



*La Petite
Histoire du
Découpage
Sous Eau*

Par Francis Hermans

Mai 2016

Le découpage sous eau a depuis qu'il existe toujours intéressé non seulement le grand public qui se demande parfois comment il est possible de faire brûler quelque chose sous eau mais également la plupart des plongeurs-scaphandriers qui aiment pratiquer cette discipline un peu particulière.

Actuellement les plongeurs-scaphandriers ont à leur disposition divers outils et procédés pour accomplir ce genre de mission, mais comme on peut l'imaginer cela n'a pas toujours été le cas.

Je vous invite dès lors à me suivre au travers de ces quelques pages et découvrir ainsi la petite histoire de ces fabuleux outils.

Depuis que les frères John & Charles Deane inventèrent le premier casque de plongée moderne avec lequel ils allaient créer le métier de scaphandrier en 1832 nos anciens ont été confrontés à des situations au cours desquelles il leur a fallu faire usage d'outils capable de couper.

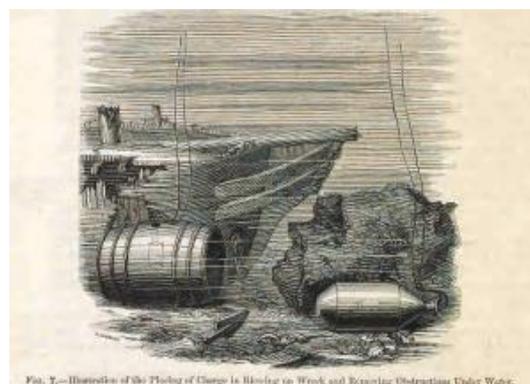
Pour ces pionniers des travaux sous-marins la panoplie n'était pas bien grande et elle se limitait généralement à un couteau, une scie, une hache ou encore à un marteau accompagné de son burin.

A l'époque une grande partie des travaux sous eau se faisait sur les épaves et consistait à en récupérer la cargaison.

Parfois, lorsque l'épave gênait la circulation elle était détruite et dans ce cas les outils utilisés n'étaient bien entendu plus ces outils à main, mais plutôt la poudre noire ou poudre à canon mise au point en 1354 par le moine Berthold Schwartz et utilisé comme explosif de déroctage à partir de 1627. Sous eau, la technique a été mise au point par le Colonel Pasley lors des travaux sur l'épave du *Royal George*. Comme ce type d'explosif déflagrant ne résistait pas à l'humidité il était nécessaire de le placer dans un container parfaitement étanche qui

pouvait être en bois ou en acier. L'allumage de la charge était généralement réalisé à l'aide de grosse batterie voltaïque.

Figure n° 1 : Démolition d'une épave en bois à l'aide de poudre noire (1)



Plus tard dès 1864 la poudre noire fut remplacée par la célèbre dynamite inventée par Mr A. Nobel.

Vers la fin du 19^{ème} siècle les choses se compliquèrent un peu pour nos amis scaphandriers avec l'apparition des premiers bateaux à coque d'acier et les structures portuaires diverses faites dans le même métal.

Les découpages à l'aide de boudins d'explosifs continuaient à être utilisés mais cette technique n'était pas toujours bien maîtrisée.

Soit on chargeait trop peu et rien n'était coupé, soit on chargeait trop et on détruisait bien plus que prévu.

Heureusement pour les petits travaux de découpage, outre le marteau / burin, les anciens disposaient maintenant de la perceuse pneumatique qui avait été inventée par Mr Simon Ingersoll en 1871 suivit un peu plus tard du burineur.

Grâce à ces deux outils ils pouvaient en réalisant une série de trous jointifs couper de petites longueurs d'acier.

C'est par exemple ce procédé qui a été utilisé sur l'épave du *H.M.S Gladiator* qui avait sombré en avril 1908 suite à une collision avec le *St Paul* (le même que nous retrouverons plus loin dans un autre article).

Photo n° 1 : *H.M.S Gladiator* avant son naufrage (2)

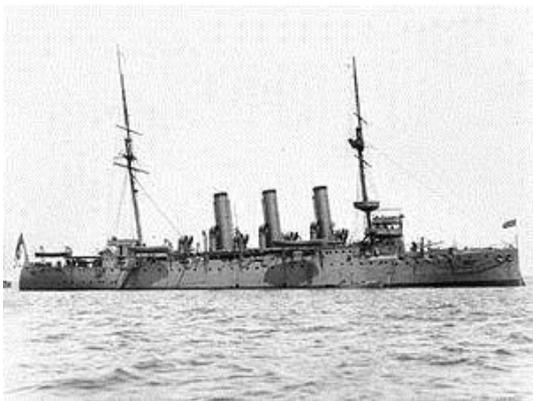


Photo n° 2 : *H.M.S Gladiator* lors de travaux de renflouement (3)



En effet, pour éviter que certaines structures ne gênent les opérations de renflouement, les canons de 15 tonnes, les 3 cheminées et les mâts ainsi que toutes les autres structures gênantes furent coupées à l'aide de burins pneumatiques.

Nul besoin de dire qu'à l'époque le découpage d'une structure en acier était particulièrement laborieux et pénible et il était nécessaire de trouver d'autres équipements plus adaptés.

Le premier outil efficace qui allait être mis à la disposition des scaphandriers en ce début de 20^{ième} siècles fut le chalumeau découpeur sous-marin, mais ce fabuleux engin qui allait révolutionner les travaux sous-marins n'aurait cependant jamais pu voir le jour sans le génie de certains hommes.

Le premier s'appelait Edmund Davy, c'était un professeur de chimie irlandais qui en 1836 découvre le C₂H₂ (acétylène) et imagine que ce gaz pourrait lorsqu'il brûle dans l'air être utilisé comme gaz d'éclairage.

Vient ensuite Henry le Chatelier un chimiste français qui en 1895 découvre que la combustion d'un mélange oxygène / acétylène génère à volume identique une flamme dont la température atteint environ 3130 °C ce qui dépasse la température de combustion des autres mélanges connus. Trois années plus tard ce même Monsieur suggère d'inventer un appareil capable d'exploiter ce mélange de gaz afin qu'il soit utilisé pour le soudage et le découpage des métaux ferreux.

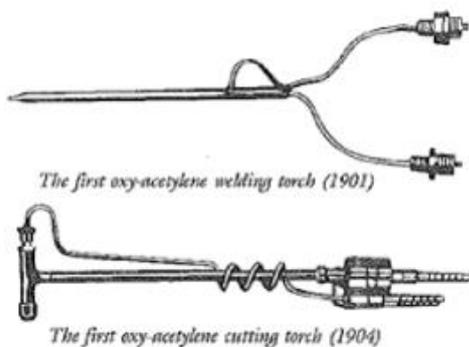
En 1896 deux autres scientifiques français George Claude et Albert Hess inventent à leur tour un procédé permettant de stocker sous pression et sans risque d'explosion de l'acétylène dans des bouteilles.

Autre personnage clé ayant favorisé cette invention : Carl von Linde un ingénieur

allemand qui en 1902 construit la première usine destinée à produire industriellement de l’oxygène et de l’azote grâce à un procédé de liquéfaction de l’air.

Et enfin last but not least, Edmond Fouché et Charles Picard qui en 1902 invente le premier chalumeau oxyacétylénique destiné à souder les métaux (Brevet n° 325 403, déposé le 18 octobre 1902) suivi ensuite en 1904 par le premier chalumeau découpeur.

Figure n° 2 : Les premiers chalumeaux oxyacétyléniques soudeurs et découpeurs (4)



Evidemment, cette nouvelle invention allait rapidement faire le tour du monde et de nombreux pays vont acheter les droits de ce brevet pour eux aussi fabriquer cet outil. Malheureusement pour nos travailleurs sous-marins en dépit de la mise en œuvre rapide de cet engin de découpage sur les chantiers de démolition à l’air libre, il a malgré tout fallu attendre jusqu’en 1909 pour qu’on s’intéresse à lui pour les travaux sous eau et qu’on commence à le mariniser. Auparavant on avait déjà tenté de le faire brûler sous eau mais la flamme s’éteignait constamment à cause des turbulences engendrées par le flot de bulles de gaz résiduels.

Comment donc faire pour y remédier ? Pourquoi ne pas faire brûler la flamme du chalumeau dans une bulle d’air l’isolant du contact de l’eau. Il semblerait que cette

idée a germé plus ou moins en même temps dans la tête de deux personnes.

Celle de Charles Picard qui bosse pour l’usine d’acétylène dissous de Champigny et l’autre, celle de l’ingénieur A. Heckt de l’entreprise allemande der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks und Hütten-A-G. Cette dernière prend cependant une petite longueur d’avance sur les français car dès 1909 l’entreprise achète 4 brevets allemands grâce auxquels elle va pouvoir fabriquer le tout premier chalumeau découpeur sous-marin (5).

Photo n° 3 : Premier chalumeau découpeur sous-marin (6)

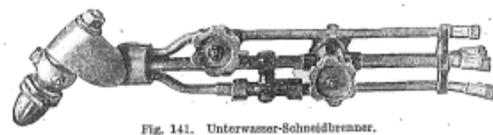
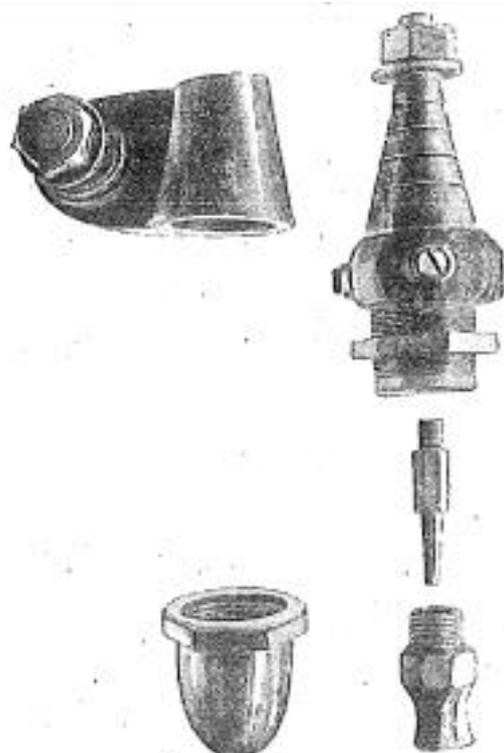


Photo n° 4 : Détail coiffe (7)



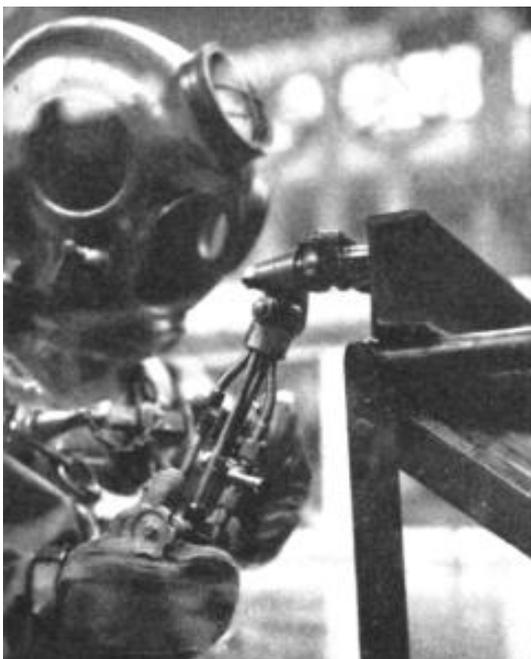
Pour protéger la flamme de son chalumeau notre ingénieur invente une espèce de coiffe caréné qui entoure le bec du chalumeau dans lequel est envoyé l'air comprimé.

Comme gaz de découpage outre le mélange oxyacétylénique il utilise également très rapidement un mélange oxyhydrique (oxygène / hydrogène).

Les premiers essais sont effectués dans une cuve équipée de hublots en présence de nombreux ingénieurs et représentants du département du Canal de l'Empereur Guillaume et à cette occasion un scaphandrier découpe au chalumeau oxyhydrique un fer plat de 100 x 20 mm (8).

A une autre occasion un scaphandrier descend à 5 mètres de profondeur dans le port de Kiel et y découpe un fer carré de 60 mm en trente secondes suivi ensuite d'une tôle de 300 x 20 mm qu'il parvient à découper en 90 secondes (9).

Photo n° 5 : Scaphandrier allemand avec son découpeur (10)



Dès 1914 ce chalumeau allemand commence à être utilisé pour découper des palplanches, des pièces de constructions métalliques, des morceaux d'épaves et d'après les écrits les vitesses de découpage peuvent atteindre 1,45 mètre de palplanche à l'heure tandis que les épaisseurs susceptibles d'être découpée avec ce premier outil peuvent atteindre les 150 millimètres (11).

Photo n° 6 : Découpage palplanches 1914 (12)



En 1915 un second chalumeau allemand fait son apparition, celui de W. BRUSCH & W. F. J. BEYER mais apparemment des problèmes d'extinction semble exister car quelques mois plus tard nos deux inventeurs mettent au point un système d'allumage électrique dont le courant est délivré par un petit transformateur portatif qui vu son poids sert également de lest.

Figure n° 3 : Brevet chalumeau W.
BRUSCH & W. F. J. BEYER (13)

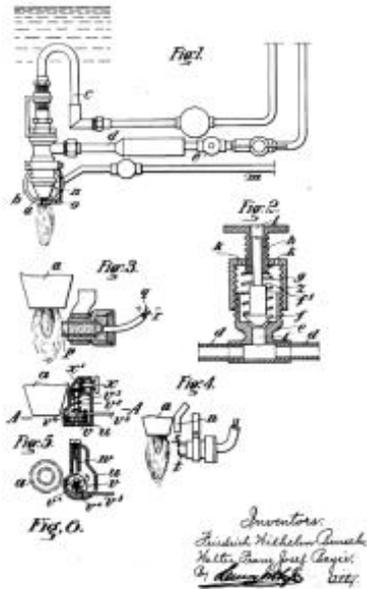
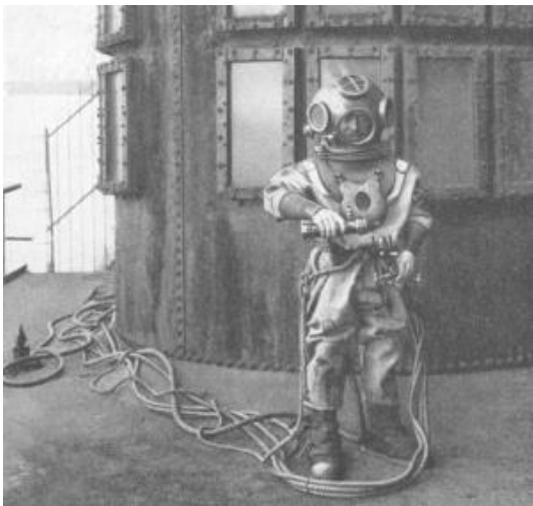


Photo n° 7 : Scaphandrier tenant son transformateur portatif (14)



En 1932 un nouveau chalumeau fait son apparition c'est celui du berlinois Monsieur H. Töpper. La particularité de cet appareil est que la flamme de chauffe n'est non pas alimentée avec un gaz combustible mais au contraire avec un combustible liquide usuel tel que l'essence, le benzol ou autre.

Ce combustible liquide est envoyé au chalumeau par l'intermédiaire d'une bouteille d'air ou azote comprimé où il va être réchauffé et ensuite vaporisé grâce une résistance chauffante qui est incorporée dans le corps du découpeur.

Photo n° 8 : Chalumeau Töpper (15)

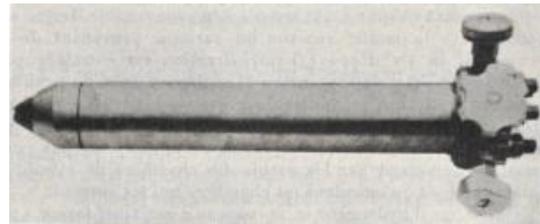


Photo n° 9 : Détail chalumeau Töpper (15)

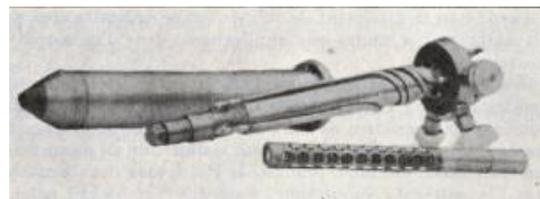
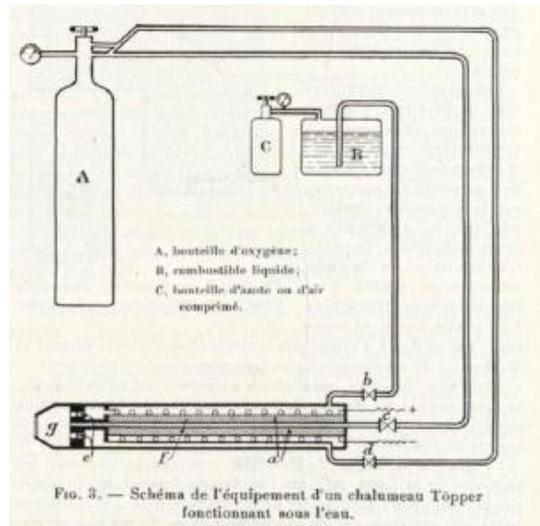


Figure n° 4 : Schéma installation (15)



A l'aide de ce chalumeau le scaphandrier pouvait en fonction de l'épaisseur (10 – 40 mm) découper une tôle d'acier de 1 mètre entre 160 et 220 secondes (16).

Un an plus tard c'est au tour de Messer Griesheim d'arriver sur le marché avec son découpeur sous-marin. Celui-ci a été développé pour pouvoir être utilisé sur des épaves gisant jusqu'à 60 mètres de profondeur.

Photo n° 10 : Chalumeau Messer Griesheim (17)



Le principe de fonctionnement est plus ou moins identique à celui de son prédécesseur, c'est - à - dire que l'essence qui ne peut être détendue est amené jusqu'au bec du chalumeau par l'intermédiaire d'azote comprimé où elle est ensuite pulvérisée dans l'oxygène.

Le corps du chalumeau est composé de 3 vannes servant à l'alimentation de l'oxygène de coupe, à celle de l'oxygène de chauffe ainsi que pour le mélange azote - essence.

