



HAL
open science

L'introduction de l'électricité dans la marine militaire, 1880 – 1935

Didier Robineau

► **To cite this version:**

Didier Robineau. L'introduction de l'électricité dans la marine militaire, 1880 – 1935. Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences. Université de Nantes, 2019. Français. NNT : . tel-02876149

HAL Id: tel-02876149

<https://shs.hal.science/tel-02876149>

Submitted on 20 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE NANTES

COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 604

Sociétés, Temps, Territoires

Spécialité : Epistémologie et histoire des sciences et des techniques

Par **Didier ROBINEAU**

L'introduction de l'électricité dans la marine militaire, 1880 – 1935.

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 6 mai 2019

Unité de recherche : Centre François VIETE

Thèse N° :

Rapporteurs avant soutenance :

Pierre LAMARD Professeur des Universités, Université de Technologie de Belfort Montbéliard
Bruno MARMOT Professeur des Universités, Université de La Rochelle

Composition du Jury :

Président :

Liliane PEREZ Professeur des Universités, Université de Paris, Lab. ICT

Examineurs :

Pierre LAMARD Professeur des Universités, Université de Technologie de Belfort, Lab. FETO/RECITS
Bruno MARMOT Professeur des Universités, Université de La Rochelle, Lab.CRHIA

Directrice de thèse : Martine ACERRA Professeur Emérite des Universités, Université de Nantes

Encadrant de thèse : Jean-Louis KEROUANTON Maître de conférences, Université de Nantes

Invité(s)

Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de thèse, Martine ACERRA, Professeur émérite des Universités, pour la confiance qu'elle m'a témoignée en acceptant de diriger cette recherche, pour ses conseils amicaux, le temps qu'elle a partagé avec moi, sa bienveillance et ses éclairages sur l'univers académique.

Je remercie pour leurs concours actifs et leurs conseils les membres du Centre François VIETE, plus particulièrement Pierre SAVATON, Jenny BOUCARD, Anaïs DURAND, Stéphane TIRARD, Jean-Louis KEROUANTON. Cette thèse n'aurait pas cette forme sans les échanges fructueux de mails avec Pierre TESSIER et David PLOUVIEZ.

Ce travail m'a amené à solliciter les connaissances du personnel du Service Historique de la Défense sur plusieurs sites : Cherbourg, Brest, Lorient, Chatellerauld et Vincennes. Sans aucun chauvinisme morbihannais, je souhaite dire toute mon estime à l'équipe du SHD de Lorient. La qualité de l'accueil et la pertinence de leurs conseils, tout particulièrement ceux de leur responsable, Jean-Claude LEROUX, m'ont réellement nourri et soutenu dans ce marathon qu'est une thèse.

S'appuyer sur les travaux de nos collègues est un privilège rare. Pascal ROBERT m'a généreusement ouvert les archives de sa propre thèse, un geste dont je tiens à lui rendre hommage. De même, Matthieu CASALI m'a communiqué son travail de mémoire et surtout sa version informatique, précieux outil pour trouver efficacement des pépites dans la Revue Maritime.

L'histoire des techniques dans la marine contemporaine a ses passionnés, certains parmi eux sont des universitaires : les encouragements d'Isabelle DELUMEAU m'ont stimulé au bon moment. Stéphane SIRE, HDR brestois, a su m'épauler : son amicale écoute, ses compétences scientifiques et ses qualités humaines furent une ressource précieuse.

Une thèse ressemble étrangement à un marathon, c'est une course solitaire que l'on apprécie de faire avec un comparse. Pierre-Yves LEPAGE est ce complice, doctorant dans l'âme, historien reconnu par l'Académie de Marine avec tous les Présidents du GRIEME.

Enfin, je ne pourrais finir sans adresser mes remerciements à mon épouse Dominique et mes enfants pour la patience dont ils ont su faire preuve et le soutien moral apporté; ainsi qu'aux amis qui m'ont toujours soutenu dans ma démarche : François, Christine, Yann, Jean-Luc, Alain, Christophe...

Je ne saurais être exhaustif dans la liste des personnes m'ayant aidé durant ces quatre ans; aussi, je présente d'ores et déjà mes excuses pour ne pouvoir citer tout le monde et si je fais quelques oublis, ils sont involontaires.

