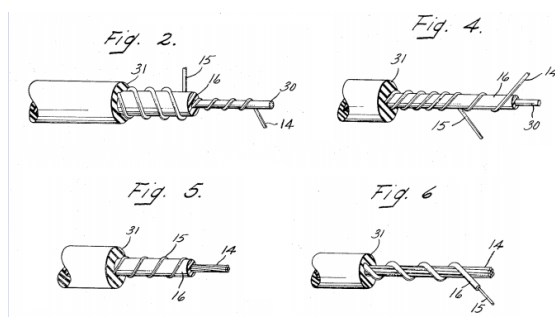
En 2019, les cordons chauffants des couvertures chauffantes sont composés d'une âme en fibre de verre (quelquefois en fibres polyester), entourée d'un fil chauffant spiralé, et l'ensemble recouvert par un isolant souple à base de PVC haute température, résistant à 100°C, cette solution, la moins coûteuse, est la plus courante. Une solution plus professionnelle et quasi incombustible est constituée d'une âme en fibre de verre, d'un fil chauffant spiralé et d'un isolant en élastomère de silicone résistant à plus de 200°C.

Les câbles chauffants en polymère autorégulant à coefficient de température positif

En 1962, une découverte primordiale fut faite dans les laboratoires Douglas Aircraft (brevet US 3238355A) sur les polymères, et en particulier sur le polyéthylène chargé de nanoparticules de carbone, semi-conducteur à température ambiante. Il fut découvert que ce matériau, à une température aux alentours de 70°C voyait sa résistivité augmenter fortement jusqu'en faire un quasi isolant électrique

(“Electrical Properties of Carbon Black Filled Polyethylene”, Polymer Engineering and Science, Jun. 1978, vol. 18, No. 8, pp. 649-653. “Polyethylene/Carbon Black Switching Materials”, Journal of Applied Polymer Science, vol. 22, 1163-1165, 1978, Wiley & Sons, N.Y.)

Dès 1966, des ingénieurs de General Electric, Phillip A. Sanford et William P. Somers imaginèrent des conducteurs souples utilisant cette propriété pour réaliser des résistances pour des couvertures chauffantes, éliminant de la sorte le besoin pour les limiteurs de sécurité, la nappe chauffante ajustant automatiquement sa puissance dès que la température devenait trop élevée en un point quelconque. La puissance à la température ambiante des cordes chauffantes, définie comme apportant le meilleur confort à l'utilisateur est alors de l'ordre de 3 à 3.8 watts par mètre.



1966 Premières cordes chauffantes auto-régulantes pour couvertures chauffantes
(Brevet US 3.410984, Phillip Sanford, pour Général Electric)

Selon la composition du polymère, son pourcentage de particules de carbone et son épaisseur, il était possible d'obtenir des températures de stabilisation différentes. Cependant, outre son coût, le manque de souplesse de ce polymère fortement chargé à 27% de carbone rendait les cordes chauffantes relativement raides, et incompatibles avec la souplesse requise pour des couvertures chauffantes.

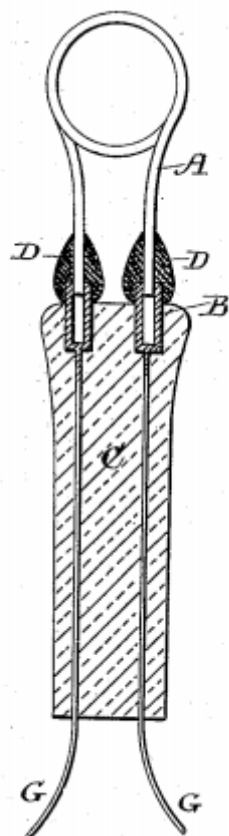
De plus, apparurent cependant rapidement deux problèmes techniques majeurs, qui empêchèrent la commercialisation.

Le premier était lié à la résistance élevée de contact entre les conducteurs et le polyéthylène semi-conducteur en raison de la difficulté d'adhésion entre les deux, le deuxième étant la stabilité médiocre de l'élément chauffant, dont la résistivité se dégradait, vraisemblablement en raison de la température de fonctionnement élevée et des cycles thermiques. Il fallut plus de 10 ans pour les résoudre, et ce ne fut qu'en 1980, que le constructeur américain de couvertures chauffantes Sunbeam déposa le brevet 4271350 pour une version fiable de cordes chauffantes à coefficient de température positif. Dans cette évolution technique, la corde chauffante subissait un cycle thermique de recuit à une température de l'ordre de 150°C, donc supérieure à la température de fusion du polyéthylène, ce qui nécessitait un sur-gainage haute température en élastomère thermoplastique du cordon et des précautions particulières pour que les conducteurs ne se touchent pas durant ce recuit. Les différentes versions proposées par Sunbeam pour les applications en couvertures électriques, amélioraient aussi le problème de la flexibilité du cordon chauffant.