Photo n° 11 : Chalumeau à essence Messer Griesheim (18)



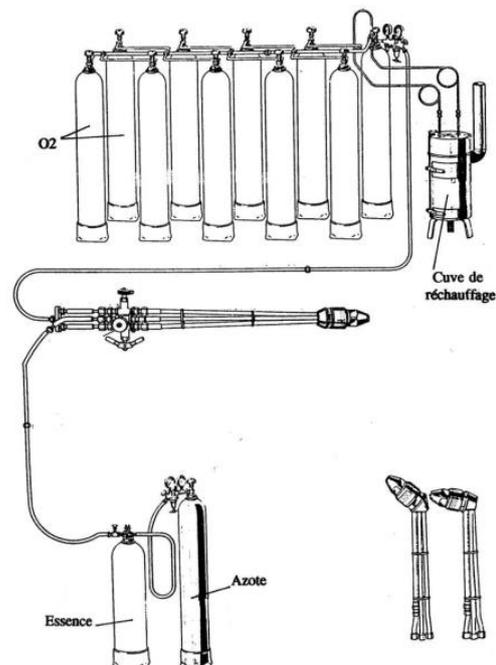
Trois tubes amènent ensuite les gaz et le liquide à la tête du chalumeau.

Les tubes, de même que la tête du chalumeau sont interchangeables permettant ainsi d'obtenir une inclinaison différente du bec, ce qui facilite la manipulation de l'outil en fonction du travail de découpe.

Un des gros avantages de ce chalumeau c'est qu'il n'a plus de cloche d'air, celle - ci a été remplacée par une chambre de combustion (voir Picard H7) ce qui permet dès lors s'il y a un peu de visibilité de mieux distinguer la coupe.

Dès sa mise en service les performances de cet appareil sont telles qu'il va rapidement devenir le plus performant du marché car en fonction de l'épaisseur à découper (10 mm à 100 mm) il peut atteindre une vitesse de coupe comprise entre 30 m et 6 mètres à l'heure (19).

Figure n° 5 : Détails installation Messer Griesheim (20)



Pour le commun des plongeurs professionnels contemporains, ces vitesses de découpage sont assez inimaginable pourtant lors d'un découpage réalisé à Paris durant les années septante, j'ai été le témoin de la prestation d'un vieux scaphandrier hollandais qui à l'aide de ce chalumeau parvenait à découper entre 145 et 160 mètres de palplanches en six heures de plongée.

Pour arriver à un tel rendement le chalumeau avait besoin d'utiliser une pression d'oxygène élevée ce qui en période de froid avait tendance à provoquer le givrage du gaz.

Pour éviter ce phénomène, le constructeur avait prévu de faire passer le circuit d'oxygène au travers d'un réservoir d'eau réchauffée à environ 40 °C.

Très utilisé durant les années 40 - 45 pour le découpage de nombreuses épaves, son emploi a ensuite diminué très fortement car en dépit de ses performances élevée ce chalumeau avait aussi quelques inconvénients sérieux dont notamment le niveau sonore.

En effet, le bruit généré par la combustion de la flamme était comparable à celui générée par un jet et devait largement dépasser les 100 décibels.

Deuxièmement comme avec tous les chalumeaux, la flamme ne consommait pas entièrement le gaz ou dans le cas présent le liquide combustible, résultat de l'essence avait tendance à remonter en surface avec comme conséquence la pollution du milieu ambiant.

L'ensemble de cet équipement était assez laborieux à mettre en œuvre et pouvait devenir dangereux si toutes les règles de sécurité n'étaient pas respectées et enfin ce chalumeau consommait beaucoup d'essence (25 – 40 litres / heure) et de ce fait il est devenu de moins en moins

rentable à cause de la hausse des prix du carburant.

L'approche française fut par contre différente. Eux aussi avaient compris que pour empêcher l'extinction de la flamme il fallait l'isoler du contact de l'eau mais plutôt que d'utiliser une cloche carénée comme celle utilisée par les allemands, Monsieur C. Picard va plutôt utiliser une cloche évasée. En 1912 son chalumeau sous-marin appelé « l'oxy-secator » fonctionnant avec un mélange oxyacétylénique apparaît pour la première fois en France (21).

Figure n° 6 : schéma oxy-secator (21)



Comme on peut le voir sur le schéma la tête de son chalumeau était équipée d'une cloche dans laquelle arrive deux petits conduits diamétralement opposés par lesquels de l'air comprimé est envoyé et qui a pour but de chasser l'eau de la cloche ainsi que de la zone de métal qui doit être découpée. Autour de sa périphérie la cloche était également équipée de 3 petits guides destinés à garder une distance constante entre la flamme et l'acier.

Pour réaliser la mise au point de son engin il organise dès 1912 une série de plongées mais celles-ci allaient malheureusement être interrompue à cause de la guerre.

Finalement, le chalumeau est prêt et le 10 juin 1917 une démonstration de découpage est organisée devant quelques personnalités et ce jour-là un scaphandrier parvint à découper sous 1,5 mètre d'eau une tôle d'acier de 400 mm de longueur et de 40 mm d'épaisseur (22).

La littérature ne stipule malheureusement pas le temps mis pour réaliser cette découpe, mais il semble que le chalumeau fonctionnait correctement car dès la fin de la guerre divers « oxy-secator » sont mis en service pour aider à l'enlèvement du cuirassée anglais de 5750 T *H.M.S Vindictive* qui avait été sabordé le 10 mai 1918 pour embouteiller le port d'Ostende. Avant le sabordage et afin de compliquer un éventuel relevage par l'ennemi, l'équipage du cuirassé avait rempli les cales et les doubles fonds de sacs de ciment qui une fois immergé allaient bien entendu durcir et être très difficile à retirer. Et ce fut effectivement le cas non pas pour les allemands mais plutôt pour l'entreprise anglaise « Liverpool Salvage Association » à qui on avait confié les travaux.

Photo n° 12 : *H.M.S Vindictive* (23)



Ceux-ci débutèrent l'été suivant sous la direction du capitaine Young qui avait déjà une bonne expérience de ce genre de travaux.

Un des premiers travaux qui allait être confié aux pieds-lourds était l'enlèvement de ces sacs et donc pour y arriver certaines parois devaient être découpées à l'aide de l'oxy-secator afin de pouvoir démolir cette couche de béton (24).

Celle-ci se fit à l'aide de burineurs pneumatiques et de petites charges d'explosifs.

Après cela, une trentaine de tunnels furent lancés sous l'épave afin d'y passer les câbles de relevage qui devaient être fixés aux divers pontons et flotteurs.

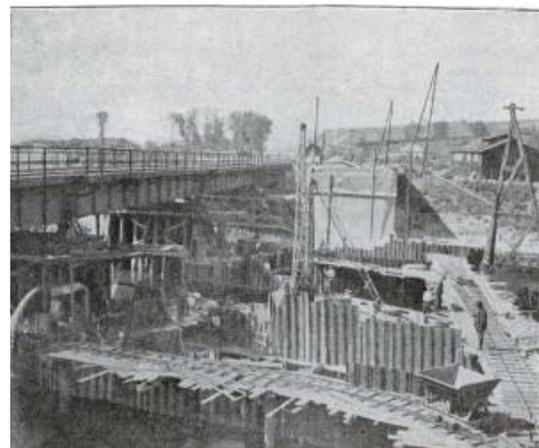
Toute l'opération fut menée de main de maître et le chantier se termina avec succès le 16 octobre 1919.

Comme il s'agissait d'une entreprise anglaise il y a fort à parier que des scaphandriers britanniques eurent l'occasion de se servir de ce chalumeau.

On retrouve ensuite l'oxy-secator quelques mois plus tard en 1920 sur un chantier de recépage de palplanches à Theux sur la Meuse (25). Dans la région de nombreux ouvrages d'art avaient subi de graves dégradations voire même des destructions complètes à cause de la guerre et donc pour pouvoir les restaurer correctement tout veillant à ce que les ouvriers aient les pieds au sec des rideaux de palplanches devaient être battus autour de l'ouvrage.

Photo n° 13 : Chantier du pont de Theux(26)

Fig. 5. — Pont de THEUX (Vue des batardoux côté rive gauche).

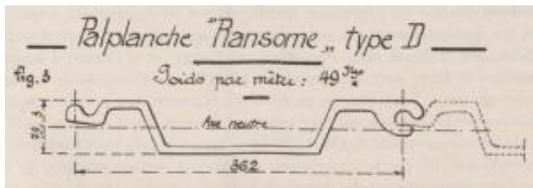


Dans ce genre de réfection, après les travaux et dans la mesure du possible les palplanches étaient arrachées mais en fonction de la configuration du sous-sol cela n'était pas toujours possible et dans ce

cas la seule solution restante était le découpage sous eau.

A Theux, c'était donc ce type de travail qui avait été confié à notre travailleur sous-marin car un certain nombre de palplanche « Ransome » type D étaient complètement bloquées.

Figure n° 7 : Configuration palplanche « Ransome » (27)



D'après un rapport de l'époque, notre chalumiste réussit à découper les plats sans trop de difficultés mais à cause de l'encombrement de la cloche de son chalumeau, les agrafes ainsi que les angles rentrant des palplanches n'avaient pas pu être sectionnés entièrement ce qui avait nécessité le craquage du rideau.

Le problème avec ce premier chalumeau était qu'à cause du volume intérieur de la cloche une quantité assez importante d'air comprimée était nécessaire pour la maintenir à sec. Celui-ci était fourni à la pression de 5 bars par un compresseur mais à cause de la contre-pression exercée par la bulle d'air le chalumeau vibrait fortement en émettant un sifflement strident et il était assez difficile à le maintenir en appui sur le métal.

De plus, tout comme le chalumeau allemand, la flamme avait tendance à s'éteindre fréquemment.

Heureusement pour contrer cet inconvénient, Mr Corné de la direction des recherches scientifiques et industrielles et des inventions avait mis au point un système d'allumage sous eau sous la forme d'un tube en laiton dans lequel était

comprimé un mélange réactif qui s'enflammait spontanément au contact de l'eau permettant ainsi le rallumage du chalumeau.

Photo n° 14 : Oxy-secator muni de son système d'allumage Corné (28)

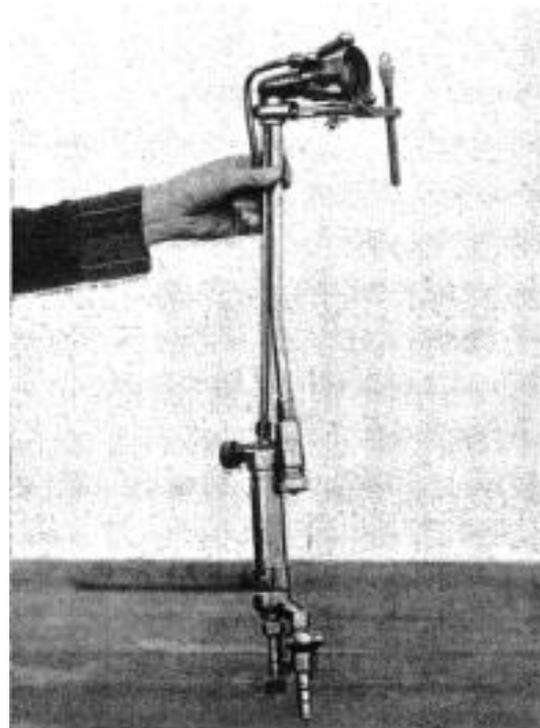


Fig. 1. — Chalumeau armé de l'allumeur sous-marin Corné.

En 1922 Monsieur Picard qui travaillait maintenant pour l'Air Liquide se rend avec un scaphandrier à l'exposition Coloniale de Marseille pour y présenter un autre type de chalumeau sous-marin sur lequel la cloche d'air a été supprimée et remplacée par une chambre de combustion qui élimine l'utilisation de l'air comprimé.

En effet sur ce nouveau dispositif l'extrémité de la buse comportant la flamme de chauffe et le jet d'oxygène central débouchent au fond d'une petite cuvette qui a pour rôle, grâce aux produits de la combustion qui ne cessent de la remplir et d'en déborder, de refouler continuellement l'eau des abords de

l'orifices et de découvrir en même temps la surface de la pièce à découper.

Dans une cuve de plongée équipée d'un grand hublot le scaphandrier Pouliquen équipé d'un équipement respiratoire Maurice Frenzel fait plusieurs démonstrations de découpage de plaques d'acier sous le regard étonné des visiteurs de l'exposition.

Photo n° 15 : plongée de démonstration à Marseille (29)

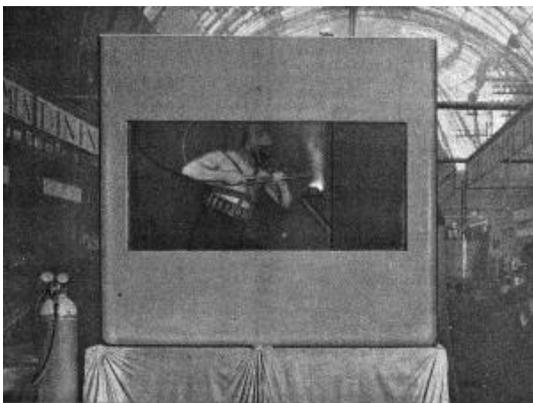
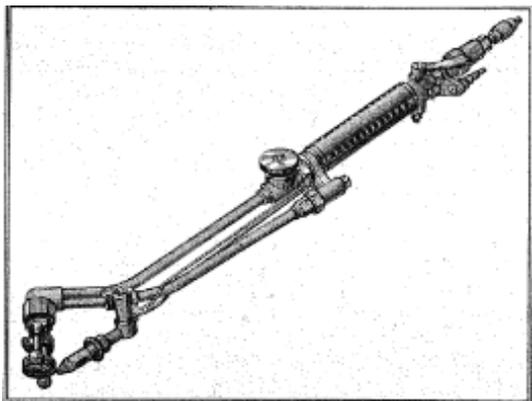


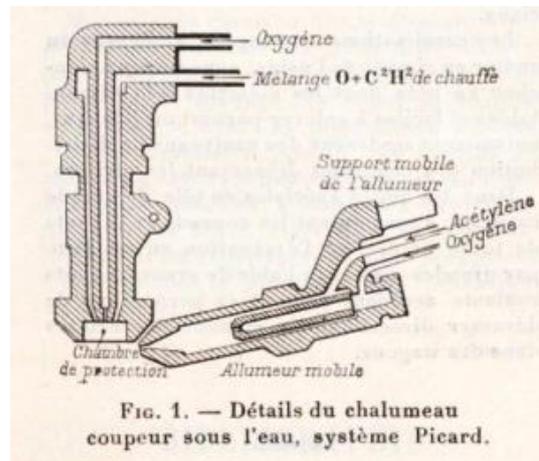
Fig. 1. — Expériences de découpage de l'acier sous l'eau au moyen du chalumeau.

Figure n° 7 : chalumeau Picard AD-8 (30)



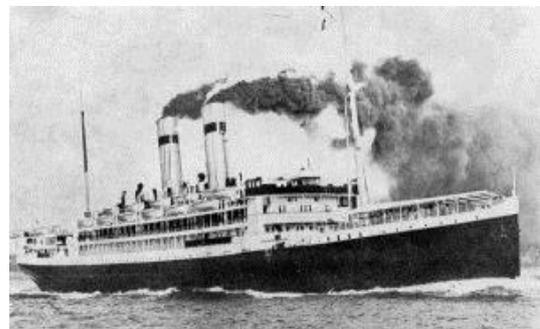
Afin de faciliter l'allumage sous eau, l'utilisation du système Corné est maintenant remplacée par une petite veilleuse qui brûle de manière continue à proximité immédiate du bec principal.

Figure n° 8 : Détails chambre de combustion et veilleuse (31)



Les premiers essais pratiques de ce nouveau chalumeau vont se faire sur l'épave du paquebot hollandais *Tubantia* qui avait été torpillé le 16 mars 1916 par le sous-marin allemand *UB13*.

Photo n° 16 : Le paquebot *Tubantia* (32)



Le bateau gisait par 33 mètres de fond à quelques 55 miles au large d'Ostende dans une zone de navigation fort fréquentée sujette à de fort courant.

Les essais démarrèrent à la fin d'avril 1924 avec une équipe composée de six scaphandriers (5 anglais et 1 français) mais très rapidement ce fut un fiasco (33).

Le chalumeau brûlait bien à cette profondeur, mais la flamme ne parvenait pas à amener la tôle à la température d'ignition. Pour tenter d'y parvenir l'équipe de surface tara au maximum les

manodétendeurs afin d'augmenter la pression en sortie de chalumeau, mais ce qui devait arriver arriva.

Une formidable explosion se produisit entraînant l'éclatement sur toute leur longueur des flexibles d'alimentation et provoquant également en surface la mise à feu du manomètre d'acétylène.

Que c'était-il passé ? Rien de bien surprenant si ce n'est que ce nouveau chalumeau fonctionnait tout comme son prédécesseur avec un mélange oxyacétylénique. Or il faut savoir que l'acétylène ne peut s'il n'est pas dissous dans de l'acétone être comprimé au-dessus de 1,5 bars. Passé cette pression, le gaz se décompose très rapidement en carbone et en hydrogène et explose spontanément. Autrement dit, ce type de mélange ne peut être utilisé en toute sécurité qu'à des profondeurs inférieures à 10 mètres.

Heureusement, cet incident n'eut aucune conséquence fâcheuse, mais l'utilisation du chalumeau fut arrêtée et le découpage se fit à l'aide d'un autre procédé qui sera décrit plus loin.

Photo n° 17 : Le cuirassé *Liberté* (34)

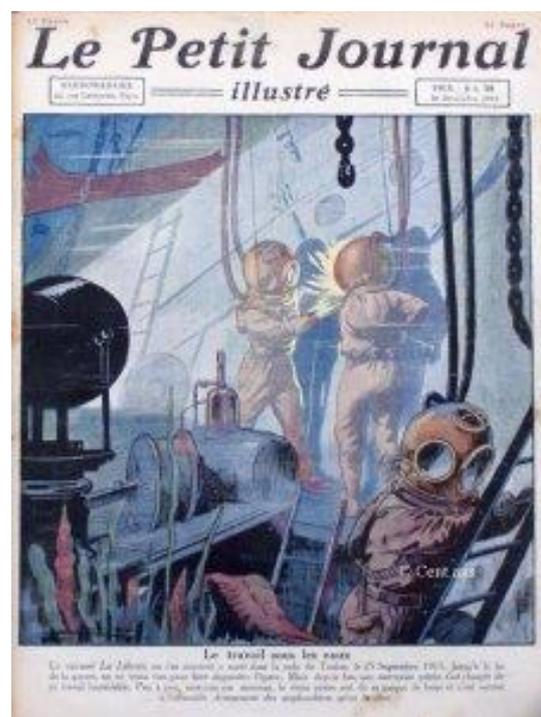


Ce premier échec (qui ne mettait pas en cause le chalumeau) n'empêchât pas l'emploi de celui-ci sur des chantiers moins profonds comme par exemple pour le renflouement du cuirassé de 15000 Tonnes *Liberté* qui suite à un incendie avait explosé dans le port de Toulon le 25

septembre 1911 en tuant pas moins 110 personnes et en blessant 236 autres.