Quand le sage désigne la lune,
l'idiot regarde le doigt.

Proverbe bouddhiste

Table des matières

Introduction.....	9
1. Un objet déterminant, le projecteur photo-électrique.....	19
Introduction au chapitre 1.....	20
1.1.Le contexte spécifique du projecteur embarqué et les exigences de la Marine.	31
1.2.Les premières déclinaisons du projecteur électrique dans la Marine française.	32
1.2.A.Le système technique d'éclairage du Richelieu en 1879.....	34
1.2.B.Un sous-système technique électrique en courant continu.....	36
1.3.L'épreuve du combat et les premiers résultats dans la Marine française.....	43
1.4.Vers un usage maîtrisé des projecteurs dans la Flotte.....	47
1.5.Le projecteur de 1880-1935, un cumul d'ajustements incrémentaux.....	49
1.6.Les projecteurs de l' <i>Emile Bertin</i>	56
1.6.A.Présentation générale du bâtiment.....	56
1.6.B.Un projecteur avant et deux projecteurs arrière.....	57
1.6.C.Une technologie mature avec des améliorations marginales.....	61
1.7.Conclusion du chapitre 1, l'électricité est devenue une énergie du bord.....	61
2.L'éclairage intérieur, un système technique complexe.....	63
Introduction au chapitre 2.....	64
2.1.La quête d'un système technique fiable.....	68
2.2.Les premières déclinaisons pour les navires militaires.....	69
2.2.A.La flotte française.....	70
2.2.B.Quelques flottes étrangères.....	74
2.3.La complexité d'un système électrique à la mer.....	77
2.3.A.L'augmentation des usages prioritaires.....	78
2.3.B.Le câblage, canalisations principales et secondaires.....	96
2.3.C.Le tableau électrique : de répartition ou de distribution ?.....	106
2.3.D.Le niveau de tension et la taille des navires.....	121
2.3.E.Les génératrices : nombre, stabilité et emplacement.....	126
2.4.A l'épreuve des combats, le retour d'expérience.....	130
2.4.A.Proposer une vision d'ensemble du système électrique.....	130

2.4.B.Etre une ressource clé pour tous les services du bord.....	132
2.4.C.Fiabiliser le fonctionnement intégré du système.....	134
2.4.D.Améliorer la pose et l'identification des canalisations.....	136
2.4.E.Sécuriser la protection contre les surcharges.....	138
2.4.F.Ajuster les moyens et les missions de l'équipage.....	139
2.5.Les évolutions du contexte scientifique et technique.....	140
2.5.A.Les ampoules.....	143
2.5.B.Les isolants électriques.....	147
2.5.C.L'apport de l'archéologie subaquatique.....	152
2.5.D.Le courant alternatif et ses régulations.....	154
2.6.La particularité du croiseur Emile Bertin.....	156
2.6.A.Une base de configuration classique.....	156
2.6.B.Un tableau de distribution AV spécifique avec des verrouillages.....	156
2.6.C.Une conception classique sans innovation.....	157
2.7.Conclusion du chapitre 2, les choix s'annoncent.....	158
3.Marins et électriciens.....	160
Introduction au chapitre 3.....	161
3.1.Les métiers d'électricien en 1875.....	163
3.1.A.La profession à terre à la fin du XIX ^e siècle.....	164
3.2.L'avènement des électriciens dans la Flotte.....	168
3.3.La famille des électriciens autour du navire militaire.....	172
3.3.A.Les constructeurs du navire.....	172
3.3.B.Le personnel embarqué.....	180
3.4.Quelles formations spécialisées pour les équipages ?.....	191
3.4.A.Dans la flotte française.....	191
3.4.B.Dans les flottes étrangères.....	209
3.5.Les électriciens de l' <i>Emile Bertin</i>	211
3.5.A.Du matériel en quantité et sa documentation.....	211
3.5.B.Les conditions de travail.....	212
3.5.C.Le professionnalisme.....	213
3.5.D.Les gestes faits à bord.....	213
3.6.Conclusion du chapitre 3, les pratiques se diffusent.....	214