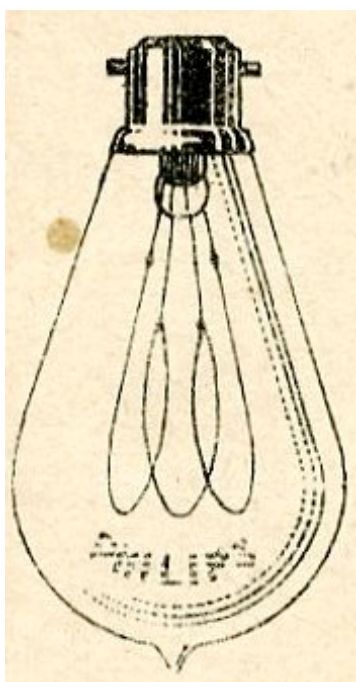
Début 1984 des couvertures chauffantes Sunbeam sans thermostats utilisant ce type de conducteurs apparurent sur le marché américain.

Cette technologie continue à être utilisée quasi exclusivement par Sunbeam aux USA, et permet de produire des couvertures à fort pouvoir calorifique, mais, bien qu'atténués, les défauts d'origine sont toujours présents : manque de souplesse, et perte de puissance chauffante dans le temps à la suite du vieillissement du polymère PTC.

Les résistances en fibre de carbone



1881 lampe à filament de carbone, amélioration des méthodes de raccordement du filament sur les électrodes (Brevet anglais No. 4,202 du 29 Septembre 1881, de Joseph Wilson Swan)



Lampe Philips à filament de carbone (1930, catalogue Philips de l'Omnium Electrique, Musée Ultimheat)

Connue depuis 1860 avec les travaux du chimiste Britannique Joseph Wilson Swan, c'est en 1879 que la fibre de carbone connut sa première utilisation commerciale, lorsque Thomas Edison en produisit à partir de fibres de bambou, pour réaliser des ampoules électriques à incandescence.

Le carbone, sous forme d'électrodes en graphite, fut aussi largement utilisé dans les projecteurs cinématographiques et les fours industriels.

Les filaments de carbone furent utilisés sur les lampes à incandescence jusqu'au milieu des années 1930, avant d'être progressivement remplacés par des lampes à filament de tungstène apparues vers 1910.

La fabrication de faisceaux de fibres de carbone pour des usages industriels demanda une période d'une quinzaine d'années de mise au point des techniques de production ce n'est qu'à partir des années 1970 que l'utilisation de ces fibres prit son envol. Elle permit le développement des stratifiés composites fibre de carbones et résines, qui restent son premier débouché, mais aussi celui des conducteurs électriques résistifs.

Les premières couvertures chauffantes basse tension à élément chauffant en fibre de carbone apparurent vers 2008.

Variable selon le processus de fabrication, la fibre de carbone a une résistivité variant de $900\mu\Omega.cm$ à $1650\mu\Omega.cm$ (Ce qui explique les différences de résistivité entre fabricants). Cette résistivité est environ 10 fois supérieure au nickel chrome 80/20 ($112\mu\Omega.cm$). Son coefficient de température est proche de zéro.

Les conducteurs en carbone sont pour la plupart réalisés par carbonisation à $1000^{\circ}C$ de filaments de viscose ou de polyacronitrile (PAN). Le diamètre courant des filaments est de 7 microns. Avant carbonisation, ils sont regroupés dans des fils comportant de 1000 à 48000 filaments. La désignation de ces fils est réalisée par la lettre K précédée d'un chiffre donnant le nombre de milliers de filaments (1K, 3K, 6K, 12K, 24K, 36K, 48K) ; La résistance du conducteur en Ohms par mètre est inversement proportionnelle au nombre de filaments, et varie de 500 Ohms par mètre pour le 1K à 10 Ohms par mètre pour le 48K (Valeurs approximatives variables selon les constructeurs) . Bien entendu, le diamètre du câble augmente avec le nombre de filaments. Un câble de classe 3K isolé silicone fera environ 2mm de diamètre extérieur, alors qu'un câble 48K fera 5,5mm

Dans les applications en couvertures chauffantes domestiques dont les puissances sont de l'ordre de 50 à 150W, le diamètre du câble et la longueur nécessaire pour une bonne répartition de la chaleur sont des facteurs limitatifs. La flexibilité, même avec une

Histoire des éléments chauffants souples

isolation silicone, devient trop limitée lorsque l'application requiert des câbles comportant un grand nombre de filaments. Dans les applications industrielles, la forte résistance électrique en Ohms/m rend difficiles les applications dans des puissances au dessus de 300W, nécessitant des câblages d'éléments chauffants multiples en parallèle.

Pour ces raisons, les principales applications de série pour les fils souples en fibre de carbone se trouvent dans le chauffage électrique par le sol, où les valeurs habituelles requises de 200W/m² sont réalisables, et où la flexibilité et la résistance aux flexions répétées ne sont pas des paramètres critiques. La réalisation des connections est aussi un handicap, car le raccordement des fibres de carbone sur les conducteurs de liaison en cuivre sont peu aisées en raison de la fragilité des filaments qui se rompent lors de sertissage de bornes, et ne peuvent pas être soudées. Des résines conductrices chargées argent et coûteuses sont dans la plupart des cas nécessaires pour réaliser ces connections.