La méthode mise en œuvre pour le relevage était celle préconisée par Mr SIDENSNER ancien ingénieur en chef de la marine russe qui avait à son actif le renflouement par air comprimé du cuirassé *Impératrice-Marie* coulé en rade de Sébastopol en 1917 (35).

Figure n° 9 : Illustration travaux sur la *Liberté* (36)



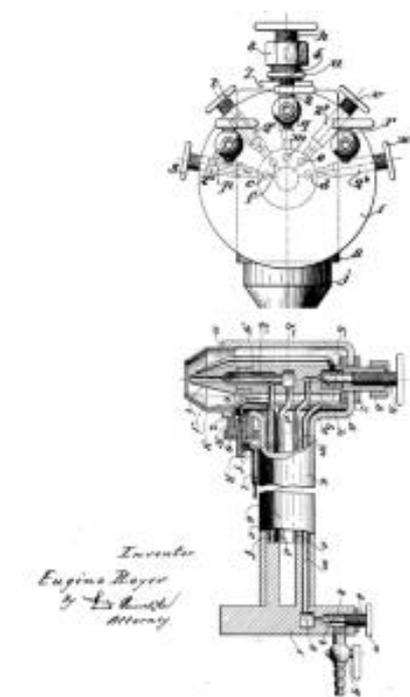
Donc à Toulon les travaux consistaient à injecter de l'air comprimé dans les compartiments qui n'étaient pas trop endommagé ainsi qu'à mettre en place tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'épave de gros flotteurs afin d'atteindre une flottabilité suffisante permettant de déplacer le cuirassé vers son lieu de démantèlement.

Nul besoin de dire que l'ensemble de ces travaux qui allaient durer près de 40 mois nécessiterent la présence de nombreux scaphandriers dont plusieurs chalumistes.

En effet, entre juin et novembre 1924 trois nouveaux chalumeaux Picard avaient été mis en service sur ce chantier durant lesquels pas moins de 500 heures de découpage divers furent prestés à des profondeurs comprises entre 3 et 7 mètres, donc loin de la pression critique de l'acétylène (37).

Sur ce même chantier, un autre chalumeau sous-marin fit son apparition. C'était celui de l'ingénieur Royer directeur de la S.A. du Chalumeau Eugène Royer, de Lyon qui en 1922 avait fait une demande pour breveter un chalumeau oxyacétylénique fonctionnant sous eau.

Figure n° 10 : Brevet chalumeau Royer (38)



L'ensemble de son chalumeau se composait d'un tube en laiton d'environ 50 cm de longueur équipé à l'une de ces extrémités, de 4 raccords destinés à recevoir les flexibles d'alimentation et de l'autre côté la tête du chalumeau.

Comme on peut le voir sur le schéma de la figure n° 10, la flamme était protégée du

contact de l'eau par une chasse d'air qui entourait le porte bec.

Le chalumeau Royer était également pourvu d'un système permettant l'allumage électrique sous eau provoqué par un courant de rupture et autre particularité, il est équipé de deux galets qui facilitaient le déplacement de l'outil de découpage sur la tôle.

Bien que ce chalumeau n'avait que très récemment été mis sur le marché, il semble cependant qu'il avait rapidement prouvé son efficacité grâce à quelques démonstrations organisées dans les ports de Marseille, Lorient, la Ciotat et Brest ainsi qu'au siège de la société à Lyon.

Les performances de découpage de cet outil étaient (semble-t-il) assez élevée puisque son constructeur annonçait des vitesses de coupe de l'ordre de 12 à 15 mètres par heure. Il n'était dès lors pas étonnant que le scaphandrier attiré de la maison Royer (probablement Mr Thudot) fut demandé en assistance sur le chantier pour terminer sous eau le découpage d'une ouverture de 60 mètres de longueur dans un passage très étroit.

Environ 45 mètres avait pu être découpé avec des chalumeaux ordinaires à l'abri de quelques batardeaux provisoires mais les derniers 15 mètres ne pouvaient se faire que sous eau.

Des essais préalables avaient été effectués à l'aide de forages jointifs réalisés à la perceuse pneumatique, mais en l'espace de 6 heures de plongée seul 0,8 m avait été coupé.

Notre scaphandrier avait lui par la suite coupé cette bande de 15 mètres (soit 30 m de coupe) de longueur en seulement 14 heures (39).

Comme on peut l'imaginer quelques petits « ponts » incorrectement brûlés empêchèrent la tôle de tomber dans le

fond, mais elle put sans problème être « arrachée » à l'aide d'une grue de 25 Tonnes.

Grâce à tous ces spécialistes, les travaux de renflouement se terminèrent en février 1925 et malgré les conditions de travail extrêmement difficile, aucun accident grave ne fut à déplorer au sein de la communauté des travailleurs sous-marins. Seul quelques-uns d'entre eux avaient dû subir les effets (peu agréables) de quelques explosions de gaz résiduels piégé dans des espaces clos.

Pour la petite histoire on peut également signaler l'attaque sur ce chantier d'un poulpe qui en décembre 1923 se jeta sur le scaphandrier Jean Negri et l'enserra si fort avec ses tentacules que celui-ci du remonter en surface où ses assistants ont dû faire usage de haches pour en venir à bout (40).

Après ce prestigieux renflouement la presse se fit un peu plus avare en information concernant l'emploi de ces chalumeaux et ce probablement à cause du fait qu'ils faisaient maintenant partie de l'outillage de base des scaphandriers et que leur utilisation devenait de plus en plus courante.

Pourtant, en France les scaphandriers chalumistes étaient confrontés à un problème de taille : la limitation en profondeur de leur prestation de découpage.

A l'inverse de ceux utilisés dans d'autres pays, leurs chalumeaux n'étaient dans les années vingt équipé que d'une buse adapté au mélange oxyacétylénique ce qui nous l'avons dit était dangereux dès que la profondeur de 10 mètres était dépassée. Donc nul doute qu'à cette époque pour certains chantiers plus profonds les entreprises de plongée se pourvoyaient de chalumeau provenant de l'étranger et qui

eux utilisait un autre gaz de découpage : l'hydrogène.

Au point de vue calorifique, la température d'une flamme oxyhydrique est environ 430 degrés moins élevée que celle de l'oxygène - acétylène mais les propriétés de l'hydrogène font que ce gaz n'est pas limité en profondeur.

Il fallait donc que les fabricants français adaptent leur outil s'ils ne voulaient pas perdre une partie importante de la clientèle spécialisée dans les travaux sous-marins.

Mr. Picard fût le premier à réagir et en 1936 il met au point son tout nouveau chalumeau le « Picard H7 ».

Celui-ci est testé à Toulon entre le 1 et le 20 mars de cette même année jusqu'à la profondeur de 38,6 m (41) et suite au succès de ces essais le H7 est commercialisé dès l'été de cette année-là.

Il s'agit à nouveau d'un chalumeau équipé d'une buse de combustion et bien qu'il soit alimenté par trois flexibles, un pour l'oxygène de coupe, un pour l'oxygène de chauffe et un pour le gaz combustible ce chalumeau ne comporte plus que de 2 vannes.

Photo n° 18: Chalumeau Picard H7 (42)



Une vanne quart de tour qui s'ouvre à fond et assure l'arrivée de l'oxygène de chauffe et du gaz combustible dans la buse de mélange et une vanne circulaire pour l'oxygène de coupe.

De même que sur le modèle antérieur ce chalumeau possède lui aussi une petite veilleuse mobile permettant d'allumer à volonté cet appareil dans eau.

Le gros avantage de ce nouveau PICARD par rapport à tous les autres chalumeaux sous-marins existant est dû au fait que désormais le scaphandrier n'a plus à se préoccuper du réglage des pressions car celui-ci se fait automatiquement en fonction de la profondeur via un tableau de réglage automatique qui reste en surface (43).

Figure n° 11 : Schéma tableau de réglage automatique (44)

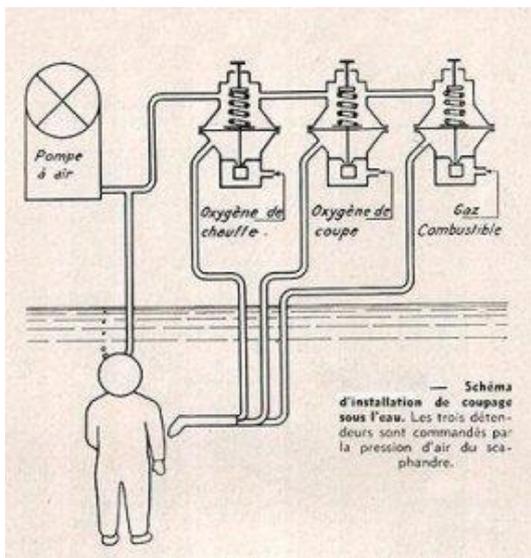


Photo n° 19: Tableau de réglage automatique (45)

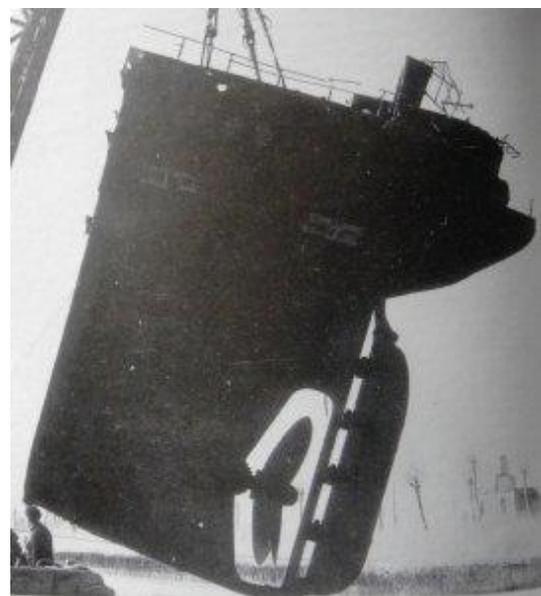


Evidemment, ce nouveau modèle va vite être adopté par une grande partie de la corporation française et étrangère et au cours des 4 décennies qui suivent il va être

utilisé avec succès en découpant notamment les très nombreuses épaves coulées pendant la Seconde Guerre mondiale.

La dextérité de nos anciens était sans pareil. Les coupes réalisées dans les pièces qui remontaient en surface étaient souvent si parfaite et rectiligne que le morceau aurait pu être ressoudé sans usinage particulier.

Photo n° 20 : Remontée d'un morceau d'épave découpé au Picard (46)



En dehors des travaux en mer le H7 était également beaucoup utilisé par les scaphandriers TP pour notamment après la seconde guerre mondiale réaliser le recépage sous eau des rideaux de palplanche qui avaient servi de batardeaux pour la restauration ou la construction de nouvelle pile de pont.

Pourtant, pour ces scaphandriers des travaux publics deux petits problèmes allaient rapidement apparaître.

Comme cité plus haut, le Picard H7 fonctionnait avec un mélange oxygène / hydrogène et pour que le chalumeau marchait correctement les proportions du mélange de ces gaz devaient être d'environ

1 volume d'oxygène pour 3 volumes d'hydrogène ce qui donnait si on utilisait le chalumeau à 10 mètres de profondeur une consommation horaire d'environ 7 m³ d'oxygène et 23 m³ d'hydrogène soit une consommation d'environ 180 m³ de gaz de chauffe sur une journée de six heures de plongée.

A cela, il fallait encore ajouter environ 57 m³ pour l'oxygène de coupe.

Cela signifiait donc que les équipes qui travaillaient à terre devaient se déplacer avec un nombre impressionnant de bouteilles de gaz.

Encore une fois L'air Liquide résolu le problème en modifiant la buse de mélange de son chalumeau.

Les 22 petits trous d'échappement des gaz du H7 furent réduits à 12 avec pour résultat que dès les années 50 les scaphandriers allaient pouvoir utiliser le Picard (P9) avec du gaz propane (et plus tard avec d'autre gaz à base d'hydrocarbure) pour lesquelles les proportions d'utilisation étaient égales à 1 volume d'oxygène pour 0,3 volume de propane ce qui réduisait du même coup la manipulation de bouteilles.

L'autre petit problème rencontré par les scaphandriers des travaux public était dû à la longueur du chalumeau.

En effet, il était parfois difficile dans certaine configuration de rideau de palplanches de découper celles-ci d'un seul trait et il fallait constamment modifier la position du chalumeau.

Pour remédier à cela de nombreuses entreprises avaient rapidement résolu le problème en supprimant eux même le manche du chalumeau (et parfois même plus) ce qui non seulement le raccourcissait mais le rendait en même temps un peu plus léger.

Photo n° 21 : Résultat de quelques transformations réalisées en entreprise (47)



A peu près à cette époque, fin quarante début cinquante (date introuvable) un autre chalumeau français arrive sur le marché : le CHARLEDAVE.

Photo n° 22 : Chalumeau oxy-propane Charledave (48)

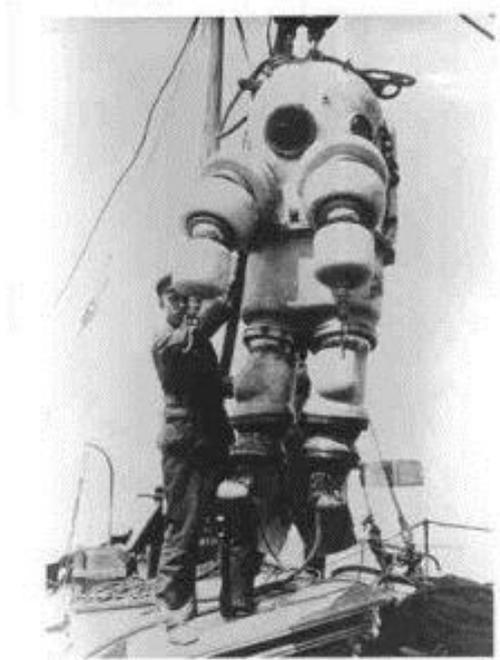


Equipé de quatre vannes, ce chalumeau oxy-propane utilisait le principe de la bulle d'air pour éviter l'extinction de la flamme. Il était selon ses utilisateurs assez difficile à régler mais une fois fait, le chalumeau découpait parfaitement.

Concernant le « Royer » assez bizarrement il ne fait plus parler de lui après les travaux sur la *Liberté* et aucune photo n'est semble-t-il disponible.

En 1939 son inventeur intentât un procès auprès de la cour de Rennes contre la SORIMA, car son chalumeau oxyacétylénique aurait été utilisé par l'entreprise italienne lors des travaux de récupération de la cargaison d'or sur l'*Egypt* qui durèrent de 1930 à 1932 et de ce fait il espérait toucher 10% des valeurs recouvrées soit environ 9.200.000 francs de l'époque (49).

Photo n° 23 : Scaphandre Neufeldt-Kunhke (50)



Quand on sait que cette épave gisait à quelques 127 mètres de profondeur cela peut nous laisser septique surtout si comme monsieur Royer le prétend il avait fonctionné à l'acétylène.

Autre fait en défaveur de cette affirmation c'est qu'à cause de la profondeur toutes les plongées sur cette épave avaient été effectuées avec un scaphandre rigide Neufeldt-Kunhke équipé de bras articulé et on peut dès lors avoir du mal à imaginer qu'un tel scaphandre puisse tenir et guider un chalumeau sous-marin.

Sur cette épave 5 ponts avaient effectivement dû être découpé pour arriver à la chambre forte mais les découpes avaient d'après la firme italienne exclusivement été réalisées à l'aide de boudins d'explosifs (51).

Aujourd'hui, plus aucun chalumeau sous-marin n'est fabriqué en France seul une buse de combustion à monter sur un chalumeau de surface Pyrocopt est encore disponible.

Photo n° 24: Chalumeau Pyrocopt équipé d'une buse de combustion (52)

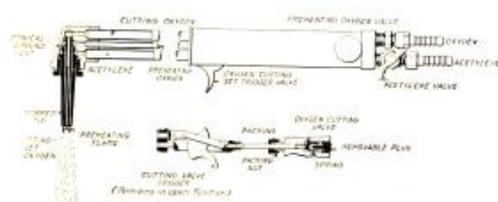


Aux Etats-Unis la fabrication du premier chalumeau sous – marin revient à Eugène Bournonville.

Celui-ci reçut en 1904 deux chalumeaux soudeur d'Edmond Fouché qu'il allait utiliser pour réparer certaines de ses machines.

En 1905 Il s'intéresse également au brevet déposé aux USA par le Belge Félix Jottrand sur un modèle de chalumeau qui utilisait un jet d'oxygène pur pour découper l'acier (53) et dès 1906 Bournonville commença à fabriquer ses propres chalumeaux sous la dénomination AIRCO.

Figure n° 12 : Chalumeau de surface Davis Bournonville (54)



Vers 1916 en se fondant sur le chalumeau sous-marin allemand il mit au point une coiffe qui pouvait être adapté sur son chalumeau découpeur de surface.

Lors d'un essai de découpage avec ce chalumeau oxyacétylénique réalisé à 6,6 mètres de profondeur au chantier naval de la marine des Etat - Unis dans le Puget Sound à Bremerton un scaphandrier a pu

réaliser une coupe circulaire de 48 cm en 6 minutes (55).

Figure n° 13 : Schéma de la coiffe du 1er chalumeau découpeur sous-marin Bournonville (Airco) (56)

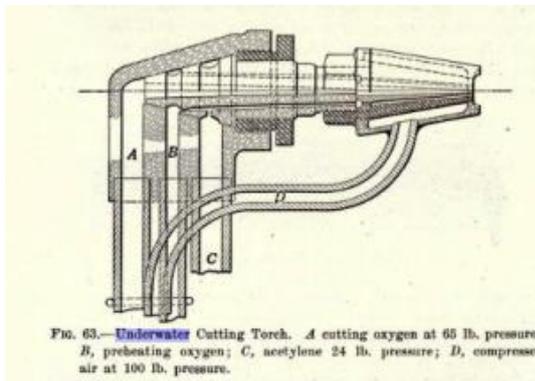
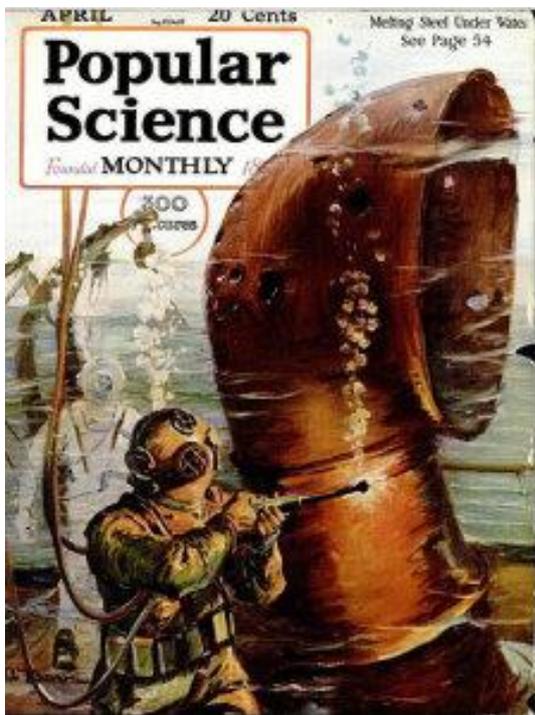


Figure n° 14 : Scaphandrier utilisant un chalumeau oxyacétylénique en 1919



Par la suite entre 1917 et 1922 d'autres fabricants américains adaptèrent également leur chalumeau découpeur au milieu sous-marin.