4.L'électricité au service de l'artillerie.....	215
Introduction du chapitre 4.....	216
4.1.L'artillerie à terre et l'artillerie dans l'environnement marin.....	219
4.1.A.Les mouvements canon / cible.....	220
4.1.B.La puissance de feu et la précision des tirs.....	222
4.2.Les performances des obus.....	223
4.2.A.L'impact sur la manutention des obus et des gargousses.....	223
4.2.B.Les canons et des tourelles blindées, une inflation des masses.....	224
4.3.Les mouvements des tourelles blindées et des canons.....	225
4.3.A.La motorisation à vapeur ou pneumatique.....	226
4.3.B.La motorisation hydraulique.....	227
4.3.C.La motorisation électrique.....	229
4.4.L'électricité et la transmission des informations.....	240
4.4.A.Les sonnettes, la téléphonie et la télésignalisation.....	240
4.4.B.Le télépointage et la mise à feu des amorces.....	240
4.4.C.L'absence d'outil scientifique pour la régulation.....	241
4.5.L'Émile Bertin en 1935.....	242
4.5.A.Son potentiel offensif.....	242
4.5.B.Le matériel électrique dédié à l'artillerie.....	242
4.5.C.L'électricité : des tensions avec la Direction de l'Artillerie Navale....	243
4.6.Conclusion du chapitre 4, dans l'attente d'asservissements performants.....	244
Conclusion générale.....	246
Annexes.....	251
Annexe 1 - Historique succinct des anciennes unités d'éclairage.....	251
Annexe 2 - Des moteurs pour les génératrices électriques.....	253
Annexe 3 - Des génératrices électriques.....	268
Annexe 4 - Etude d'un patrimoine sous-marin : une canalisation électrique.....	277
Annexe 5 - Les marins électriciens dans les règlements du « Service à bord ».....	279
Table des illustrations.....	299
Sources et bibliographie.....	304
Sources manuscrites.....	304
Service Historique de la Défense.....	304

ENSM de Nantes – Centre de Documentation.....	305
Sources imprimées.....	306
Les ouvrages.....	306
Les périodiques.....	311
Bibliographie.....	313

Introduction

Après des siècles de navigation à la voile, le Conseil d'État acte en 1858 du tournant de la vapeur: « *Un navire à voiles, quel que pu être le nombre de ses canons, [cesse] d'être considéré comme un navire de guerre* ». Cette décision¹, à la fois prudente et téméraire, fait le constat de la maturité d'une technologie ayant prouvée la réussite de son adaptation au milieu maritime. L'enjeu de ce choix audacieux est de prendre une initiative majeure face à l'ennemi et de doter le pays des meilleurs équipements techniques du moment. Dominique BRISOU décrit ce cheminement long et laborieux, parsemé tour à tour d'impasses et de succès. L'introduction de la propulsion à vapeur est incontestablement un marqueur dans l'histoire navale, la profusion d'une énergie mécanique à bord bouleverse les capacités militaires des navires, elle amène stratèges et tacticiens à redéfinir le paradigme de la puissance navale. En 1935, le succès du transatlantique Le Normandie confère à la propulsion navale électrique sa pleine reconnaissance en France. Alors que l'étude approfondie de la question de l'introduction des techniques électriques dans la marine marchande a déjà été traitée en 2008 par Pascal ROBERT, qu'en est-il de l'introduction des techniques électriques dans la marine militaire ? C'est à cette question que ce travail entend apporter une contribution.