Comme le carbone n'a pas d'action autorégulante, il est aussi nécessaire de prévoir, lors de son utilisation en chauffage, un système de limitation de température.

Dans ces applications, la fibre de carbone est aussi parfois produite sous forme de feutre, sous forme de ruban, ainsi que sous forme de filaments introduits lors de la fabrication des tissus.

La dernière édition de la norme IEC 60335-2-17 de 2012 sur les couvertures chauffantes prévoit expressément le carbone comme élément chauffant, sous forme de fils conducteurs ou de textile électro-conducteur.



2019 Fils chauffants en fibre de carbone, avec isolation PVC, en 12K et 24K (collection Ultimheat)

Evolutions technologiques récentes des conducteurs chauffants souples.

- Rubans en polymères avec plaquage conducteur : ces rubans sont spiralés autour d'une âme en fibre de verre. Extrêmement souples, Ils permettent la réalisation de cordons de faible diamètre pouvant être incorporés dans la fabrication des tissus.
- Rubans micrométriques métalliques enroulés autour d'une âme en coton, fibre synthétique ou fibre de verre. Ils permettent, comme les précédents, la réalisation de cordons de très faible diamètre (jusqu'à 0.27mm), facilement intégrables dans des tissus (2004).
- Silicones auto régulateurs. Ces silicones comportent une charge en nanoparticules de carbone, similaire aux PE et PP (Brevet US : 6.734.250 du 17 Aout 2000 Shin Etsu chemical).
- Fibres polymères avec surface métallisée par plasma ou galvanoplastie.

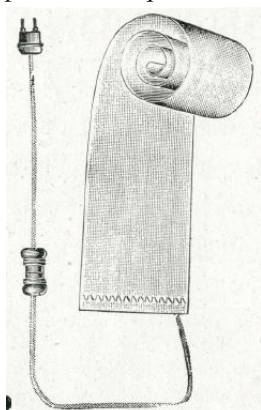
Troisième partie : Réglage et contrôle de la température

Le réglage de la puissance par interrupteurs

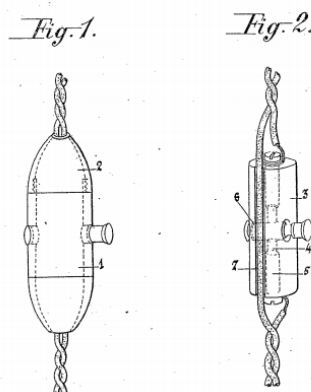
Dès le début des applications médicales des couvertures chauffantes à la fin du 19ème siècle était apparu un besoin : Celui de pouvoir régler le chauffage. La première des solutions mise en pratique fut celle consistant à utiliser plusieurs circuits chauffants, et de les connecter en fonction de la température à atteindre. Les plus anciens, en bakélite ne faisaient que connecter une ou deux résistances à l'aide d'un interrupteur en forme de poire similaire à celui utilisé pour l'éclairage.

Les premiers modèles à 3 allures de chauffe par interrupteur apparurent dans les années 1930 (Catalogue Bouchery 1933)

Les modèles les plus simples des couvertures chauffantes, y compris jusque dans les années 1960 furent même souvent dépourvus d'interrupteurs, le mode d'emploi demandant simplement de débrancher la prise lorsque le lit était chaud. La concurrence acharnée des années 1960-1970 obligea bon nombre de constructeurs à installer des interrupteurs sur le câble d'alimentation. Les interrupteurs rotatifs, permettant, outre l'arrêt, la commutation de 3 niveaux de puissance, tout en ne demandant que deux résistances chauffantes se standardisèrent. Le début des années 1970 vit le remplacement des interrupteurs rotatifs par des interrupteurs à glissière plus esthétiques.



1921 Interrupteur marche arrêt sur thermoplasme (Catalogue Fare, collection Ultimheat)

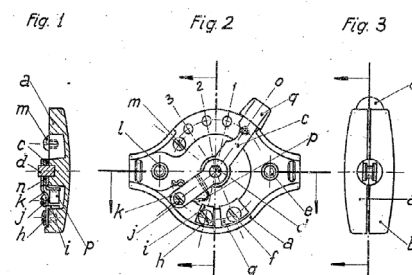


1924 Interrupteur pour fils souples (Brevet Arzens75051). En 1933 Calor développera un modèle similaire à rupture brusque

Jusqu'en 1925 Calor utilisera un interrupteur simple sur certains de ses tissus chauffants souples (Thermoplasmes, chauffe-biberons), puis passera à un interrupteur de réglage à plusieurs positions sur ses thermoplasmes.