Photo n° 25 : Chalumeau Schrader (aucun renseignement disponible) (57)



Une des premières sociétés qui commença à faire usage de cet outil (sans en préciser la marque) fut l'entreprise New-yorkaise Meritt - Chapman & Scott.

Leurs scaphandriers l'utilisaient pour faire de petits travaux comme par exemple le dégagement d'hélice, puis en 1918 un des premiers gros chantiers au cours duquel on fit mention de l'utilisation du chalumeau sous-marin fut le renflouement du navire *S.S. St Paul* qui avait accidentellement chaviré dans le port de New-York le 25 avril de cette même année (58).

Photo n° 26 : Le *S.S. St Paul* dans le port de New York (59)



Pour une raison inconnue le bateau c'était en quelques minutes couché sur son flanc bâbord et gisait maintenant sur un lit de vase molle.

Afin de pouvoir le renflouer par pompage les scaphandriers allaient devoir obturer près de 500 ouvertures en tous genres, évacuer les quelque 2000 T de vase qui c'étaient accumulé dans l'épave et découper des ouvertures Ø 450 mm dans chacune des cloisons de cale afin que le

niveau d'eau puisse rester équilibré lors du pompage.

Vint ensuite le fonçage à la lance d'incendie de 6 tunnels sous la coque pour y tirer les élingues de relevage, ce qui ne fut apparemment pas un travail facile pour les scaphandriers car il leur faudra près d'une semaine de travail par tunnel.

Pour redresser le navire l'entreprise installa sur sa coque tribord une série de 21 charpentes métalliques en forme de A qui devait servir de bras de levier.

Figure n° 15 : Mise en place des charpentes métalliques (60)



La séquence de redressement va durer près d'une semaine.

Elle sera suivie de quelques heures de pompage et finalement 28 septembre 1918 le bateau refit surface.

D'autres interventions du même ordre auront lieu sans que les chalumeaux n'évoluent dans leur conception puis en 1925 c'est la catastrophe pour la Marine Américaine.

Durant la nuit du 25 septembre, un de leurs sous-marins le *S-51* est éperonné en surface par le paquebot *S.S City of Rome* et coule en moins d'une minute.

10 hommes parviennent à sauter à l'eau parmi lesquels seul 3 seront sauvés.

Le lendemain après-midi soit une quinzaine d'heures après la collision une première équipe de scaphandriers de la marine arrive sur place et plonge

immédiatement sur l'épave qui git par 39 mètres de fond.

Photo n° 27 : Descente d'un scaphandrier de l'USN (61)



Malheureusement malgré leurs coups répétés sur la coque aucun signal en retour ne sera perçu. Les 23 sous-mariniens encore à bord sont déclarés morts.

Dès l'annonce de l'accident deux grosses bigues d'une entreprise privée, le *Monarch* et le *Century* sont mobilisée et envoyée sur les lieux du sinistre en même temps que le sous-marin *S-50*.

Photo n° 28 : Les 2 bigues au cours de leur tentative de relevage (62)



Une fois sur place, le Capitaine Davis qui est en charge de l'opération fait installer un flexible d'air dans la brèche par lequel le *S-50* pompe de l'air en continu avec le

mince espoir que celui-ci puisse se confiner dans un espace clos et ainsi alléger l'épave.

En même temps deux câbles d'acier sont passés non sans difficulté sous l'arrière du sous-marin et le 30 septembre une tentative de levage est tentée, mais malgré les quelque 400 Tonnes de traction combinée l'épave ne bouge pas d'un iota.

Les scaphandriers sont à nouveaux envoyés au fond pour percer de petits trous à l'aide de leur torche dans les parties hautes du sous-marin afin de vérifier la présence de poches d'air.

Mais le résultat est négatif aucune bulle ne sort des trous, ce qui en clair signifie que les moyens de levage mis en œuvre sont insuffisants pour lever cette masse de près de 1000 tonnes.

Suite à cet échec les travaux seront interrompus jusqu'au 16 octobre (63).

La seconde phase des travaux est confiée au capitaine Ernest King et au commandant Edward Ellsberg.

Pour réaliser ce travail, ce dernier a préparé le plan de sauvetage suivant :

Huit pontons submersibles seraient coulés par paires de chaque côté du sous-marin et relié entre eux par de grosses chaînes passant sous l'épave.

Une fois rempli avec de l'air comprimé ils donneraient une force de levage de 640 tonnes.

La flottabilité supplémentaire proviendrait de la mise en air des 4 compartiments encore en bon état du S-51.

En l'occurrence un plan assez simple mais qui nécessita tout de même 7 mois de travail effectif pour être mené à son terme.

Cela était dû en partie au fait qu'à l'époque les scaphandriers de la marine américaine manquaient d'expérience et seul quelques-uns avaient été formés pour travailler à cette profondeur.

Ils étaient certes très aquatiques mais ceux qui étaient vraiment capables de travailler sous eau ne couraient pas les rues (64).

D'autre part, lorsqu'il avait persuadé ses supérieurs qu'il était capable de réussir ce renflouement Ellsberg était persuadé que le chalumeau sous-marin préparé par le laboratoire de la marine allait lui être d'un grand secours, malheureusement il n'en fut rien.

Pour fabriquer leur propre chalumeau, le laboratoire s'était basé sur ce qui avait été fait en France et en Allemagne mais dès sa mise en œuvre sur le chantier notre Commandant se rendit compte qu'il n'était pas du tout fiable.

En effet, lors d'une des premières plongées de mise en place d'un caisson une fausse manœuvre avait été faite et pour pouvoir débloquent celui-ci un câble d'acier de 25 mm devait être coupé. Normalement en surface, cette découpe aurait pris quelques secondes mais sur le fond cela avait demandé pas moins de 40 minutes de travail et six bouteilles de gaz à George Anderson le jeune scaphandrier de l'équipe pour sectionner ce câble (65).

Photo n° 29 : Cdt Ellsberg avec son découpeur s-m (66)



Les travaux furent interrompus le 7 décembre à cause du mauvais temps et le Cdt Ellsberg profita dès lors de ces trois mois de standby pour suivre une formation accélérée de plongée tandis qu'en même temps il entreprit de faire quelques modifications sur le chalumeau existant de manière à le rendre plus performant.

En testant celui qui avait été utilisé en mer il se rendit immédiatement compte que la flamme n'était pas assez chaude et pensait que cela provenait de l'hydrogène qui comme signalé ailleurs avait une température plus basse que celle de l'acétylène.

Sachant que l'acétylène ne pouvait de toute façon pas être utilisé à cette profondeur il tente alors de faire des essais avec d'autres gaz mais là aussi il déchanté.

Résultat retour à la case départ et réutilisation de l'hydrogène. C'était donc bien sur le chalumeau qu'il fallait travailler et non sur le gaz combustible.

Mais la mise au point de celui-ci ne fut pas sans risque.

Ainsi, un jour il se dit que ce serait bien d'essayer un chalumeau avec une grosse buse de mélange. Jim Frazer, un de ses scaphandriers testeurs se mit à l'eau et alluma le chalumeau.

Celui-ci brula correctement pendant quelques secondes puis tout d'un coup la flamme sembla être aspirée dans le chalumeau et s'éteignit.

Frazer regarda son engin sans comprendre ce qui c'était passé, mais tout d'un coup il sentit que sa main le brûlait et par réflexe jeta le chalumeau loin de lui. Juste à temps car celui-ci explosa dans la cuve.

Ellsberg comprit qu'il devait revenir à un bec mélangeur plus petit.

Des essais en mer suivirent ceux en cuve et petit à petit le nouvel outil se perfectionna.

Photo n° 30: Le Cdt Ellsberg durant une séance de test (67)



Pourtant un problème subsistait.

Pour obtenir une flamme de chauffe correcte il fallait envoyer dans la buse mélangeuse un dosage correct des divers gaz et cela le scaphandrier ne pouvait le faire qu'en ajustant avant l'allumage la longueur de la bulle de chaque gaz de manière à obtenir les valeurs suivantes :

- longueur de la bulle d'air : 7,6 cm
- longueur de la bulle d'hydrogène : 7,6 cm
- longueur de l'oxygène de chauffe : 6,3 cm

Inutile de dire que la mise au point était assez laborieuse.

Notre concepteur imagina dès lors un système assez simple mais efficace qui allait permettre grâce à une barre de réglage amovible que le scaphandrier devait placer devant le bec de facilement ajuster la longueur des bulles de gaz (68).

Les séances de tests se suivaient et petit à petit le chalumeau découpait de mieux en

mieux mais un dernier problème subsistait : il s'éteignait encore assez souvent.

Ellsberg comprit que cela provenait probablement de la bulle d'air.

Il termina sa mise au point en modifiant le trajet de la bulle d'air de manière à ce que son flux soit maintenant parallèle à la flamme et non plus transversal et apparemment la modification porta ses fruits car l'extinction inopinée du chalumeau diminuait sensiblement.

Finalement après plusieurs semaines de mise au point laborieuse Jim réussit au cours d'un dernier test en mer à découper une grosse plaque de 4,2 m en 10 minutes, ça y est le chalumeau sous-marin était prêt juste à temps pour la reprise de travaux.

Photo n°31: Le scaphandrier J.R. Kelley avec le chalumeau Ellsberg (69)



Grâce à son outil, les chalumistes allaient maintenant pouvoir enlever les divers éléments qui gênaient et réaliser le découpage des nombreux événements en partie bas du sous-marin qui devaient avoir pour but d'assurer l'évacuation de l'eau lors du gonflage des compartiments étanches.

Photo n° 32 : Les scaphandriers Francis Smith et Jim Frazer (70)



Outre la mise au point du chalumeau sous-marin un autre outil fort intéressant pour les scaphandriers fut inventé sur ce chantier.

En effet, pour relier les pontons entre eux, divers tunnels devaient être lancés sous l'épave du S-51. Malheureusement pour nos scaphandriers le terrain sur lequel reposait le sous-marin était constitué d'argile extrêmement dure et donc très difficile à percer. Les premiers passages furent réalisés à l'aide d'un flexible de 2,5'' (Ø 65) équipé d'une lance à eau classique comme celle utilisée par les sapeurs-pompier. Mais le problème, et cela chaque plongeur-scaphandrier le sait, c'est qu'avec ce système la pression d'utilisation ne pouvait pas être fort élevée car autrement il était impossible de tenir en place. Conséquence, le premier tunnel prit pratiquement 6 semaines pour être réalisé ce qui était évidemment beaucoup trop long.

Un des marins US, le mécano Waldren eut alors une idée de génie et fabriqua pour les gars qui travaillaient au fond de l'eau, une tête de lance à eau qui en plus du gros trou central comportait également un peu plus en retrait cinq trous plus petits forés radialement ce qui allait avoir pour effet d'annuler la réaction de la lance mais aussi de d'augmenter la surface d'effritement dans l'argile.

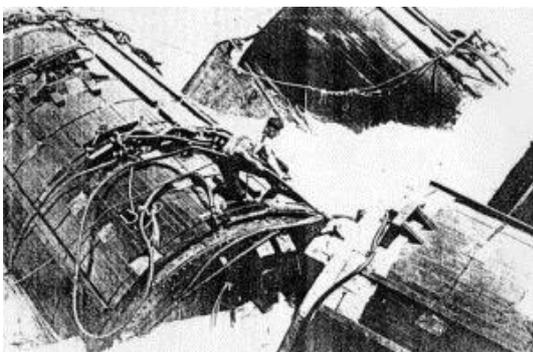
Grâce à cette invention le fonçage des tunnels pouvait maintenant se faire en plus ou moins deux jours.

Photo n° 33 : La lance réalisée par le mécano Waldren (71)



Une première tentative de renflouement eut lieu le 22 juin mais à cause du mauvais temps l'équipe fut obligée à redescendre le tout sur le fond.

Photo n° 34 : Mise au clair par le scaphandrier Wickwire des flexibles et ouverture des vannes pour ré-immérer l'épave (72)



Finalement, les travaux se terminèrent avec succès le 5 juillet 1926 et le sous-marin fut remorqué vers une des cales sèches de la marine.

Photo n° 35 : Remorquage du S-51 (73)



Peu après son invention, la firme Craftsweld Equipment Corporation se mit à fabriquer le chalumeau d'Ellsberg et durant de nombreuses années en plus de la vente de ce chalumeau elle mit en même temps à disposition partout dans le monde des équipes complètes de scaphandriers découpeurs (74).

Photo n° 36 : Ier chalumeau découpeur sous-marin fabriqué par la firme Craftsweld (75)



C'était d'ailleurs peut-être une telle équipe qui en 1937 avait battu un record de découpage lors de la construction du N.Y.C Marine Parkway Bridge. Sur ce chantier, les scaphandriers avaient réussi à

découper à 9 mètres de profondeur pas moins de 2118 palplanches (14 batardeaux) en l'espace de 40 jours, soit une moyenne de pratiquement 53 palplanches / jour ce qui on le conçoit n'était pas mal (76).

Vu l'augmentation de ces marchés de travaux de découpage sous eau les divers autres constructeurs américains allaient également fabriquer leur torche de découpage en se basant sur ce qui a été conçu par le Cdt E. Ellsberg et donc contrairement à certains chalumeaux Européens (français et allemand) tous ces chalumeaux américains allaient rester fidèle à l'emploi de la mini cloche à air.

Figure n° 16 : Détail configuration chalumeau Américain (77)

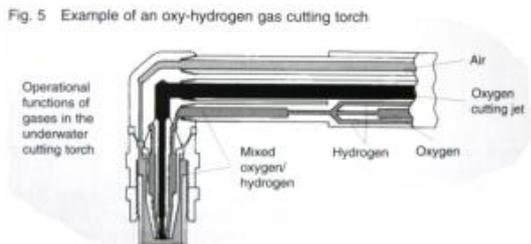


Photo n° 37 : Quelques modèles de chalumeaux Américains (78)

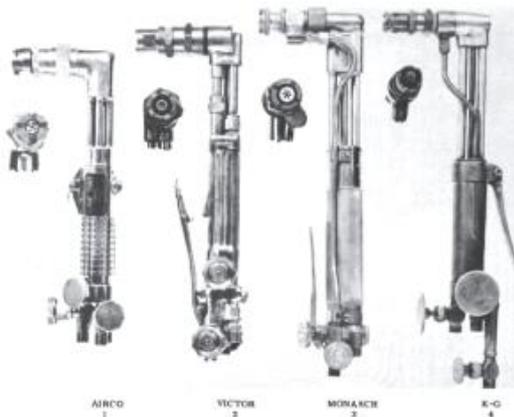


Photo n°38: Chalumeau Airco (79)



Photo n° 39: Chalumeau Monarch (80)



Photo n° 40: Chalumeau Victor (81)



Photo n° 41 : Chalumeau KG (82)



Tous ces chalumeaux ont été intensément utilisés à Pearl Harbor et ailleurs pour le découpage des épaves gisant dans les ports mais apparemment les scaphandriers de l'US Navy n'en étaient pas pleinement satisfaits.

Pour eux ils étaient non seulement mal adaptés aux travaux dans les épaves et parfois difficile à mettre en œuvre, mais surtout fort dangereux à utiliser à l'intérieur des épaves.

En effet, il faut se rappeler que tous ces chalumeaux (à l'exception du Picard) nécessitaient s'ils devaient être allumés sous eau un prééclage à froid et donc une partie plus ou moins importante de gaz imbrulé et hautement explosif s'échappait du chalumeau et pouvait se trouver piégée dans l'un ou l'autre espace clos.

Dès lors pour ce genre de travaux la Marine Américaine a commencé à remplacer le découpage oxyhydrique par le découpage à l'oxy-arc dès 1942.

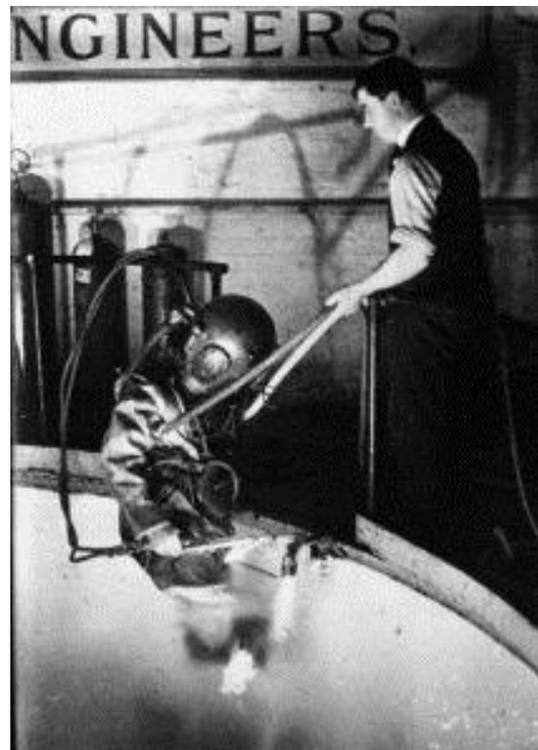
Les scaphandriers des travaux publics ont eux continué à utiliser le chalumeau sous-marin jusqu'au milieu des années cinquante puis comme un peu partout dans le monde ceux-ci ont progressivement été remplacé par le découpage à l'arc.

Suite au déclin de ce type de découpage, la majorité des fabricants américains ont cessé leur production au cours des années 80.

Et chez nos collègues anglais ? Il est difficile de dire qui a fabriqué le premier chalumeau découpeur sous-marin en Angleterre. Ce qui est certain c'est qu'en 1919 deux chalumeaux sous-marins oxyacétyléniques arrivent au Royaume Uni suite au rachat par l'entreprise Maritimes Salvors LTD de New Haven de 2 bateaux de sauvetage le *Restorer* et le *Reliant* à la Marine américaine. La marque de ces chalumeaux n'est pas précisée mais ils faisaient partie de l'équipement et outillage vendu avec les bateaux (83).

Au début des années vingt, Siebe Gorman entreprend la conception d'un chalumeau sous-marin et pour ce faire la firme décide d'en tester plusieurs. Le AD-8, Picard de la deuxième génération est ainsi testé en novembre 1924.