Alors qu'au XVIII^{ème} siècle l'électricité débute sa carrière comme un phénomène de salon, la succession ininterrompue des travaux de la communauté scientifique donne à cette branche de la Physique des débouchés techniques multiples. Dans les années 1840, le télégraphe bouleverse les communications humaines au travers d'un dispositif simple et inédit. Sur le fond, cette technique électrique dissocie spatialement, avec une grande économie de moyens, la cause de l'effet obtenu : le manipulateur est distant de plusieurs centaines de mètres du récepteur et l'énergie nécessaire se limite à une modeste pile électrochimique. Ce dispositif permet de transmettre à distance une action simple, à laquelle on peut associer une interprétation et une valeur informative. Ces techniques électriques auront ultérieurement leur développement propre, focalisé sur l'amélioration des attributs de ce que je désigne comme le « fluide électrique à faible énergie » afin de ne pas recourir au vocabulaire contemporain de « courant faible ». Dès 1850, de nombreux équipements industriels mettent en œuvre des piles électrochimiques et des machines électromagnétiques, sources d'applications pour ce nouveau fluide. Mais c'est couplé à l'énergie mécanique de la machine à vapeur que la technologie électrique va accéder à son vrai champ de liberté, celui d'une énergie secondaire souple et distribuable. Ces qualités en devenir stimulent la curiosité des scientifiques et la créativité des techniciens, le tout sous l'œil intéressé des industriels et des hommes d'affaire. La diffusion de la technologie électrique dans la marine militaire est d'ailleurs un chantier toujours ouvert à ce jour, de nouvelles applications de l'électrotechnique arrivent très régulièrement à bord des bâtiments militaires: le canon électromagnétique et la catapulte magnétique pour les porte-avions sont les derniers développements majeurs rendus publics.

Le sujet est donc largement contemporain et l'une des premières difficultés de l'historien est de borner temporellement sa recherche tout en ayant bien à l'esprit le caractère arbitraire et transitoire de ce choix. Les travaux de Jacques LE GOFF sur la fragilité de la

¹ Christiane Villain-Gandossi, Deux siècles de constructions et chantiers navals milieu XVII^e -milieu XIX^e siècle [actes du 124e congrès des sociétés historiques et scientifiques, section sciences géographiques et environnement, Nantes, 19-26 avril 1999], Paris, Ed. du CTHS, 2002, 1 vol. (304 p.)

périodisation en histoire sont une référence incontournable. Cette thèse n'échappe pas donc au « problème de savoir si l'histoire est une et continue ou sectionnée en compartiments ? ». De son côté, François JULIEN, philosophe et sinologue, souligne les écarts entre la tradition philosophique occidentale articulée autour de la transcendance et du concept d'événement, face à la pensée chinoise appuyée sur la philosophie de l'immanence et le concept de changement. Sans se focaliser sur une rupture ou un saut, l'imaginaire chinois se représente le réel et son mouvement comme un processus long. Cette transformation en action comporte des étapes remarquables auxquelles il n'accorde pas un statut prépondérant. Le mouvement prime sur les étapes et les événements dont les définitions sont, somme toutes, des conventions. Les travaux de ces deux universitaires m'ont offert un recul salutaire. Alors même que le cadrage de la période du champ de recherche est une des exigences de la démonstration historique, il me semble indispensable de garder un recul pragmatique face à ce choix nécessaire et arbitraire. Cette posture est d'ailleurs largement confortée par les travaux de POPPER : accepter la réfutabilité de ses hypothèses est une obligation scientifique qui ouvre la possibilité d'une controverse, joute intellectuelle fructueuse.

Définir le domaine d'étude.

Le domaine d'étude doit donc être restreint et contenu, faute de trop vouloir étudier et de ne faire qu'un survol du sujet, au pire un catalogue d'objets techniques sans lien ni sens. Pour cela, la recherche s'est limitée aux usages de l'électricité en tant qu'énergie, délaissant le champ de l'électricité en tant que média support d'une communication, d'un signal, ou plus globalement d'une information. La définition de cette frontière par les usages peut sembler anachronique, surtout si l'on emploie des termes contemporains pour en décrire les fondements. En effet, le concept de signal en électricité apparaît au XX^e siècle, il est associé aux travaux sur la théorie de la régulation qui sont développés vers 1930 par BODE, BLACK et NYQUIST. Je m'appuierai plutôt sur le pragmatisme en vigueur à la fin du XIX^e siècle lorsque le grand public retient une typologie de trois applications de l'électricité: le télégraphe (le téléphone en étant son descendant), la lumière et la force motrice. Les années passant², le champ des connaissances scientifiques s'élargit et les déclinaisons techniques se spécialisent dans un mouvement complémentaire. La classification populaire pragmatique du XIX^e siècle n'est certes plus opératoire aujourd'hui, mais elle avait sa pertinence. L'usage des sonneries et des téléphones est contemporain à l'étude, mais ces matériels concernent essentiellement une transmission d'information entre individus. Fort de cette observation, le domaine d'étude se restreint aux usages autres que la téléphonie et le signal. *A contrario*, la commande et le contrôle à distance sont considérés comme des accessoires liés à une fonction principale, la manœuvre du gouvernail ou d'une pièce d'artillerie par exemple. Les usages d'asservissement et de commande à distance des équipements mettant en œuvre l'énergie électrique seront étudiés alors que les applications de téléphonie, de radio, de l'électronique et de l'informatique seront donc hors champ.