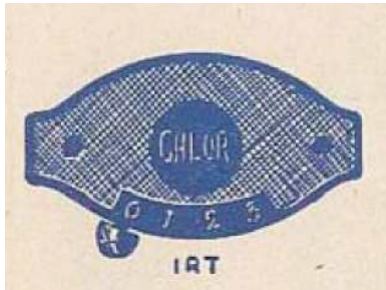


1929 Thermoplasme Calor à réglage (Publicité)



Histoire des éléments chauffants souples

En Janvier 1943, le parisien Roger Marcel Cuche inventa l'interrupteur rotatif à 5 positions dont 3 allures de chauffe, dans un design qui fut universellement utilisé sur les couvertures chauffantes pendant plus de 30 ans. La position 0 à chaque extrémité du curseur évite des erreurs de manipulation en particulier la nuit. (Brevet Français 890417A)

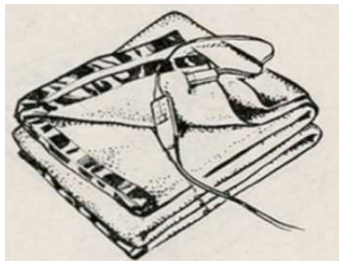


1947 Interrupteur à 4 positions de réglage pour thermoplastes, Les 4 positions deviendront ensuite 5, avec un arrêt de chaque côté pour éviter les erreurs de positionnement la nuit (Catalogue Calor pièces détachées 1947, Musée Ultimheat)



1955 ca interrupteur rotatif à 5 positions similaire au modèle Cuche, mais avec rupture brusque (Fabrication allemande L.W. Lohmann et Welschehold GmbH & Co. à Meinerzhagen) Collection Ultimheat

Les interrupteurs à glissières, à 3 ou 4 positions remplacèrent le modèle rotatif et devinrent le standard pour les couvertures chauffantes à partir des années 1970



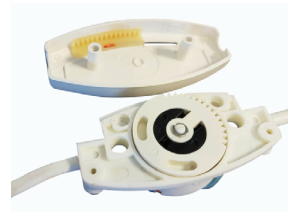
Interrupteur 3 allures à glissière (1961 Calor)



Interrupteur Calor, 3 allures et position arrêt, à glissière (collection Ultimheat, vers 1961)



Interrupteur 3 positions chauffage et 2 positions arrêt sur couverture chauffante une place. Modèle intermédiaire entre les systèmes rotatifs et les systèmes à glissière (1970 ca marque de revendeur Gitem collection Ultimheat)



Interrupteur à glissière trois position et arrêt, vers 1990 (collection Ultimheat)

Le réglage de la puissance par doseurs d'énergie

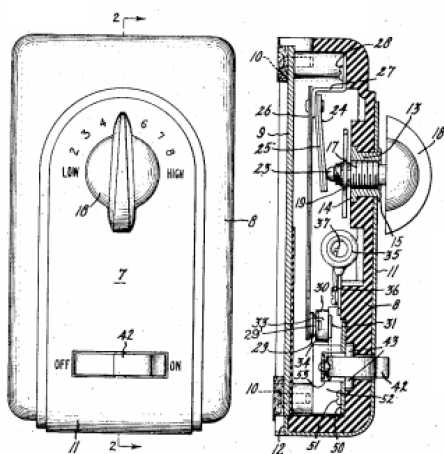
Le problème du réglage en continu de la puissance de la puissance suivit un trajet parallèle et quasi simultané à celui du réglage des plaques de cuisson électriques.

Histoire des éléments chauffants souples

Il n'existait pas de solution électrique ou électromécanique à la mesure de la température dans l'intérieur de la couverture chauffante et au report de son réglage à l'extérieur de celle-ci dans un boîtier de commande. Les premiers modèles de ce type, destinés à des plaques chauffantes électriques de cuisinières furent réalisés en Angleterre par Sunvic en Juillet 1938,

En 1942, Leonard W. Cook, de General Electric USA, alors le plus important constructeur aux USA, inventa le système de contrôle de température qui deviendra le plus courant dans les couvertures chauffantes Son brevet US 2.383.291 fut accepté en 1945.

Comme sur le doseur d'énergie de Sunvic, le système de réglage comportait un bilame chauffé par une petite résistance électrique de faible puissance (de l'ordre du watt), montée en en parallèle sur la résistance principale. Le réglage, jouant sur la distance dont le bilame devait se déformer pour actionner le contact, permettait, par des cycles de chauffage plus ou moins longs, de régler à distance la puissance de la résistance principale. Ce système offrait en plus une certaine sensibilité à la température ambiante.

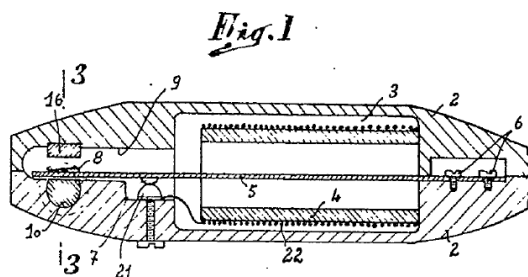


Système de réglage de la puissance des couvertures chauffantes par bilame et résistance additionnelle dans le boîtier (1942, brevet Cook)



Exclusive G-E Bedside Control—set it *once a season* —for the nightlong warmth you want. At bedtime, just turn blanket on. If room temperature changes, Control adjusts automatically! Bed (and you) stay comfortably cozy all night—every night!