Photo n° 42: test de découpage du Picard 2ième génération AD-8 dans la cuve Siebe



Gorman en 1924 (84)

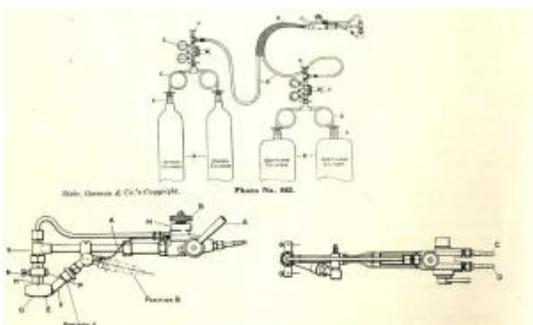
Photo n° 43: test de découpage du Picard 2ième génération AD-8 dans la cuve Siebe Gorman en 1924 (84)



Photo n° 44: test de découpage du Picard 2ième génération AD-8 dans la cuve Siebe Gorman en 1924 (84)



Figure n° 17: Schéma du premier chalumeau Siebe Gorman (85)



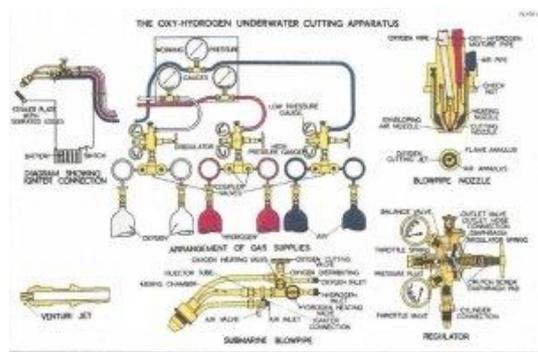
Apparemment le chalumeau français séduit puisque le modèle qu'ils vont créer en reprend les principes c'est-à-dire chambre de combustion et veilleuse d'allumage.

En 1933 un autre chalumeau oxyhydrique est commercialisé par la firme Underwater Cutters LTD (86) et en 1938, un article paru dans « The Electrical Journal» (87) mentionne que ce chalumeau a été utilisé pour découper 30 mètres de palplanches à - 3 mètres de profondeur.

Photo 45: Chalumeau Underwater Cutters LTD (88)



Figure 18: Détails mise en œuvre Chalumeau Underwater Cutters LTD (89)



Vient ensuite le chalumeau fabriqué par B.O.C & Siebe Gorman. C'était un chalumeau très performant avec lequel le scaphandrier pouvait avoir une vitesse de coupe de 60 cm par minutes.

Comme on peut le constater sur la photo n° 46, l'entreprise a supprimé la veilleuse

d'allumage ainsi que la chambre à combustion qu'elle avait utilisée sur son premier chalumeau et utilise cette fois le principe de la bulle d'air comme utilisé sur les chalumeaux américains.

Une première mention de l'utilisation de ce chalumeau est relatée dans un article qui décrit un des découpages au chalumeau oxyhydrique les plus célèbres de l'histoire (90).

Photo n°46: Chalumeau B.O.C & Siebe Gorman (91)



Celui-ci a lieu en 1944 sur le navire de guerre britannique *H.M.S Valiant*.

Ce cuirassé engagé dans la bataille contre les japonais avait subi quelques dégâts qui l'avaient obligé à passer en cale sèche à Ceylan, mais suite à une fausse manœuvre lors de la mise à sec celle-ci se brisa et coula.

Heureusement, le cuirassé resta à flot mais en coulant l'énorme structure endommagea un des gouvernails du navire, les deux arbres d'hélice intérieurs ainsi que ses deux chaises d'arbre en forme de A.

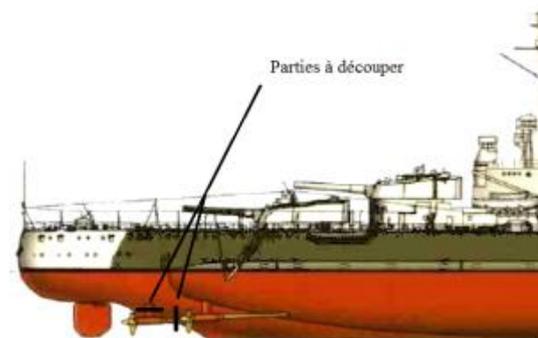
Comme il n'y avait plus aucune installation susceptible de recevoir un navire de cette taille dans le Pacifique il avait été décidé de l'envoyer à Alexandrie. Malgré ses avaries, le cuirassé pouvait encore naviguer de par lui-même mais seulement à la vitesse réduite de 8 nœuds car les vibrations générées par l'inertie des deux hélices centrales étaient énormes.

Arrivé en baie de Suez le Commandant en chef, Sir John Cunningham contacta une de ses bonnes connaissances le capitaine de

Corvette Peter Keeble un spécialiste du sauvetage maritime et scaphandrier émérite afin de savoir comment éliminer ce problème. C'était simple, pour Peter Keeble il suffisait de couper et de larguer les pièces défectueuses au fond du port.

Il ne fallut pas longtemps à Cunningham pour se décider et il donna une semaine à Keeble pour réaliser ce boulot (92).

Figure 19: Poupe du *H.M.S Valiant* (93)



Celui-ci contacte à son tour le sous-officier Nichols autre spécialiste des travaux sous eau et à eux deux ils vont entreprendre ce découpage qui est loin d'être simple.

Il faut dire que le poids total de chaque élément à enlever est d'environ 26 tonnes. Pendant 2 jours Nichols traficote un peu le chalumeau sous-marin et lorsque celui-ci est prêt il se porte volontaire pour faire la première plongée.

Assis à cheval sur l'arbre d'hélice tribord il commença son découpage à 1,5 m de la chaise d'arbre.

Quatre heures plus tard il est obligé de remonter en surface à cause d'un petit problème technique. Il veut ensuite redescendre malgré une brûlure au pouce mais son collègue prend la relève et finalement 6 heures plus tard le premier arbre d'hélice est coupé.

Un peu long ? Certainement pas si l'on sait que ces arbres d'hélice font 47 cm de diamètre.

Figure 20: Enlèvement partie tribord (94)



Reste maintenant à couper la chaise d'arbre en A de cette même hélice qui est longue de 107 cm et épaisse de 36 cm. Nichols découpe le premier côté de la chaise bâbord en 4 heures.

Keeble lui découpe l'autre côté sur une distance d'environ 70 cm puis arrête lorsqu'il s'aperçoit que la coupe commence à s'ouvrir.

Par sécurité il est décidé de sectionner le restant du métal à l'aide d'une charge appliquée de 7,5 kg.

Bang ! L'hélice tribord, son arbre et sa chaise sont au fond du port.

Reste à refaire la même chose sur l'autre hélice ce qui prendra à peu près le même temps.

Finalement grâce à ces travaux de découpage les vibrations ont complètement disparues et la mise en cale sèche n'est plus nécessaire.

Un chalumeau sous-marin oxyacétylénique a également été fabriqué par la firme British Gas and Torch de Camberley mais aucune référence n'est trouvée concernant la date de fabrication.

Figure n° 21 : Chalumeau B.G.T (95)

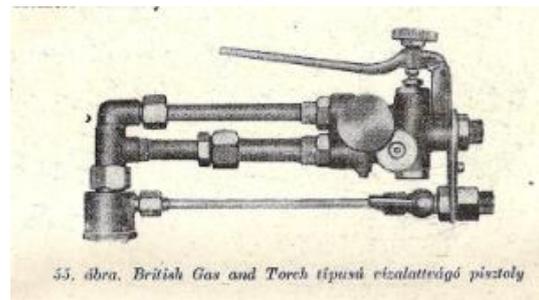
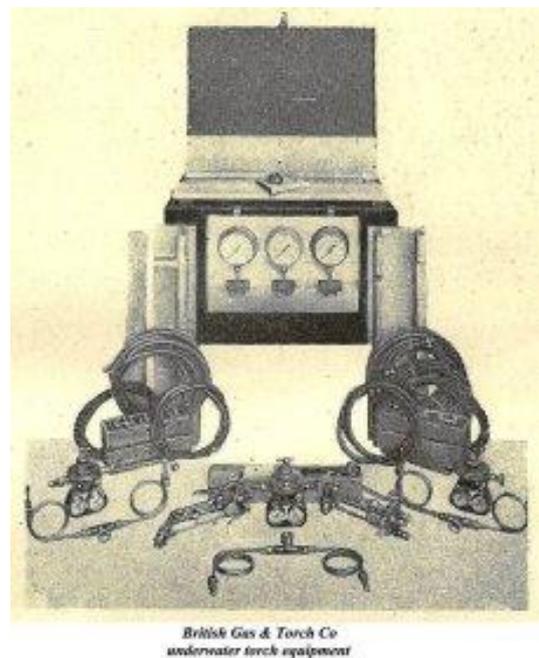


Photo n° 47 : Equipement B.G.T (96)



1945 voit arriver le Seafire (97).

C'est un chalumeau oxyhydrique de petite taille dont le diamètre de sa buse de mélange a été réduit ce qui lui donne l'avantage de consommer nettement moins de gaz et le rend très pratique pour les petits travaux de découpage.

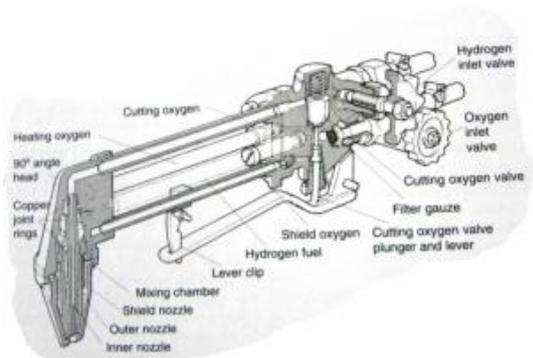
Le manche comporte deux robinets pour l'alimentation de la flamme de chauffe, ainsi qu'un levier pour la chasse d'oxygène. La tête est reliée au manche par 4 tubes.

Le tube supérieur conduit l'oxygène de coupe, le tube inférieur l'oxygène alimentant la chambre de combustion, le tube gauche l'oxygène de chauffe, et le tube droit l'hydrogène.

Photo n° 48 : Chalumeau Seafire (98)



Figure 22: Description du chalumeau Seafire (99)



La tête porte buse, est munie d'une chambre de combustion amovible dans laquelle brûle la flamme de chauffe.
 La conception particulière de cette chambre permet un apport supplémentaire d'oxygène à la base de la flamme, favorisant ainsi sa combustion.
 Le mélange des deux gaz se fait dans la buse même du chalumeau.
 Deux modèles avec orientation de la tête à 45° ou à 90° étaient disponibles.

Photo n° 49: Scaphandrier tenant un chalumeau Seafire (100)



Et pour terminer on retrouve en 1968 le Vixen Kirkham M2 dernier chalumeau à avoir été fabriqué par nos amis anglais (101).

Comme on peut s'en rendre compte, à l'exception du système de verrouillage du levier de chasse il ressemble étrangement au modèle du Seafire.

Photo n° 50: Chalumeau Vixen Kirkham M2 (102)



D'autre pays ont également eut leur chalumeau, mais comme partout ailleurs ceux-ci ont progressivement été abandonné au profit du découpage électrique.
 L'une des principales raisons est due au fait que l'apprentissage de cette technique est plus long et plus difficile.

Photo n° 51 : Chalumeau Hollandais Loosco (103)



Photo n° 52 : Chalumeau Hongrois des années vingt (104)

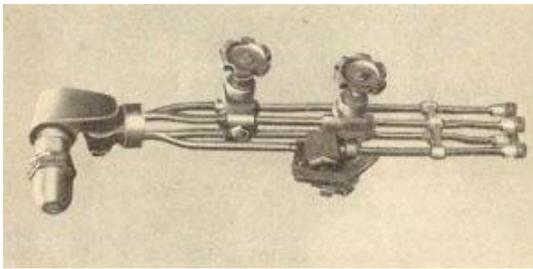
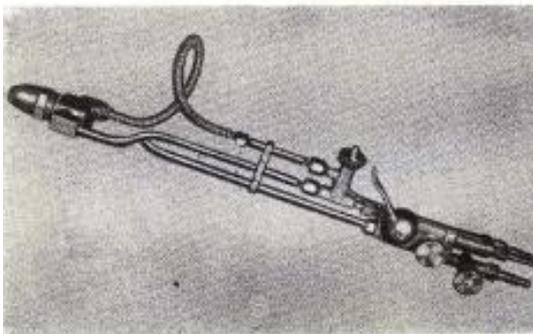
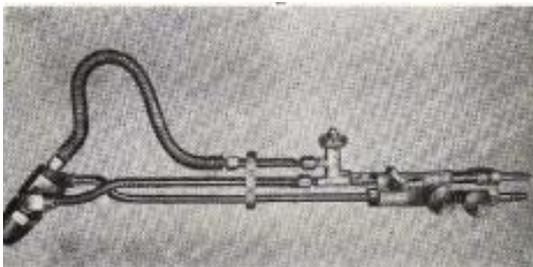
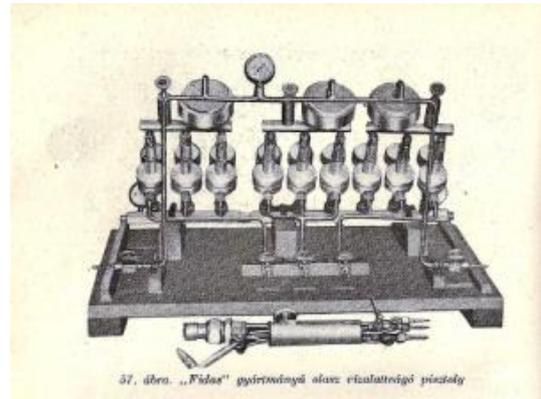


Figure n° 23 : Chalumeau Hongrois (105)



54. ábra. Varga típusú vízalatti lámpa, előcsapóféltel vezérel

Photo n° 53 : Chalumeau Italien avec son tableau de réglage (106)



Le problème avec les chalumeaux sous-marins, c'est qu'il est parfois pour l'une ou l'autre raison nécessaire de les éteindre (ou parfois s'éteignent d'eux même) durant quelques minutes. Si le scaphandrier travaille en eau peu profonde, cela ne pose pas trop de problème car il lui suffisait de remonter de quelques mètres pour le rallumer. Mais cela pouvait rapidement devenir gênant voire impossible à faire sur les chantiers plus profond.

Comme nous l'avons vu plus haut, Mr. Corné, Mr. Picard et la Fabbrica italiana d'apparecchi per saldatura, milano avaient résolu ce problème en inventant l'allumeur (pyrotechnique) et la veilleuse.

Ailleurs, l'allumage électrique fut privilégié.

Dès le début des années vingt (1920) deux systèmes d'allumage firent leur apparition.

Le système américain qui travaillait au départ d'une source de courant DC 110 volts et le système anglais qui utilisait plutôt une batterie de 12 volts. La mise en œuvre était plus ou moins identique.

Lorsque le scaphandrier voulait allumer son chalumeau, il réglait tout d'abord la longueur des bulles de gaz, puis une fois fait il demandait le jus et en fonction du système provoquait l'éclatement d'une étincelle qui à son tour allumait le

chalumeau. Une fois que celui-ci brûlait correctement le courant était coupé en surface et le découpage pouvait démarrer.

Figure n° 24 : Système d'allumage américain (107)

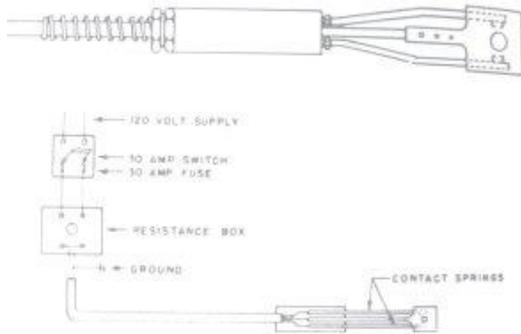


Fig. 24. Underwater torch lighter (diagram of connections).

Figure n° 25 : Système d'allumage anglais (108)

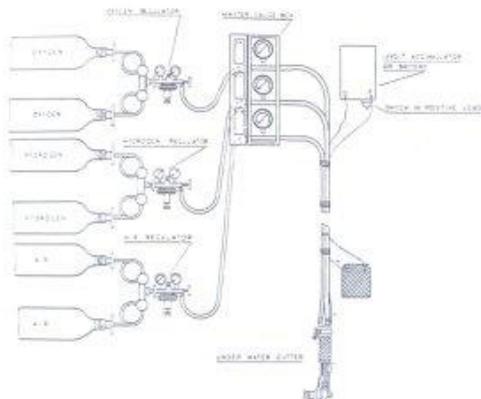


Photo n° 54 : Système d'allumage moderne(109)



Comme on a pu s'en apercevoir au travers de ces lignes, les chalumeaux de découpage sous-marin ont permis de rendre d'énorme service et ont grandement facilité le travail des scaphandriers.

Ils ont été intensément utilisés jusque dans les années cinquante puis ils ont petit à petit abandonné au profit de nouveaux procédés de découpage plus facile à utiliser.

Actuellement, il n'existe plus qu'un seul « vrai » chalumeau sous-marin disponible sur le marché : le PVL.

De fabrication hollandaise ce chalumeau qui utilise du gaz MAP ou autre dérivé a été conçu autour de la buse mélangeuse du chalumeau Picard ce qui en fait dès lors un EXCELLENT outil dont les performances sont identiques à son modèle de référence.

Photo n° 55 : Chalumeau découpeur PVL (110)



Photo n° 56 : Cours de découpage avec le chalumeau PVL (111)



En dehors de ce découpeur Hollandais certains (rares) fabricants offrent encore la possibilité d'utiliser leur chalumeau de surface sous eau en y adaptant une coiffe spéciale.

Photo n° 57 : Chambre de combustion pour le pyrocopt (112)



Photo n° 58: Chalumeau à essence Petrogen (113)



Photo n° 59: Chalumeau Harris (114)



La deuxième méthode de découpage sous eau à avoir vu le jour utilise le principe du soudage à l'arc. Là également, cette invention est due au génie de quelques grands hommes.

Le premier n'est autre que le physicien anglais sir Humphry David (le cousin d'Edmund) qui en 1813 parvint à créer un arc électrique sous eau.

Il faudra ensuite attendre jusqu'en 1890 pour voir apparaître le dépôt d'un premier brevet pour un procédé de soudage à l'arc.

Le problème c'est que ce premier procédé utilise des électrodes nues sans enrobage et donc l'arc est très instable et les soudures de piètres qualités.

Heureusement dix ans plus tard les premières électrodes enrobées sont inventées permettant ainsi la réalisation des premiers travaux de soudage à l'arc.

Très rapidement au cours de ces travaux les ouvriers soudeurs vont se rendre compte qu'en augmentant l'intensité du courant électrique il était alors possible de découper ou plutôt de faire fondre des tôles de faible épaisseur.