2 La modélisation opératoire de l'atome ouvre la voie de l'électronique, branche vigoureuse qui donnera nombre d'applications dont la classification requiert aujourd'hui un arbitrage d'experts. A titre d'exemple, l'électronique actuelle est indissociable des télécommunications, tout en nous proposant des sources lumineuses de qualité (LED ou laser) et en contrôlant l'énergie électrique au travers des semi-conducteurs de puissance. L'invention en 1904 de la lampe diode par Sir John FLEMING induit une nouvelle discipline: l'électronique et le passage du courant dans le vide. La frontière en électrotechnique et électronique s'est affinée dès 1920 avec les redresseurs à lampes, puis avec les semi-conducteurs; les courants faibles sont un autre domaine de recherche historique.

Le sous-marin militaire, véritable usine d'énergie où la propulsion électrique est imbriquée depuis son origine, requiert une mise en œuvre particulière et très spécifique : l'histoire de la sous-marine comporte plusieurs objets de recherche en soi. Un travail majeur a déjà été réalisé par Dominique BRISOU en 2007³ au travers de sa publication « La propulsion du sous-marin français des origines à 1940 ». Une étude sur la place de l'électricité à bord de ces navires est essentielle⁴ mais le champ de recherche est trop vaste pour la présente contribution, même si quelques éléments pertinents devront être mentionnés.

Définir la plage temporelle d'étude.

La borne initiale de la période d'étude, les années 1880, semble la plus facile à déterminer, puisqu'elle est largement dépendante de la diffusion des applications de l'électricité à terre, étape préalable à l'embarquement de cette technique. À noter qu'il est nécessaire de bien dissocier deux contextes, celui de la marine marchande et celui de la marine militaire, les exigences du combat naval étant beaucoup plus contraignantes que celles de la navigation commerciale. Néanmoins, la posture de la marine militaire est paradoxale. Monument de prudence et d'une certaine forme d'attachement aux traditions qui ont incontestablement fait leur preuve, la marine militaire est aussi un espace très ouvert à l'expérimentation, à l'audace et à la prise de risque. Comme à terre, l'électricité s'est invitée à bord pour éclairer, d'abord au loin (vigilance militaire), puis à l'intérieur des locaux aveugles multiples créés par le blindage. Les outils disponibles sont les mêmes qu'à terre: lampe à arc, piles électrochimiques puis machines magnétoélectriques. Sous réserves des remarques antérieures sur la difficulté de phaser un processus, il apparaît pertinent de retenir les années 1880 comme charnière pour cette étude. La décennie précédente comprend des expérimentations ponctuelles s'appuyant sur l'industrialisation de la dynamo de GRAMME en 1869 et une installation «prototype» de projecteur photo-électrique embarqué dès 1879: l'intérêt de déployer ce type de matériel est alors confirmé.

Outre atlantique, le développement du complexe techno-industriel pose le débat du système de distribution continental de l'énergie électrique : courant continu ou courant alternatif. La vieille Europe fait face à la même question, sans que ses experts n'aboutissent à un consensus. Alors que le courant alternatif se prête bien au transport à distance, le courant continu permet de répondre à l'irrégularité du plan de charge journalier par l'imbrication d'accumulateurs dans les stations centrales. Les multiples usages complexifient l'appréciation de ce problème dont la résolution optimum ne semble pas être unique. Selon l'importance du besoin en force motrice, la concentration de la production et de l'étendue géographique du système électrique, différentes réponses techniques font jour avec des écarts notables entre les différents systèmes alternatifs, que ce soit en nombre de phases (d'une à quatre), en fréquence⁵ (de 30 à 50 périodes) ou en niveau de tension. En France, l'arbitrage entre les options continu versus alternatif reste en devenir jusqu'en 1946, mais cela ne bloque en rien

3 Dominique BRISOU, La propulsion du sous-marin français des origines à 1940, Service Historique de la Défense., Paris, 2007, p. 394-398.