1946 : Publicité de General Electric pour leur nouveau système de réglage de température

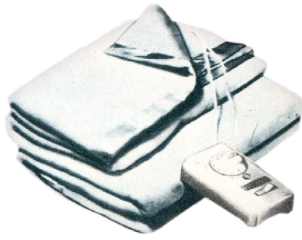


En 1954 Maurice Pierre Marchal de Tisselec, déposa un brevet d'interrupteur à bilame. Ce produit, utilisait une petite résistance en série (N°22) sur la couverture chauffante et échauffait lentement un bilame (5). Le but de cette invention était de réaliser un temporisateur thermique coupant automatiquement le chauffage après une certaine durée. Marchal passa complètement à côté du réglage progressif du chauffage, pourtant très proche de son système

Vers 1960 apparurent dans les couvertures chauffantes françaises des boîtiers de contrôle montés sur le câble d'alimentation des appareils, basés sur le système Cook de General Electric.

Airaile le nomma Variotherm et Calor le proposa dans ses appareils haut de gamme, en mettant en avant son réglage et sa sensibilité à la température ambiante

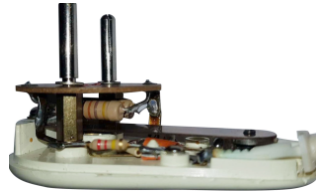
Histoire des éléments chauffants souples



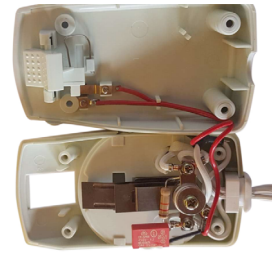
1961 Boite de contrôle « Textorêve », système General Electric USA réglable et sensible aux variations de température, mais toujours à rupture lente (Catalogue Calor 1961, musée Ultimheat)



1970 ca réglage de puissance GEC (General Electric Company, Angleterre) sur couverture chauffante anglaise. La résistance anticipatrice est clairement visible au-dessus du bimétal et du contact à rupture lente (Collection Ultimheat).



1972 ca Boitier de réglage de la puissance réalisé par Jidé à Limoges sous la marque Jidéstat. **Le plus abouti de tous les systèmes.** De très faible dimensions, il est réglable, et incorporé dans la fiche électrique. C'est le seul modèle comportant un contact à rupture brusque par aimant. Il ne sera pas surpassé par les systèmes électromécaniques développés jusqu'à nos jours. (Collection Ultimheat)



1995 : Commande américaine de couverture chauffante à doseur d'énergie semblable à celle développée plus de 50 ans auparavant par Cook en 1942. Vue extérieure et vue du bilame interne à rupture lente avec résistance anticipatrice. Seule évolution notable, ce modèle comporte un filtre antiparasite (Collection Ultimheat)

La miniaturisation des composants électroniques permet, à partir des années 1990, de réaliser des systèmes de réglage plus petits, incorporant non seulement l'interrupteur marche-arrêt, le réglage de la puissance, ou de la température, mais intégrant aussi les fonctions de mise en marche et d'arrêt temporisé



2019 Boitier de commande de couvertures chauffantes à réglage de puissance électronique continu (Collection Ultimheat)



2019 Boitier de commande de couvertures chauffantes à réglage de puissance électronique continu (Collection Ultimheat)



2019 Boitier de commande de couvertures chauffantes à réglage de température à affichage digital par une sonde à thermistance incorporée dans la zone chauffante (Collection Ultimheat)

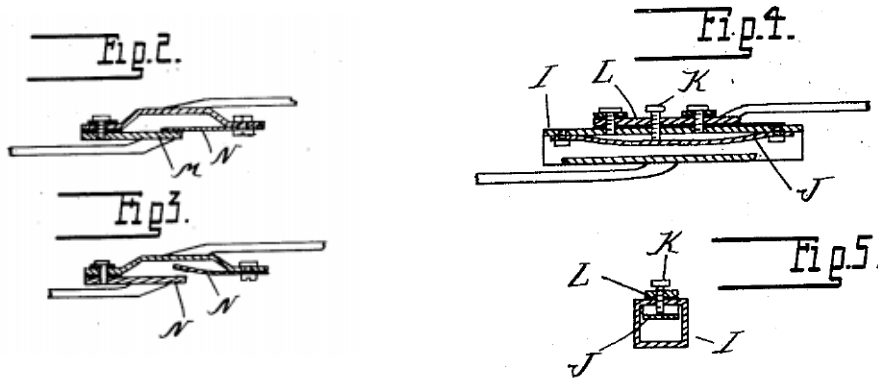
Les limiteurs de température

Le premier exemple de limiteur de température dans un élément chauffant souple est celui mis au point par Camille Hergot en 1902, consistant en une partie conductrice du courant réalisée en alliage fusible à 70°C. Cette solution provoquait la mise hors d'usage de l'appareil.

En 1912 William Hoffmann de Detroit (USA) proposa un brevet pour un circuit chauffant souple comportant deux systèmes différents de régulation : un système

Histoire des éléments chauffants souples

bimétallique, qui assurait la régulation de température, et un système d'interrupteur de sécurité actionné par la fusion d'un alliage à basse température avec lequel 2 lames sont soudées. Il semble peu probable que ce brevet ait été suivi d'une fabrication, car la conception du thermostat ne permet pas son fonctionnement correct.