Pourtant, il faudra encore attendre jusqu'au milieu de la première guerre mondiale pour qu'on songe à utiliser ce procédé sous eau.

Les premiers essais de découpage sous eau à l'électrode pleine (électrode de soudage) semblent avoir débuté simultanément en France, au Royaume-Uni et aux Etats – Unis.

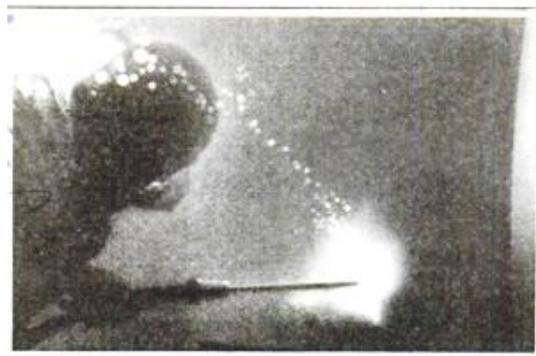
En France des essais sous eau sont réalisés en 1917 par la société de la Soudure Autogène Française avec deux types d'électrode : électrodes en acier pour les petits diamètres et électrodes en carbone pour les gros diamètres. Mais les générateurs électriques utilisés ne sont pas assez puissants et les tests sont non probants.

Résultat, côté français les essais de découpage électrique ne reprendront pas avant 1924 (115).

L'amirauté britannique semble avoir eu plus de succès avec ce procédé puisque le *Deep Diving and Submarine Operations Manual* de Siebe-gorman mentionne que ses scaphandriers l'utilisèrent durant la première guerre mondiale (116).

Côté américain c'est à la firme Meritt-Chapman & Scott que revient l'honneur d'avoir développé ce système qui va d'ailleurs être utilisé le *S.S St Paul* en complément du chalumeau.

Photo n° 60 : Scaphandrier avec torche de découpage (117)

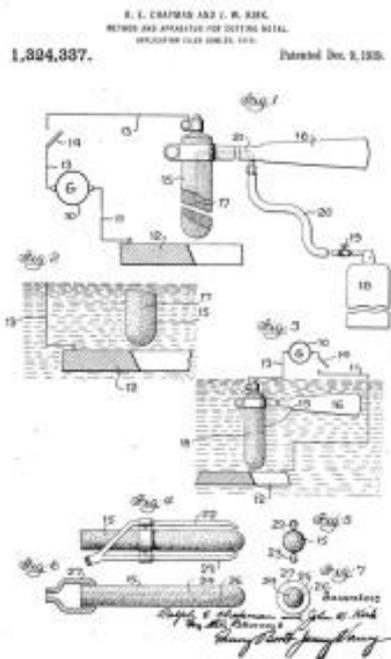


Dès juin 1918 R.E. Chapman et J.W. Kirk dépose un brevet pour une méthode de découpage sous eau à l'aide de l'intensité d'un arc électrique.

Pour cela, les inventeurs prévoient 2 manières de découper l'acier.

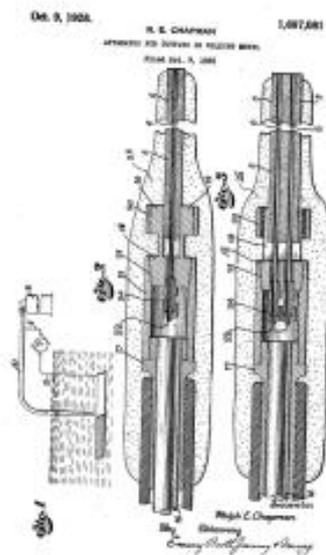
1° à l'aide de la seule chaleur produite par l'arc électrique d'une électrode au carbone,
2° à l'aide d'une électrode au carbone percée de 3 trous permettant l'envoi d'oxygène ou au contraire en envoyant de l'oxygène par l'intermédiaire de 2 petites tubulures.

Figure n° 26 : Schéma procédé (118)



Dans la pratique on verra plus tard que seule l'utilisation d'électrode creuse sera privilégié.

Figure n° 27 : Schéma pince de découpage (119)



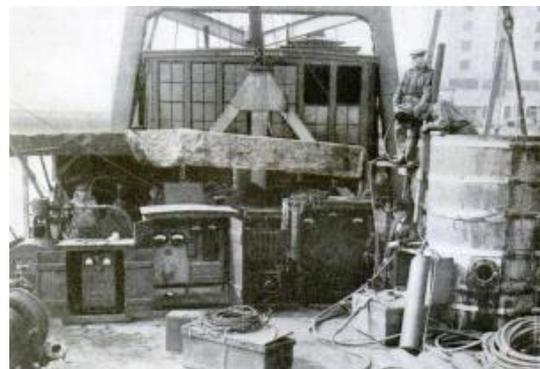
Ce brevet sera suivi un peu plus tard par un autre également déposé par Chapman et qui concerne cette fois la torche de découpage électrique qui est utilisé par ses scaphandriers.

Photo n° 61 : Pince de découpage oxy-arc (120)



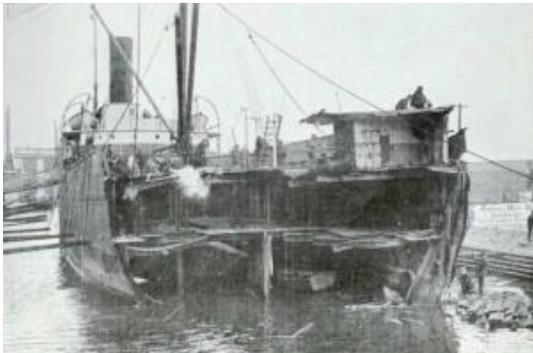
Afin de former ses ouvriers à cette nouvelle technique une cuve d'entraînement est installée au sein de l'entreprise et très rapidement les scaphandriers vont adopter cette technique pour réaliser certains découpages difficiles.

Photo n° 62 : Matériel de découpage et cuve d'entraînement Meritt-Chapman & Scott (121)



Une des toutes premières utilisations pratiques se fera en 1919 sur le cargo *Lord Dufferin*. Celui-ci était entré en collision avec le paquebot *AQUITANIA* et pour éviter qu'il ne sombre, le bateau avait été échoué sur l'île de la statue de la Liberté. Environ une vingtaine de mètres de sa poupe avait été en partie arraché et afin de permettre sa mise en cale sèche, les scaphandriers avaient dû découper à l'oxyarc environ 8 tonnes de tôles froissées.

Photo n° 63 : *Lord Dufferin* en cale sèche (122)



Une autre super prestation réalisée par les gars de cette entreprise eut lieu à New York en février 1922.

A cette époque une drague avait accidentellement percé une conduite d'eau potable de 36 pouces alimentant Stade Island l'un des arrondissements de New-York.

La réparation prévoyait de retirer la section endommagée et de la remplacer par une manchette en acier. Plusieurs jours de travail furent nécessaires pour dégager la partie endommagée de la conduite qui reposait sous une épaisse couche de vase et permettre ainsi aux scaphandriers de commencer le découpage.

Mais le travail n'est pas simple car malgré le dévasement certaines sections du tube devront être découpées de l'intérieur ce qui

on peut l'imaginer était loin d'être confortable avec un Mark V sur la tête.

Photo n° 64 : Entraînement au découpage (123)



De plus, la conduite était en fonte donc difficilement oxydable et les épaisseurs variaient de 30 à 80 mm.

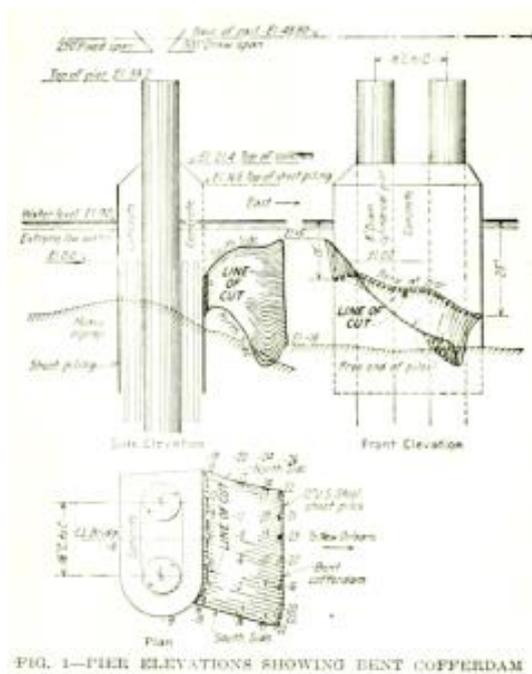
Photo n° 65 : Enlèvement de la section endommagée (124)



Malgré ces difficultés les scaphandriers arriveront finalement à bout de ce travail au bout de 9 jours durant lesquels ils auront plongé 24h/24h et découpé pas moins de 10 mètres linéaire de conduite (125).

Et pour terminer on peut encore mentionner le découpage réalisé par John Tooker dans des conditions également difficile d'une trentaine de palplanches protégeant l'une des piles du pont Texas sur la rivière Atchafalaya à Melville et qui avaient été arrachées et tordues par une grande estacade en bois partie à la dérive.

Figure n° 28 : Détail du rideau de palplanches (126)



L'ensemble des travaux qui avait débuté le 17 novembre 1922 avait nécessité 114 h de plongée dont 67 h furent exclusivement consacrée au découpage (127).

Prenant à son tour conscience des capacités de cet outil de découpage électrique l'US Navy va elle aussi développer une première pince de découpage oxy-arc. Contrairement à la pince de Chapman et

Kirch qui rappelons-le est rectiligne, celle de la marine américaine est à angle droit et permet de travailler avec une électrode à 90°.

Parmi les personnes ayant participé à cette conception et à son perfectionnement on retrouve notamment le sous-officier John Henri « Dick » Turpin qui fut l'un des tout premiers scaphandriers noirs de la marine.

Photo n° 66 : Le scaphandrier J.H. Turpin (128)



En 1927, les scaphandriers de la marine vont grâce à cette torche pouvoir intervenir efficacement lors des travaux de renflouement d'un autre sous-marin le S-4 au cours duquel pas moins de 564 plongées en tous genres seront réalisées (129).

En France, la Société de la Soudure Autonome Française reprend en 1924 sous la direction de Monsieur Lebrun ses essais de découpage oxy-électrique qu'elle avait interrompus en 1917 et le 10 juin un scaphandrier réussit en utilisant un tube de fer enrobé de 4 mm de diamètre intérieur et 8 mm de diamètre extérieur et de 80 cm de

longueur à couper une section de tôle de 20 mm d'épaisseur grâce à une série de trous jointifs (130).

La littérature ne précise pas le type d'enrobage, mais il y a fort à parier qu'il s'agissait de chattering car il (l'enrobage) protégeait les découpeurs qui travaillaient à mains nues des effets du courant alternatif (130).

Vu la réussite cette fois des essais ce fut cette technique qui allait être utilisée quelques jours plus tard pour continuer les tests de découpage sur le *Tubantia* qui rappelés le avaient été interrompu suite à l'explosion des flexibles du chalumeau.

Cette fois un scaphandrier réussi grâce à 6 électrodes en fer à découper une longueur de 1,2 mètres de tôle en une heure de temps.

La rectitude de la coupe avait été assurée grâce à la mise en place d'un guide en bois peint en blanc (130).

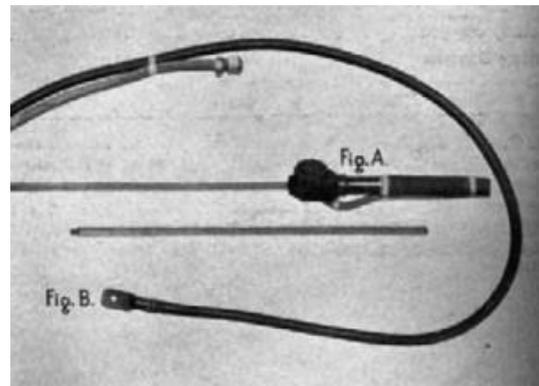
Comme on le constate, les électrodes utilisées au cours de ces essais français sont en fer et non en carbone mais c'est pourtant ce dernier type d'électrode prismatique de 30 cm de long percée de 2 trous pour l'arrivée d'oxygène qui continuera à être utilisé par les entreprises de plongée européennes jusque dans les années quarante.

Vers 1932 un autre procédé de découpage à l'aide d'électrode pleine de 8 à 10 mm de diamètre (sans apport d'oxygène) sera mis au point par Monsieur SARRAZIN.

Mais il ne sera que très peu appliqué car sa mise en œuvre demandait une intensité de fonctionnement d'environ 1000 Ampères (131).

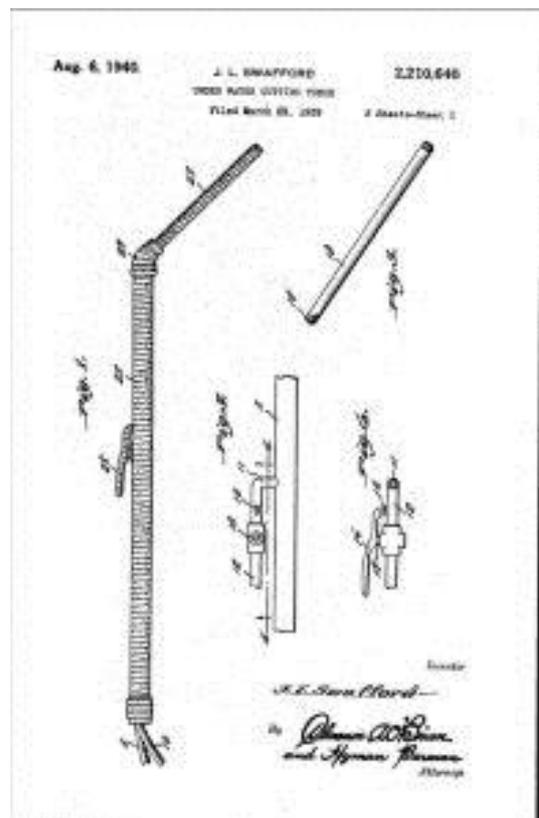
En 1935 Siebe-Gorman décrit également une pince oxy-arc dans son manuel. Comme on peut le voir sur la photo n° 67 celle-ci est également de forme rectiligne.

Photo n° 67 : Pince oxy-arc Siebe-Gorman (132)



En 1939 l'américain Swafford dépose un brevet pour un nouveau modèle de pince mais il semblerait que ce modèle n'ait jamais été commercialisé.

Figure n° 29 : Schéma pince oxy-arc Swafford (133)



Par contre, vers la même époque ce même monsieur Swafford fabrique également une électrode de découpage composée d'un tube en laiton de Ø 9,5 x 350 mm dans lequel est soudée une petite électrode carré ou au contraire 3 et plus tard 7 baguettes en acier.

Afin d'être correctement isolée l'électrode est protégée par 3 à 5 tours de tape isolant. Cette électrode sera mise en service durant quelques années dans l'US Navy et il en sera encore fait mention dans le Divers Manual de 1948.

Figure n° 30 : Schéma électrode Swafford (134)



Il faudra cependant attendre jusqu'en 1940 pour voir arriver une vraie évolution dans la conception du matériel de découpage électrique.

A cette époque le département de la Marine Américaine décida d'adapter le matériel existant au besoin de l'époque.

La modernisation de cet équipement sera réalisée à l'US Naval Engineering Experimental Station situé à Annapolis dans le Maryland et le matériel sera ensuite testé par l'Experimental Diving Unit and Deep Sea Diving School de Washington ainsi qu'à l'U.S Naval Training School située au Pier 88 de New York.

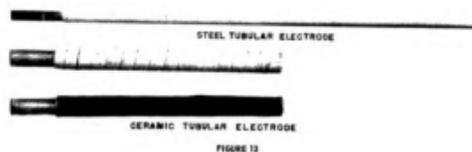
C'est d'ailleurs ce numéro de quai qui donnera son nom à cette nouvelle pince oxy-arc.

Photo n° 68 : La pince de découpage Pier 88 (135)



A partir de cette époque également les grosses électrodes au carbone vont progressivement disparaître au profit de nouvelles électrodes tubulaires plus fine. Deux nouveaux types d'électrode creuse seront alors disponibles : Les électrodes en céramique et les électrodes tubulaires en acier recouvertes d'un enrobage rutile.

Photo n° 69 : Modèles d'électrode (136)



Grâce à ce nouvel équipement, les scaphandriers américains vont pouvoir travailler plus efficacement sur les divers navires qui ont été envoyé par le fond par l'aviation japonaise.

A Pearl Harbor, pas moins de 20000 heures de plongée seront nécessaires pour renflouer la plupart des navires dont de

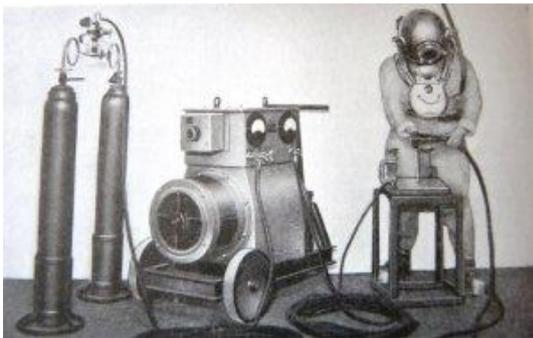
nombreuses heures consacrées au découpage (137).

Ce qui est extrêmement étonnant, c'est que depuis l'avènement du découpage électrique jusqu'à la fin des années quarante bon nombre de découpage se faisait également avec du courant alternatif (138). Malgré les inconvénients et les risques liés à ce type de courant la seule précaution supplémentaire que prenaient les scaphandriers par rapport au courant continu consistait à mieux isoler l'intérieur du casque en recouvrant par exemple toutes les parties métalliques qui étaient susceptibles d'être touchées (139).

Ce qui est par contre intéressant de constater, c'est que dès la première heure, il était conseillé que couper le courant électrique lors des arrêts et des changements d'électrodes (voir brevet procédé Chapman and all).

En Europe également le découpage à l'oxy-arc commence à se moderniser après la seconde guerre mondiale.

Photo n° 70 : Ensemble de découpage Siebe-Gorman (140)



Si en Angleterre et dans une moindre mesure en Italie on continue à privilégier l'utilisation des électrodes au carbone jusqu'à la fin des années soixante, en France, Belgique et probablement d'autres pays on commence par contre à très

rapidement utiliser les électrodes tubulaires en acier « Oxycuttend » fabriquées par la société Arcos et les électrodes roses de Craftsweld.

Ces deux baguettes de découpage étaient recouverte d'un enrobage rutilé qui avait l'avantage de générer un arc électrique extrêmement stable.

Par contre cet enrobage se dégradait assez rapidement dans l'eau et il était dès lors préférable de le protéger par du tape isolant.