4 Entre 2000 et fin 2017, l'ensemble des sous-marins en service dans le monde a reconnu 29 accidents majeurs, dont 17 d'origine technique: l'électricité est en facteur principal pour trois troisd'entre eux, soit 18%. (https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_d%27accidents_impliquant_des_sous-marins_depuis_2000#Naufrage_du_Ming_361)

5 François CARON et Fabienne CARDOT, Histoire de l'électricité en France - Tome premier 1881-1918, Paris, Fayard, 1991, p. 362.

l'extension du secteur électrique : la consommation nationale⁶ passe de 340 GWh en 1901 à 2900 GWh en 1919. De leur côté, les activités militaires maritimes participent sur cette période, et avec leurs propres spécificités, à ce mouvement d'effervescence et de créativité. Les objets techniques électriques sont omniprésents à bord, la longueur des conducteurs électriques installés se mesure en kilomètres. Bien que l'électricité ait conquis de nombreux usages à bord, la question fondamentale reste toutefois le choix du « standard électrique » pour une flotte : courant continu ou courant alternatif ?

Cette question porte sur un attribut secondaire du cœur de l'innovation technique, à savoir l'électrification du bord. En effet, l'électricité est une véritable innovation de rupture par rapport à la vapeur car elle permet d'amener l'énergie là où on en a besoin, au plus près de son usage. Sous cet angle, sa distribution en courant continu ou alternatif pourrait sembler d'un second ordre et donc relever d'une innovation incrémentale. En 1884, alors que la vapeur est devenue la source d'énergie mécanique de référence, sa détente dans une turbine à vapeur est une innovation incrémentale majeure face au moteur à pistons. Ces deux techniques ont longtemps coexisté, chacune ayant son territoire de prédilection. Dès la première guerre mondiale, des turbines à vapeur assurent la propulsion des cuirassés mais les Liberty ships construits en 1945 sont équipés de machines piston à triple expansion. Toutes choses égales par ailleurs, il existe une certaine analogie entre ces deux innovations techniques de rupture (vapeur versus électricité) et leurs innovations incrémentales (piston / turbine versus courant continu / alternatif). Comme pour la motorisation à vapeur, le choix d'un système électrique en courant alternatif interviendra nécessairement en son temps, lorsque les arguments factuels seront décisifs et que le contexte sera propice. Ce processus historique nous renvoie à un temps long, ce qui au sens de l'histoire des techniques contemporaines, privilégie plutôt un rythme décennal, nettement plus rapide que le temps long de Fernand BRAUDEL. La période de notre recherche sera donc limitée à l'arrivée du courant alternatif à bord, préalable à sa généralisation⁷ comme standard.

À l'origine, la distribution d'énergie électrique à bord est en courant continu. Des centrales électriques en courant alternatif à 25 Hz équipent dès 1910⁸ l'arsenal de Toulon : la migration du système électrique à bord vers le courant alternatif se pose donc, ne serait ce que pour offrir une continuité de service entre les navires au port et les équipements des arsenaux. Dans une dynamique propre mais distincte de ce qui existe à terre, la marine militaire amorce un mouvement vers l'implantation du courant alternatif pour ses systèmes électriques embarqués. Dans les faits, chaque flotte nationale procède à ses expérimentations, préludes à une définition de son standard ultérieur. Par nature, les équipements TSF du bord comportent des dispositifs à courant alternatif. Dès 1916, les tourelles d'artillerie de cuirassés intègrent des équipements en courant alternatif. En 1920, l'US Navy dote le cuirassé *USS Tennessee* d'une propulsion en courant alternatif. Une fois acquis les avantages d'une distribution d'énergie au plus près de l'usage, les attentes se portent sur de nouvelles performances du matériel en terme de vitesse, de précision et de rayon d'action. Pour les équipements électriques des flottes militaires, la décennie 1930 se caractérise par un palier technique relatif car les efforts technologiques se portent désormais sur les équipements électroniques et les dispositifs d'asservissement. Durant la seconde guerre mondiale, les équipages optimisent le contrôle de cette énergie brute grâce aux nouvelles fonctionnalités apportées par