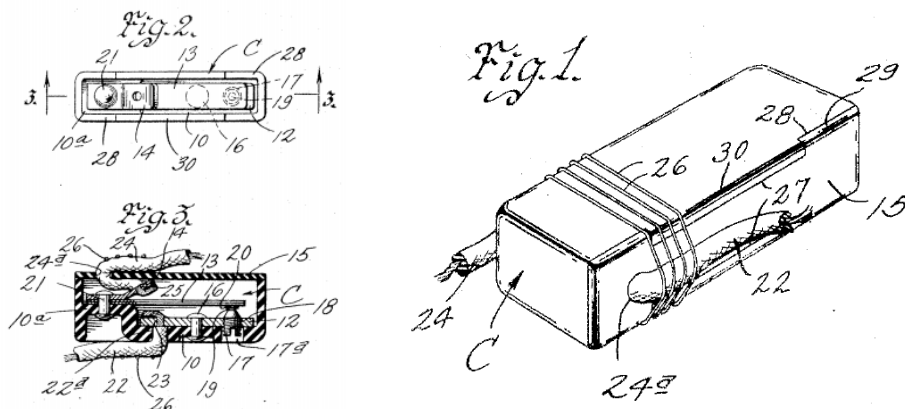
1912 Limiteur à alliage fusible Hoffmann pour couverture chauffante (brevet US 1096916). L'alliage fusible soude ensemble les lames M et N

1912 Thermostat bimétallique Hoffmann pour couverture chauffante (brevet US 1096916) J est une lame bimétallique rivetée à ses deux extrémités. Le contact électrique est censé s'ouvrir entre cette lame J se déformant lorsque la température s'élève, et la vis de réglage K

Durant les années suivantes, et jusqu'à la deuxième guerre mondiale, malgré l'existence de quelques brevets, il n'est pas fait mention dans les notices de constructeurs de limiteurs de température. Il est simplement précisé que la couverture chauffante doit être débranchée lorsque le lit est chaud, et ne doit pas fonctionner en permanence.

A partir des années 1930, le développement des techniques de fabrication des bilames aux USA permet de fabriquer des limiteurs de température de faibles dimensions. Le faible pouvoir de coupure requis dans ces applications (entre 50 et 150W) rendait leur miniaturisation possible.

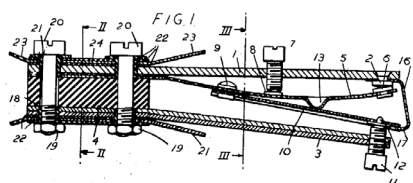
Dans les années 1955-1970 l'importance du marché (entre 300.000 et 600.000 couvertures chauffantes produites par an en France) incitèrent les ingénieurs à trouver des solutions techniques particulières.



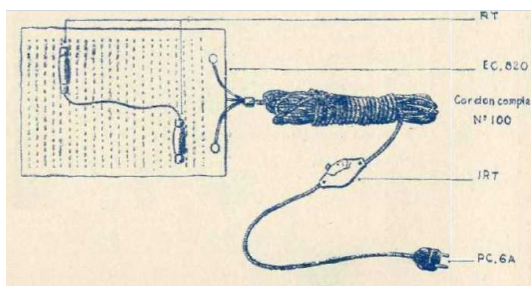
10 Novembre 1941 : Laurence Howard, à Saint Louis, dépose un brevet (US 2.328.342) pour un thermostat de couverture chauffante miniature à rupture lente et boîtier de protection, comportant un dispositif de protection contre l'arrachege des fils (pour la société Knapp Monarch de Saint Louis).

1944, L'ingénieur Sidney Arthur Singleton, pour le compte du constructeur de couvertures chauffantes Thermega Ltd à Londres développe un limiteur miniature réglable à rupture brusque pour couvertures chauffantes (1944, 3 Mai, brevet anglais 609.082, enregistré aux USA en 1948)

Histoire des éléments chauffants souples

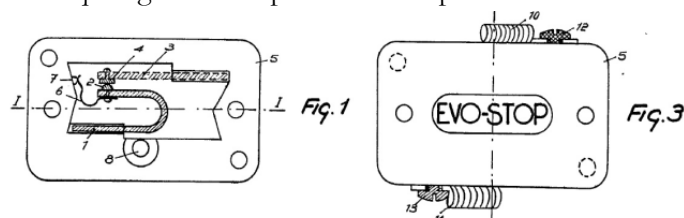


1944 Limiteur à rupture brusque Thermega pour couvertures chauffantes



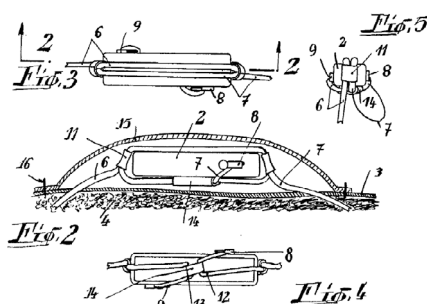
1947 Thermoplasme Calor, vue de la partie chauffante avec ses deux thermostats sous gaine de protection (RT) et son interrupteur 3 positions (IRT). (Cat Ultimheat)