Photo n° 71 : Scaphandrier utilisant une pince de découpage italienne(141)



Pour éviter ce gros inconvénient l'entreprise Arcair met sur le marché dès 1971 la SEA-CUT.1, une électrode composée d'un mélange de carbone et de graphite et qui ne comporte plus qu'une simple protection isolante à base de plastique.

Photo n° 72 : Plongeur-scaphandrier de la Sogétram s'entraînant au découpage (142)



Chaque type d'électrodes avait de bonnes performances de découpage mais également quelques inconvénients.

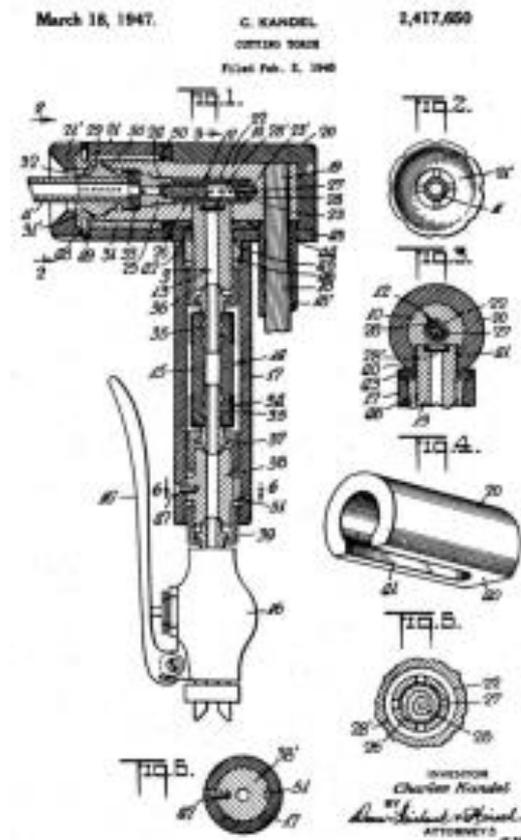
Le gros avantage des électrodes au carbone ou en céramique était leur durée de combustion qui était généralement 10 fois supérieurs à celui des électrodes en acier (143).

Elles étaient également un peu plus courte ce qui facilitait le travail en espace confiné. Par contre, ces électrodes se cassaient très facilement et les saignées de coupe étaient assez étroites et de ce fait elles devenaient moins performantes des que les tôles devenaient supérieures à 19 mm.

Photo n° 73 : Pince de découpage Beckman (144)



Figure n° 31 : Schéma brevet de la torche Craftsweld (145)



Au cours des années qui suivent diverses pinces (torches) de découpage oxy-arc vont être commercialisées un peu partout (ARCOS, BECKMAN, CRAFTSWELD, ARCAIR, BROCO).

Toutes se valent si elles sont utilisées et entretenues correctement.

Photo n° 74 : Pince de découpage russe(146)



Entre 1975 et 1978 se basant sans doute sur le principe du découpage à la lance thermique (voir plus loin) ainsi que sur ce qu'avait inventé Swafford en 1939, la société Broco met au point les premières électrodes ultra-thermiques.

Celles-ci sont constituées d'un fin tube en acier de 0,7 mm d'épaisseur dans lequel sont serties 7 fils métalliques de Ø 2,4 mm dont l'un en alliage différent permet de maintenir la réaction exothermique même après la coupure du courant électrique.

Photo n° 75 : Electrodes Broco (147)



Cette électrode présente un certain nombre d'avantage par rapport à l'électrode oxy-arc comme par exemple celui de ne nécessiter qu'un courant de faible intensité (150 Ampères) pour fonctionner et donc des groupes électrogènes moins lourds peuvent être mis en place sur les chantiers. Un autre avantage indéniable de ce type d'électrode tiens au fait que grâce à sa réaction exothermique elle est capable de

découper un grand nombre de matériaux qu'ils soient oxydables ou pas. Sa mise en œuvre est également plus facile car grâce au fait qu'elle peut bruler quasi n'importe quel matériau le nettoyage des surfaces à découper ne devra plus être aussi soigné et enfin l'apprentissage de sa mise en œuvre est également plus facile que celui de l'oxy-arc. Résultat, ce type de baguette ultra-thermique va vite dominer le marché et son principe va rapidement être adopté ou copié par d'autres fabricants ou même des entrepreneurs privés qui vont à leur tour produire ce type d'électrodes (Comex pro, Magnumusa, Divex, Arcair, HBS et bien d'autres).

Photo n° 76 : Découpage à l'électrode ultra-thermique (148)



Comme signalé un peu plus haut, les inventeurs de cette nouvelle électrode ultra-thermique se sont probablement inspirés d'un autre procédé de découpage terrestre : La lance thermique. Celle-ci est constituée d'un tube en acier d'environ 3 mètres de long dont le diamètre varie de 13

à 21 mm et dont l'intérieur contient un faisceau de fils d'alliage à base de fer serrés les uns contre les autres.

Elle a été inventée dans les années 1930 par la firme française Air Liquide qui c'était elle-même basée sur l'invention de l'Allemand Ernst Menne qui avait en 1901 mis au point une lance à oxygène pour déboucher les trous de coulée du métal dans les haut-fourneaux (149).

Grâce à sa température de combustion élevée la lance thermique peut pratiquement percer n'importe quel type de matériaux.

En ce qui concerne son utilisation sous eau, elle commence un peu après la seconde guerre mondiale où elle est principalement mise en œuvre pour créer des trous de mine dans le ciment ou le béton qui bourrait les cales de certaines épaves.

Vers 1968 la Marine Américaine découvre que ce type de lance est utilisé en Europe et pense que le procédé pourrait être utilisé dans certaine opération de renflouement. Dès lors elle demande au Batelle Memorial Institute de faire une enquête sur les risques encourus par les plongeurs (150).

Le résultat de l'étude fut sans appel : Procédé bien trop dangereux à utiliser sous eau à cause des risques élevés d'explosion. Malgré ces risques, certaine entreprise de plongée profonde utiliseront malgré tout la lance thermique fin des années 70 pour le percement des alvéoles en béton armée de certaines plateformes offshores (151).

Actuellement, la lance thermique ne semble plus être utilisée que par de petites entreprises pas toujours au courant des risques encourus ou pour le découpage de grosse pièce lorsqu' aucun autre mode de découpage n'est possible.

Photo n° 77 : découpage d'un pipeline à l'aide d'une lance thermique (152)



C'est ensuite au tour de Reginald Clucas d'arriver sur le marché avec un nouveau produit. Probablement que celui-ci a dans son entourage des scaphandriers qui lui ont parlé du découpage électrique sous eau et des limitations liés à ce type d'électrode. Il imagine dès lors un système qui va permettre au plongeur de découper bien plus longtemps sans devoir continuellement changer de baguette et qui est également moins encombrant que les longues lances thermiques. Résultat, en 1968 il met sur le marché de la plongée professionnelle un câble découpeur pour lequel il va emprunter le prénom de sa fille Kerie (153).

Photo n° 78 : Bobine de câble Kerie (154)



Le principe de fonctionnement du câble Kerie s'apparente à la lance thermique mais contrairement aux tubes métalliques contenant des fils d'alliage, le système se compose d'une gaine en plastique dans laquelle se trouve un câble en acier à forte teneur de carbone duquel l'âme centrale a été retirée afin de permettre le passage de l'oxygène.

L'allumage du câble se fait soit à l'aide de la flamme d'un chalumeau soit électriquement à l'aide d'un courant de 12 volts.

Les câbles sont fournis en longueur de 15 et 30 mètres et en trois dimensions 6, 9 et 12 mm.

Figure n° 32 : Principe de mise en œuvre du câble Kerie (155)

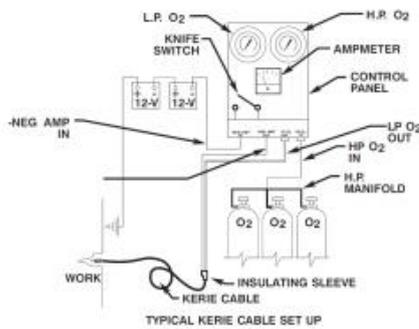
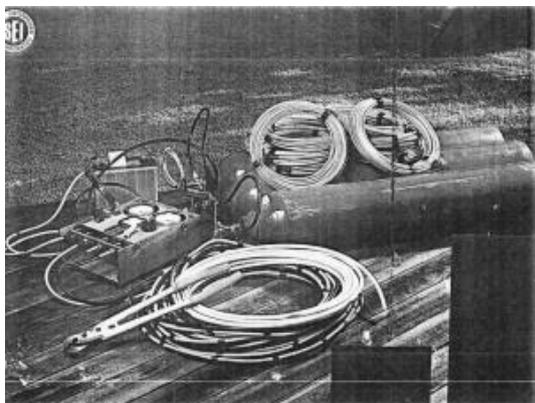


Photo n° 79 : Ensemble de mise en œuvre du câble Kerie (156)

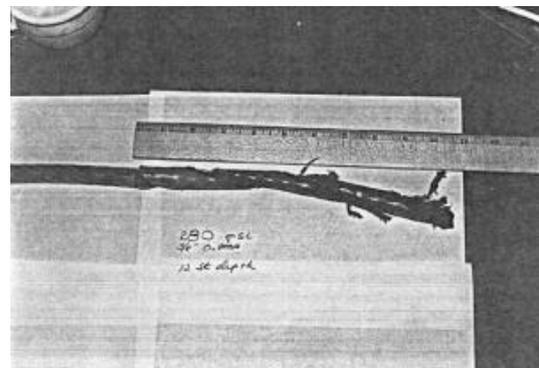


Sa vitesse de combustion est d'environ 60 cm par minute ce qui lui donne une durée de combustion d'environ 50 et 25 minutes par câble.

Bien que son principe de fonctionnement ressemble à celui de la lance thermique, sa température de fusion est cependant bien plus basse (2700°) ce qui ne rend possible que le découpage de métaux ferreux.

Un des gros problèmes avec ce câble (surtout celui de première génération) était dû au fait que parfois la gaine plastique se consumait plus rapidement que l'âme métallique du câble ce qui était particulièrement gênant lors des découpages sans visibilité et plus d'un scaphandrier c'était à l'époque fait brûler la main.

Photo n° 80 : Défaut de fonctionnement (157)



C'est probablement l'une des raisons pour laquelle ce système n'a jamais vraiment percée et est un peu tombé dans l'oubli durant près de 3 décennies.

Aujourd'hui, ce problème paraît avoir été supprimé et le système semble à nouveau être adopté par plusieurs marines et entreprises.

Photo 81 : Plongeurs-scaphandriers utilisant le câble Kerie (158)



En 2004 on voit arriver la Swordfish de la société Speciality Welds (159).

Cette nouvelle électrode à forte teneur d'oxyde de fer vendue en diamètre de 4 et 5 mm reprend le principe du découpage à l'arc sans apport d'oxygène utilisé lors des premiers découpages électriques c'est-à-dire que l'acier n'est pas oxydé par un jet d'oxygène mais est simplement fondu par la chaleur d'un arc électrique d'environ 400 Ampères.

Photo n° 82 : Résultat d'un test de découpage (160)



La méthode de découpage thermique la plus récente mise à la disposition des scaphandriers est celle du plasma d'arc.

Photo n° 83 : Pince plasma arc et son panneau de contrôle (161)



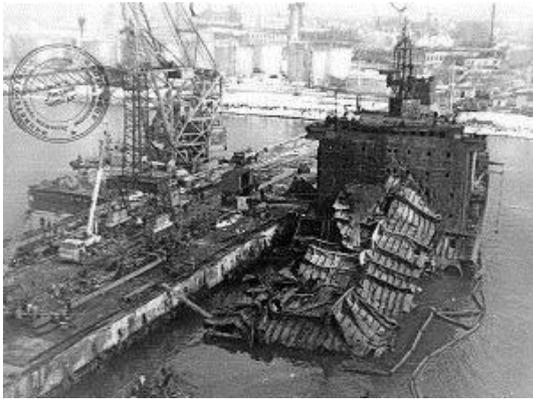
Elle a vu le jour dans les années cinquante mais à cette époque elle n'est pas encore couramment utilisée à cause de certains phénomènes parasites qui endommagent l'électrode et la buse de coupe et il faudra dès lors attendre 1963 pour que le découpage en surface soit vraiment lancé (162).

Assez rapidement l'entreprise française SOGETRAM découvre ce procédé et décide de le tester dans sa piscine d'entraînement de Garenne sur Eure.

Les essais seront cependant vite arrêtés car lors des séquences de découpage les vibrations et les explosions générées par l'outil étaient telles que le personnel craignait la rupture des hublots d'observation (163).

Il faudra ensuite patienter jusqu'en 1985 pour voir le plasma d'arc réapparaître dans l'ancienne Union Soviétique où cette technique sera utilisée conjointement avec l'oxy-arc lors des travaux de découpage du tanker Ludwig Svoboda qui avait explosé dans le port de Ventspils (164).

Photo n° 84 : Epave du Ludwig Svoboda (165)



Un des problèmes de la mise en œuvre du plasma d'arc sous eau est lié au fait que ce procédé fonctionne avec une tension d'arc et une tension à vide élevé qui sont respectivement de 120 - 200 Volts (ta) et 250 – 400 volts (tv) ce qui dépasse très largement les 30 volts préconisé par la plupart des réglementations (166).

Pourtant, dès le début de ce 21^{ème} siècles l'entreprise anglo-saxonne Air Plasma Ltd se décidera à son tour à mariniser un de ces ensembles de découpage de manière à éliminer les risques électriques pour les plongeurs-scaphandriers.

Leur torche sera utilisée une première fois en mars 2005 sur un chantier de Mermaid Offshore Services en Corée du sud au cours duquel les plongeurs-scaphandriers vont découper une série de trous de formes et de dimensions variées dans une tôle d'acier de 32 mm située à la base d'une plateforme (167).

Cette même torche sera également utilisée au Canada en 2006 pour le recepage sous eau de 1500 m de palplanches (168) et plus récemment au royaume unis pour celui d'un rideau d'environ 800 mètres (169).

Malheureusement aucun retour n'est disponible concernant les éventuelles difficultés rencontrées dans la découpe des serrures mais il y a fort à parier que seules

les parties planes auront été coupées par cette torche.

Un des avantages du plasma d'arc est qu'il génère relativement peu de débris et de ce fait ce procédé de découpage est également utilisé dans les centrales nucléaires pour le démantèlement de certaines structures immergées.

Dans la plupart des cas, la torche est manipulée à distance depuis la surface, mais récemment les scaphandriers d'une entreprise américaine réputée dans ce type de travaux ont découpés tous les éléments internes d'un générateur de vapeur (170).

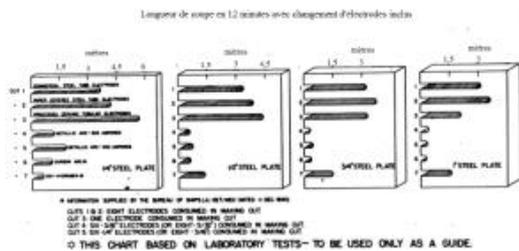
Photo n° 85 : Essai de découpage au plasma d'arc (171)



Mais en dehors de ces quelques applications particulières il n'y guère que très peu d'échos concernant d'autres types de travaux de découpage sous eau à l'aide de ce procédé.

Comme on a pu le constater au travers de cet article, ainsi qu'au travers de la figure n° 33 qui représente les vitesses de découpage obtenue lors de tests réalisés en décembre 1940, les divers outils énumérés étaient relativement performant et ont permis de réaliser des tâches qui sans eux aurait été impossible à faire.

Figure n° 33 : Longueur découpée en 12 minutes à l'aide de divers procédés de découpage (172)



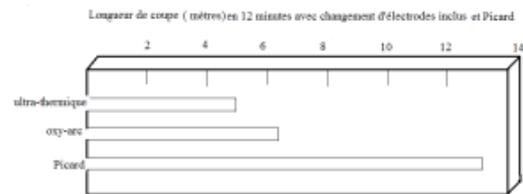
Aujourd'hui à cause de sa facilité d'apprentissage on privilégie surtout le découpage à l'électrode ultra-thermique. Pourtant au point de vue vitesse de coupe à l'heure, si on excepte le plasma d'arc qui n'est actuellement utilisé que pour des applications spécifiques et qui permet de découper à la vitesse de 3 cm/sec (108 m/h) (173), le champion incontesté pour un grand nombre de découpage en travaux publics reste encore toujours le chalumeau découpeur puisque utilisé dans de bonnes conditions et par quelqu'un de compétant peut atteindre sur tôle de 12 mm la vitesse de 66 m/h (174).

Il est suivi d'assez loin par le découpage par le découpage à l'arc (30,5 m/h) (175) et l'électrode ultra-thermique (24,5 m/h) (176).

Concernant la figure n°33 il est surprenant de constater que la vitesse de découpage mentionnée pour le découpage oxy-hydrogène soit si faible (7,5 m/h) car cela ne correspond absolument pas à la réalité de l'époque où les vitesses se situaient plutôt autour de 36 m/h (177).

Il est dès lors plus que probable que cet essai au chalumeau a été réalisé par un scaphandrier non spécialisé dans ce type de découpage.

Figure n° 34 : Extrapolation figure n° 33 aux performances actuelles (174, 175,176)



Malgré l'efficacité de ces outils, force est de constater qu'aussi bien en travaux public ou en offshore les opérations de découpage thermique ont fortement diminuée.

Cela tient à plusieurs raisons. Dans les travaux publics où ces outils était principalement utilisé pour le recépage des palplanches cela est dû en partie au fait que 1° le prix de l'acier a fortement augmentée et 2° des outils d'extractions hydrauliques puissants ont été créé au cours de ces dernières années ce qui a dès lors permit de retirer les palplanches dans leur entièreté. En offshore, ce mode de découpage tend lui aussi à être remplacé par des méthodes présentant moins de risques pour les plongeurs-scaphandriers.

En effet, quelques soit le procédé utilisé celui-ci génère toujours une quantité plus ou moins importante de gaz hautement explosif qui s'ils se confinent dans un espace clos à proximité de la zone de découpe risque d'exploser plus ou moins violemment sous l'impulsion d'une scorie incandescente.

Ce risque est d'ailleurs bien réel car depuis l'invention du premier chalumeau sous-marin, plusieurs dizaines de scaphandriers ont malheureusement perdu la vie en découplant (178).

Photo n° 86 : Casque de plongée ayant subi les effets d'une explosion liée au découpage (179)



L'ennui, c'est qu'à cause de cette diminution de travaux de découpage l'expérience se perd et les nouveaux plongeurs-scaphandriers n'ont plus guère l'occasion de se faire la main.

Même dans les écoles de plongée cette technique n'est bien souvent abordée que de manière succincte par des enseignants qui eux même ne maîtrise pas toujours correctement ce procédé.