Les thermostats et limiteurs de température montés dans les couvertures chauffantes furent rendus obligatoires par l'évolution de la NFC 73-147 en 1957 qui en requit au minimum deux dans les modèles utilisant des résistances classiques non-autorégulantes. Leur fonction était d'éviter la surchauffe, en particulier si la couverture (ou le thermoplasme) était utilisée repliée sur elle-même, ou si elle était recouverte par un édredon. Ces thermostats étaient sujets à une forte contrainte technique : ils devaient avoir une différentielle faible (de 1 à 2°C) afin que la couverture se remette à chauffer une fois le défaut éliminé. La conséquence de cette contrainte était l'impossibilité technique de réaliser cela avec des limiteurs à rupture brusque de petite taille. Les seuls appareils répondants à ces critères d'implantation étaient des limiteurs à rupture lente, qui combinaient une petite taille et une faible différentielle. Lorsque, vers 1955, Calor mis sur le marché ses couvertures chauffantes fabriquées sous licence américaine, ce furent donc des limiteurs à rupture lente, fonctionnant parfaitement dans le réseau 110V des USA qui furent utilisés. Protégés des poussières, de l'humidité et des particules de feutrine isolante par un petit sachet en PVC étanche, ces limiteurs avaient cependant le défaut de créer des parasites radioélectriques. Le passage progressif du 110 au 220V dans les années 1960 ne fit qu'augmenter la puissance des parasites.



En 1957 Le constructeur de thermoplasmes Maurice Georges Moïse Gervaiseau (151, avenue Georges Durand, au Mans), développa, sous la marque Evo-Stop un thermostat à bilame de faible encombrement, dans un boîtier fermé, avec contact à rupture lente améliorée pour pallier aux parasites radio-électriques, destiné spécifiquement aux couvertures chauffantes. (Brevet 1.169253)

Un autre problème posé par les limiteurs de température fut leur résistance mécanique aux tractions sur les conducteurs. En 1958 pour pallier à ce défaut, Maurice Pierre Marchal de Tisselec, proposa de faire faire un tour complet des conducteurs autour du thermostat.



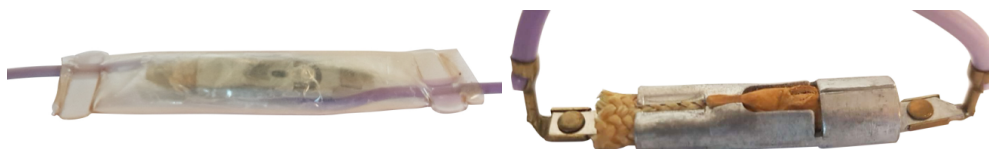
1958 Méthode de montage des limiteurs empêchant la rupture des soudures sur le thermostat (Brevet Tisselec 1.204.242)

Histoire des éléments chauffants souples

1960 Rhonéclair propose ses couvertures chauffantes avec 2 thermostats avec marquage NF-USE-APEL, ou sans thermostats et donc sans la marque NF



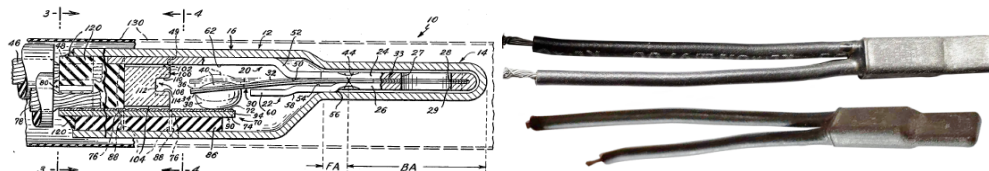
Limiteur de température de couverture chauffante à rupture lente Calor, étalonné à 80°C (vers 1960). On peut remarquer la boucle faite par les conducteurs électriques repassant par un trou dans chaque borne, afin d'éliminer les contraintes de traction sur le fil, et le manchon PVC étanche soudé sur les fils (Collection Ultimheat)



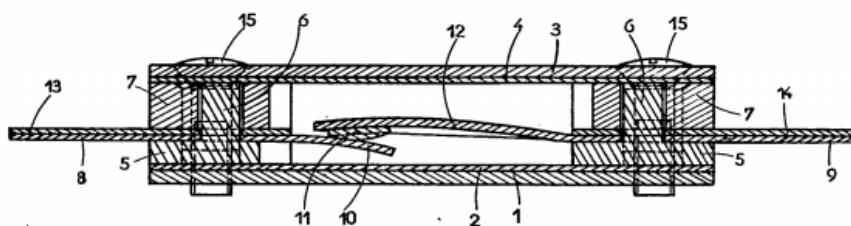
Limiteur de température de couverture chauffante, à rupture lente, utilisé conjointement avec un système de régulation de puissance anglais GEC (General Electric Company). Il est recouvert d'un manchon PVC étanche soudé sur les fils. Vers 1970 (Collection Ultimheat)