Pourtant un effort devrait être fait dans l'amélioration de cet enseignement car même s'il est moins utilisé il est presque certain que durant encore pas mal d'année le découpage thermique restera un précieux outil pour le plongeur-scaphandrier.

Références

My special thanks go to David L.Dekker and Lévai Miklós for their information supplied in the references n° 84, 85 (David) and 95,96,104 -106 (Lévai) ainsi qu'à Nicolas Denis pour la copie de son article: L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 par Maurice Lebrun.

- (1) Diving apparatus with instructions for submarine opérations by Siebe & Gorman 1870 page 26.
- (2) [https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Gladiator_\(1896\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Gladiator_(1896))
- (3) <https://nickoftimemktg.files.wordpress.com/2014/11/hmsgladiator1908.jpg>
- (4) <https://www.cganet.com/docs/100th.pdf> page 7
- (5) Das Acetylen: Seine Eigenschaften seine Herstellung und Verwendung by J.R.Vogel 1923 page 267
- (6) Das Acetylen: Seine Eigenschaften seine Herstellung und Verwendung by J.R.Vogel 1923 page 268
- (7) Das Acetylen: Seine Eigenschaften seine Herstellung und Verwendung by J.R.Vogel 1923 page 268
- (8) mémoires de la société des ingénieurs civils volume 102,1914,page 235
- (9) http://paperspast.natlib.govt.nz/cgi-bin/paperspast?a=d&cl=search&d=NO_T19140822.2.12&srpos=1&e=-----10--1----2melting+steel+under+water--Xx
- (10) Der Grundbau: Ein Handbuch Für Studium und Praxis Par Schoklitsch Schoklitsch 1932 , page 150
- (11) Der Grundbau: Ein Handbuch Für Studium und Praxis Par Schoklitsch Schoklitsch 1932 , page 151
- (12) Das Acetylen:Seine Eigenschaften seine Herstellung und Verwendung by J.R.Vogel 1923 page 270
- (13) F.W.Brusch & W.F.J.Beyer Patent 1,298,880
- (14) Praktisches Handbuch der gesamten Schweisstechnk by P.Schimpke & H.Horn 1924 page 129
- (15) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1932/12/17) page 612
- (16) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1932/12/17) page 612
- (17) http://www.divingheritage.com/tools_cutting.htm
- (18) <http://www.pieds-lourds.com/Pages/pages.htm>
- (19) Die Schweisstechnik des Bauingenieurs: Einführung in Entwurf, Berechnung Par Bernhard Sahling 1952 page 209
- (20) Manuel de découpage sous-marin par F. Hermans 1995 page 34
- (21) Pratique de la soudure autogène par Franche & Seferian encyclopédie Roret 1931 page 218
- (22) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 par Maurice Lebrun page 19
- (23) <http://www.militarian.com/attachments/hms-vindictive-8-1897-1920-20-jpg.5797/>
- (24) Marine Salvage by Joseph N. Gores 1972 David & Charles page 252
- (25) Revue générale des chemins de fer et des tramways 1921/07-1921/12 page 249
- (26) Revue générale des chemins de fer et des tramways 1921/07-1921/12 page 249
- (27) Revue générale des chemins de fer et des tramways 1921/07-1921/12 page 243

- (28) La Nature-1921 quarante-neuvième année, premier semestre : n.2439-2464 page 416
- (29) Pratique de la soudure autogène autogène par Franche & Seferian encyclopédie Roret 1931 page 220
- (30) La Nature-1932 Soixantième année, premier semestre : n.2872-2883 page 559
- (31) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1924/05/24) page 512
- (32) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/5/52/SS_Tubantia.jpg
- (33) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 Académie de Marine par Maurice Lebrun page 22
- (34) http://jcautran.free.fr/archives_familiales/activites_depuis_2004/2011_conferece_ASAM_liberte/amas_ferraille.jpg
- (35) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1925/03/14) page 250
- (36) <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k717606q.item>
- (37) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1925/03/14) page 254
- (38) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1925/03/14) page 267
- (39) Le génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères (1925/03/14) page 253
- (40) <http://doc.rero.ch/record/182114/files/1923-12-06.pdf>
- (41) La Machine moderne 1936/01-1936/06 page 275
- (42) <http://www.collindubocage.com/html/fiche.jsp?id=3224019&np=9&lng=fr&npp=20&ordre=&aff=1&r>
- (43) DYKKEHISTORISK TIDSSKRIFT Nr 50-17 Argang 2013 page 12
- (44) La pratique du soudage oxyacétylénique et des techniques connexe par A. Leroy, M. Evrard et G. d'Herbemont page 277
- (45) <http://www.simonszand.net/Usine%20elevatoire%20de%20Briare.html>
- (46) Les Pieds-Lourds Histoire des scaphandriers à casques français par G. Millot/Le chasse-marée éditions de l'estran 1982 page 156
- (47) Chalumeau BDC document personnel
- (48) <http://historiadeunbuzo.blogspot.be/2010/11/equipo-de-buzo-clasico-siebergorman-co.html>
- (49) Paris-Soir 8/9/1938
- (50) http://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/t_ku-xlarge/wyq3a7llzmywjoketlqo.jpg
- (51) L'or et la griffe par Claude Rabault Terre de Brume Editions 1995
- (52) <http://www.pieds-lourds.com/Pages/pages.htm>
- (53) History of Industrial Gases par Ebbe Almqvist page 360
- (54) Gas torch and thermit welding by E.Vial Mc Graw-Hill Book Company 1921 page 75
- (55) Gas torch and thermit welding by E.Vial Mc Graw-Hill Book Company 1921 page 94
- (56) Gas torch and thermit welding by E.Vial Mc Graw-Hill Book Company 1921 page 94
- (57) <http://www.pieds-lourds.com/Pages/pages.htm>
- (58) [https://en.wikipedia.org/wiki/Saint_Paul_\(1895\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Saint_Paul_(1895))
- (59) http://www.maritimequest.com/daily_event_archive/2008/04_apr/photos/25_ss_st_paul.jpg

- (60) Popular Mechanics Magazine sept. 1925 page 438
- (61) http://historylink101.com/bw/Early_Scuba/slides/IMG_5585_s2a.jpg
- (62) Popular Science dec. 1925 page 9
- (63) Popular Science dec. 1925 page 11
- (64) NAVY DEPARTMENT REPORT ON SALVAGE OPERATIONS SUBMARINE S-51 BY EDWARD ELLSBERG LIEUTENANT COMMANDER, CONSTRUCTION CORPS UNITED STATES NAVY SALVAGE OFFICER UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE WASHINGTON 1927 page 10
- (65) Men under the sea by Rear Admiral Edward Ellsberg
- (66) Popular Science June. 1926 page 18
- (67) Popular Science June. 1926 page 18
- (68) E.Ellsberg, of Westfield, New Jersey. Underwater Torch and method therefor. Application filed Dec. 20,1927. Serial n° 241.387
- (69) http://www.ebay.ie/itm/HARD-HAT-DIVER-1929-DEEP-DIVING-BOOK-SALVAGE-RARE-/251782484564#viTabs_0
- (70) NAVY DEPARTMENT REPORT ON SALVAGE OPERATIONS SUBMARINE S-51 BY EDWARD ELLSBERG LIEUTENANT COMMANDER, CONSTRUCTION CORPS UNITED STATES NAVY SALVAGE OFFICER UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE WASHINGTON 1927 page 15
- (71) NAVY DEPARTMENT REPORT ON SALVAGE OPERATIONS SUBMARINE S-51 BY EDWARD ELLSBERG LIEUTENANT COMMANDER, CONSTRUCTION CORPS UNITED STATES NAVY SALVAGE OFFICER UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE WASHINGTON 1927 page 36
- (72) NAVY DEPARTMENT REPORT ON SALVAGE OPERATIONS SUBMARINE S-51 BY EDWARD ELLSBERG LIEUTENANT COMMANDER, CONSTRUCTION CORPS UNITED STATES NAVY SALVAGE OFFICER UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE WASHINGTON 1927 page 50
- (73) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/6/64/S-51_Salvage.jpg/300px-S-51_Salvage.jpg
- (74) 20000 Jobs Under the Sea A History of Diving and Underwater Engineering by T.R.Parker Sub-Sea Archives 1997 page 136
- (75) http://seajunk.com/wp-content/uploads/2014/04/torch_1.jpg
- (76) Engineering News Record, March 11, page 373-375
- (77) The Professional Diver's Handbook by John Bevan Submex 2005 page 118
- (78) Underwater Work by Cayford Cornell Maritime Press 1966 page 112
- (79) <http://i.ebayimg.com/images/g/X54AAOSwVL1WBDMP/s-l300.jpg>
- (80) Ebay
- (81) Ebay
- (82) Ebay
- (83) <https://archive.org/stream/literarydigest65newy#page/n671/mode/2up/search/Reliant>
- (84) «Everything for the diver » « Everything for Submarine Operations » Siebe Gorman and Company,Limited / « Neptune » works, London, S.E.1 page 86-87
- (85) « Everything for the diver » « Everything for Submarine Operations » Siebe Gorman and Company,Limited / « Neptune » works, London, S.E.1 page 88

- (86) Shipbuilding & Shipping Record
1933 vol 41 page VI
- (87) The Electrical Journal volume 120
page 308
- (88) <https://sites.google.com/site/rexidesilva/history-of-diving-in-sri-lanka>
- (89) DYKKEHISTORISK
TIDSSKRIFT Nr 50-17 Argang 2013
page 4
- (90) Deep Diving and Submarine
Operation by Robert H.Davis
/Siebe,Gorman & Company LTD
CWMBRAN, GWENT 175
Anniversary edition / page 221
- (91) Deep Diving and Submarine
Operation by Robert H.Davis
/Siebe,Gorman & Company LTD
CWMBRAN, GWENT 175
Anniversary edition / page 222
- (92) Marine Salvage by Joseph N. Gores
1972 David & Charles page 288-289
- (93) https://www.the-blueprints.com/blueprints-depot-restricted/ships/battleships-uk/hms_valiant_1942_battleship-64634.jpg
- (94) Deep Diving and Submarine
Operation by Robert H.Davis /Siebe,
Gorman & Company LTD
CWMBRAN, GWENT 175
Anniversary edition / page 223
- (95) Buvarismeretek by Ugray Karoly
1953 page 73
- (96) Buvarismeretek by Ugray Karoly
1953 page ??
- (97) http://www.mcdoa.org.uk/RN_Diving_Magazine_Vol_15_No_2.pdf page 12
- (98) <http://d121tcdkpp02p4.cloudfront.net/clim/112031/CIMG1409.JPG>
- (99) The Professional Diver's Handbook
by John Bevan Submex 2005 page 118
- (100) <https://pp.vk.me/c619917/v619917217/cdc1/p215pO7s5ws.jpg>
- (101) http://www.mcdoa.org.uk/RN_Diving_Magazine_Vol_15_No_2.pdf page 12
- (102) The Master Diver and the
Underwater Sportsman by Capt.
T.A.Hampton 1970 David & Charles
page 144
- (103) <http://www.pieds-lourds.com/Pages/pages.htm>
- (104) Buvarismeretek by Ugray Karoly
1953 page 70
- (105) Buvarismeretek by Ugray Karoly
1953 page 72
- (106) Buvarismeretek by Ugray Karoly
1953 page 74
- (107) Underwater Work by Cayford
Cornell Maritime Press 1966 page 112
- (108) The Master Diver and the
Underwater Sportsman by Capt.
T.A.Hampton 1970 David & Charles
page 102
- (109) http://alahliyah.com/?page_id=7947
- (110) <http://www.pvlint.com/>
- (111) <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=827342850648855&set=o.249684318499419&type=3&theater>
- (112) <http://www.saf-fro.fr/file/otherelement/pj/t%C3%A3%C2%AAtes%20de%20coupe37989.pdf>
- (113) <http://www.petrogen.com/>
- (114) <http://eu.harrisproductsgroup.com/en/Products/Equipment/Torches/Straight-Cutting/model-62-3fw.aspx>
- (115) L'emploi du chalumeau et de l'arc
électrique dans les travaux sous-marins
1945 Académie de Marine par Maurice
Lebrun page 22
- (116) Deep Diving and Submarine
Operation by Robert H.Davis /Siebe,
Gorman & Company LTD
CWMBRAN, GWENT 175
Anniversary edition / page 228

- (117) Popular Mechanics Magazine Aug. 1934 page 164
- (118) <http://www.google.com/patents/US1324337>
- (119) RALPH E. CHAPMAN, OF MIAMI, FLORIDA. APPARATUS For CUTTING on WELDING METAL. Application October 9, 1925. Serial No. 61,391.
- (120) Popular Science Nov.1932 page 52
- (121) Popular Mechanics Magazine May 1922 page 682
- (122) Pacific Marine Review 1919 page 598
- (123) Pacific Marine Review 1922 page 338
- (124) Popular Mechanics Magazine May 1922 page 682
- (125) Pacific Marine Review 1922 page 338
- (126) Engineering news-record vol 90, n°10 march 8 1923 page 454
- (127) Engineering news-record vol 90, n°10 march 8 1923 page 454
- (128) http://paris-tx-naacp.blogspot.be/2011_08_01_archive.html
- (129) Marine Salvage by Joseph N. Gores 1972 David & Charles page 119-123
- (130) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 Académie de Marine par Maurice Lebrun page 23-24
- (131) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 Académie de Marine par Maurice Lebrun page 30
- (132) The Historical Diving Society Italia hds_48 pdf page 9
- (133) <http://www.google.com/patents/US2210640>
- (134) Divers Manual 1948 US Navy Training School (Salvage) Navy Yard Annex Bayonne New Jersey/Reproduction by the Historical Diving Society USA Santa Barbara, California fig.17
- (135) Divers Manual 1948 US Navy Training School (Salvage) Navy Yard Annex Bayonne New Jersey/Reproduction by the Historical Diving Society USA Santa Barbara, California fig.10
- (136) Underwater Work by Cayford Cornell Maritime Press 1966 page 93
- (137) Marine Salvage by Joseph N. Gores 1972 David & Charles page 299-300
- (138) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 Académie de Marine par Maurice Lebrun page 30
- (139) L'emploi du chalumeau et de l'arc électrique dans les travaux sous-marins 1945 Académie de Marine par Maurice Lebrun page 30
- (140) Deep Diving and Submarine Operation by Robert H.Davis /Siebe, Gorman & Company LTD CWMBRAN, GWENT 175 Anniversary edition / page 228
- (141) <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10201906456641309&set=g.168828609978762&type=1&theater>
- (142) Brochure Sogetram
- (143) Divers Manual 1948 US Navy Training School (Salvage) Navy Yard Annex Bayonne New Jersey/Reproduction by the Historical Diving Society USA Santa Barbara, California section 16
- (144) Commercial Oil-Field Diving by N.B. Zinkowski CMP 1971 page 170
- (145) <https://www.google.com/patents/US2417650>
- (146) http://shelfspb.ru/upload/structure_1/1/1/6/structure_116/structure_property_image_83.jpg

- (147) <http://images.marinetechologynews.com/images/maritime/w400/image-broco-underwater-22265.jpg>
- (148) <https://www.facebook.com/kirby.morgan.apparel/photos/a.312480892127738.68021.288917144484113/1074685842573902/?type=3&theater>
- (149) <http://www.saimm.co.za/Conferences/FurnaceTapping/203-Dienenthal.pdf>
- (150) Characteristics of Burning Bars Important to Their Being Used for Underwater Salvage Operations G.H. Alexander (Batelle Memorial Institute) Offshore Technology Conference 1969
- (151) Anciens de Comex group memories of MCP 01 concrete cutting
- (152) <https://www.facebook.com/deivis.villalobos.9/videos/10207700185759910/>
- (153) <http://www.google.ch/patents/US3591758>
- (154) https://www.ohgtech.com/wp-content/uploads/2014/12/IMG_5359-500x500.jpg
- (155) U.S.Navy Salvage Manual Volume 1 Strandings, Harbor Clearance and Afloat Salvage Revision 2 2013 Published by Direction of Commander, Naval Sea Systems Command page 301
- (156) NAVY EXPERIMENTAL DIVING UNIT REPORT NO. 7-84 EVALUATION OF THE KERIE CABLE THERMAL ARC CUTTING EQUIPMENT SUSAN J. TRUKKEN JULY 1984/ DEPARTMENT OF THE NAVY NAVY EXPERIMENTAL DIVING UNIT PANAMA CITY. FLORIDA 32407 page 9
- (157) Experimental Diving Unit Report 24-72 / Evaluation of the Thermo-Jet cutting Torch by LTJ G B. LEBENSON, USNR and HTL.J.SCHLEGEL, USN/ Navy Experimental Diving Unit Washington Navy Yard 1973 page 11
- (158) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Underwater_Kerie_cable.jpg
- (159) <http://www.specialwelds.com/products/swordfish.asp>
- (160) <http://www.specialwelds.com/videos/swordfish-1.htm>
- (161) F.Hermans personal photo from plasma cutting test at BDC in Sept. 2012
- (162) http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1061#_Conventional_Plasma_Arc
- (163) Information anciens de Sogetram (Pierre Graves et Felix Cobos)
- (164) <http://www.asptr.lv/en/performed-works.html>
- (165) <http://www.asptr.lv/en/performed-works.html>
- (166) Code of Practice for The Safe Use of Electricity Under Water IMCA 045 page 22
- (167) <http://www.air-plasma.com/P30u.htm>
- (168) <http://www.air-plasma.com/P30u.htm>
- (169) <http://www.miles-water.com/underwater-plasma-cutting.html>
- (170) The Use of Divers for the Internal Underwater Segmentation of Steam Generators to Support Decommissioning - 14033 Charles A. Vallance (USA) Underwater Engineering Services, Inc.
- (171) F.Hermans personal photo from plasma cutting test at BDC in Sept. 2012
- (172) Divers Manual 1948 US Navy Training School (Salvage) Navy Yard Annex Bayonne New Jersey/Reproduction by the Historical

Diving Society USA Santa Barbara,
California section 17 Plate 2

- (173) F.Hermans personal data from
plasma cutting test at BDC in Sept.
2012
- (174) F. Hermans log book 3 April 1980
Zeebrugge 16,5 m vertical cut in
sheetpile in 15 minutes.
- (175) F. Hermans log book 17 April 1981
G.O.M cutting of a 20" pipe in 3
minutes.
- (176) F. Hermans log book 10 May 1991
Cameroun cutting of a 24" conductor
pipe in 5 minutes.
- (177) <http://www.historicdiving.com/index.php/my-portfolio/videos/item/883-welding-under-water-video>
- (178) [http://www.thediversassociation.com/index.php/sheets incidents list and news paper achives](http://www.thediversassociation.com/index.php/sheets_incidents_list_and_news_paper_achives)
- (179) Evaluation Report of Swordfish
Iron Oxide Cutting Electrode Shell
April 2004 page 16