Les années 1960 à 1970 virent apparaître sur le marché de nombreux limiteurs de température miniatures à rupture brusque, (Augé et Cie et Imphy (France) ; Texas Instruments (USA) ; Portage Electric, (USA) ; Uchiya (Japon), mais leur succès fut très limité dans le domaine des couvertures chauffantes domestiques, car leurs différentielles étaient trop importantes

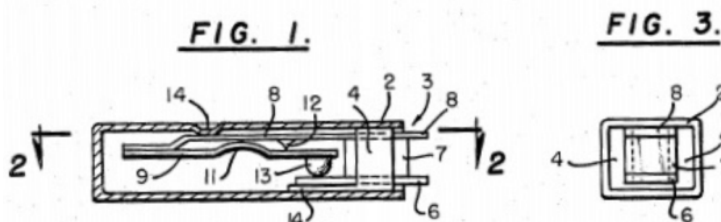
En 1959 les ingénieurs Walther H. Moku et Henri David Epstein de la société Texas instruments USA déposent un brevet (3104296) pour un thermostat à rupture brusque miniature Ce modèle sera à l'origine d'une grande lignée d'appareils de ce type : la série SL11. Mais malgré son faible encombrement, et son assemblage étanche il sera peu utilisé dans les couvertures chauffantes, et trouvera son marché dans les bobinages de moteurs



Plan du brevet 3104296 et prototype de la série SL11 (1960, Collection Ultimheat)



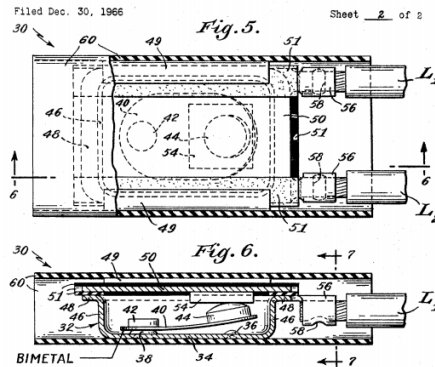
1961 bilame miniature à rupture brusque pour couvertures chauffantes, brevet conjoint Sté Auge et Cie et Imphy s.a. N°FR1296066 (France)



1963 Limiteur miniature Portage Electric à rupture brusque (brevet US 3443259). Son intérêt principal consiste dans la méthode de réglage du point de consigne par un petit embouti dans le boîtier (N°14), qui sera repris par la plupart des constructeurs.

Histoire des éléments chauffants souples

En 1966, l'ingénieur Richard T. Audette de Texas Instrument développa le limiteur de température à rupture brusque le plus simple à produire, qui fut commercialisé sous le nom de série 7AM. Ce modèle combinait à la fois la miniaturisation et de faibles différentielles. Il est maintenant fabriqué par de multiples constructeurs, y compris dans des versions étanches.



1966 Brevet de Richard T. Audette pour Texas Instrument (Brevet US 3,430,177)

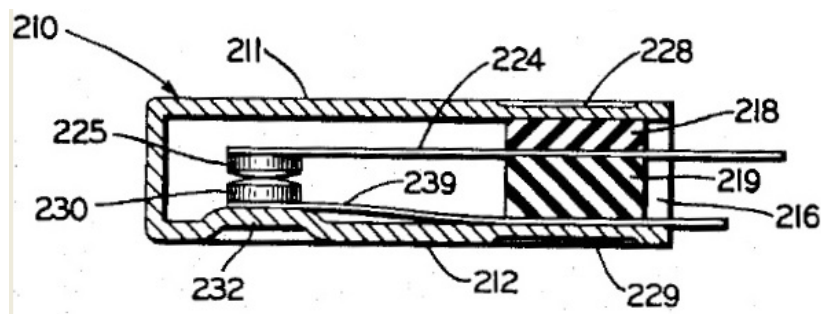


1978 Uchiya développe le limiteur miniature 8X5, (22.7x4.4x 6.8mm) à rupture brusque, pour couvertures chauffantes. Dans une version étanche, il deviendra le modèle UP32 (Catalogue Musée Ultimheat)



1980 ca Limiteur bimétallique étanche Uchiya UP32 sur couverture chauffante de la marque de distributeur Gitem. (Collection Ultimheat)

En 1964 Portage Electric développa son modèle E à rupture lente, semblable en apparence aux modèles B et C de sa gamme. Les applications en couvertures chauffantes se développant, il mit au point en 1984 un modèle spécifique pour cette application, plat, avec une borne à sertir à chaque extrémité, le modèle A1. Celui-ci fut approuvé par les UL spécifiquement pour les couvertures chauffantes en Juin 1984. Puis le modèle E, sous un nouveau design, en 1991



Modèles de thermostat Portage Electric à rupture lente, 1963 (Brevet US de Glenn Wehl N°3,223,808)



Thermostat Portage Electric type E, rupture lente, pour couvertures chauffantes (1991)



2019 Limiteur de température à rupture brusque pour couvertures chauffantes, dérivé du modèle Texas Instrument 7AM de 1966, utilisable en 230V, sous boîtier étanche plastique. Différentielle 5 à 8°C. Type V7AM. (Collection Ultimheat)