6 Ibid., p. 549.

7 En France, la généralisation du courant alternatif à bord intervient dans les années 1950.

8 Rapport au Sénat n°137 - séance du 29 mars 1913, Paris, 1913, p. 269.

l'électronique et l'automatisme. Ce redéploiement électrique « de qualité » se fera à niveau énergétique quasi constant, sans rendre impérative la migration vers un autre système électrique. La multiplication des équipements électroniques à bord s'intensifie dès la fin des années 40, rendant dès lors nécessaire le passage au courant alternatif.

La présente étude d'implantation de l'énergie électrique à bord est donc bornée à l'année 1935, jalon conventionnel du palier précédant l'innovation incrémentale apportée par le courant alternatif.

L'état de l'art

La problématique de l'implantation de l'énergie électrique sur les navires militaires croise trois domaines de recherche : le développement industriel de l'électricité, la géopolitique militaire des États occidentaux et l'histoire maritime contemporaine. Tous ces domaines ont déjà retenu séparément l'attention des historiens, mais la spécificité de leur entrelacs reste à explorer.

Le développement industriel de l'électricité est magistralement étudié dans les travaux de François CARON et Fabienne CARDOT. Leur ouvrage collectif publié en 1991 présente l'histoire de l'électricité en France sous l'angle d'une histoire globale, en y incluant de nombreux axes. Leur approche générale couvre les systèmes techniques, l'économie, les industries du secteur, les électriciens, les usages de l'électricité, la formation, les territoires et la distribution. Toutefois, cette histoire très complète méconnaît les particularités maritimes, elle ne lève pas l'ancre et reste au port. Certes, tout navire est construit à terre, mais avec des technologies particulières porteuses d'une riche hybridation. Si la validité de la loi d'Ohm n'est pas remise en cause à bord d'un navire, la problématique des usages y est bien différente. La plupart des applications ne sont pas des prestations de confort mais elles concernent des servitudes essentielles à la sécurité collective. A titre d'exemple, une avarie du gouvernail électrique met en danger le navire et l'indisponibilité du dispositif doit être sans conséquence majeure.

Le navire est un « super-système » technique qui associe plusieurs systèmes complexes. Pour un navire militaire, le système de combat prime sur les autres dispositifs. Parmi ces derniers, le système électrique est un convertisseur d'énergie positionné en interface entre une énergie primaire brute et de multiples usages, dont les armes. Deux ouvrages^{9 10} particulièrement exhaustifs écrits par Dominique BRISOU présentent l'histoire des machines thermiques en amont des génératrices électriques. En 1988, sa thèse couvre le vaste domaine du développement de l'énergie vapeur dans la marine militaire française au XIX^e siècle. Son livre publié en 2007 sur la propulsion du sous-marin complète ses travaux précédents en traitant de l'arrivée du moteur diesel, autre type de convertisseur d'énergie toujours en amont des génératrices électriques.

Plus spécifique, le système technique électrique n'a fait l'objet que peu d'articles, signe d'un intérêt restreint ou d'une difficulté d'accès. Ainsi, l'article écrit en 1980¹¹ par un

9 Dominique BRISOU, *Accueil, introduction et développement de l'énergie vapeur dans la marine militaire française au XIX^e siècle*, Paris 4, 1998.

10 Dominique BRISOU, *op. cit.*, 2007.

11 John MABER, *Electrical supply in warships, a brief history*, MoD, 1980.

officier britannique présente un biais majeur ; son auteur livre une vision anglo-saxonne¹² de l'histoire de la fourniture d'énergie électrique dans les navires militaires, les rares exemples étrangers étant au service d'une démonstration du cheminement effectuée par la Royal Navy. De même, J. CUNNINGHAM présente¹³ en 2015 une histoire du système d'alimentation électrique du navire qui vise à expliciter sur 14 pages les origines du navire tout électrique de 2020, à nouveau avec un choix de jalons anglo-saxons. En 1994, l'association pour l'histoire de l'électricité en France organise un séminaire « Electricité, armement, défense ». Les actes de cette journée contiennent¹⁴ une intervention sur la problématique marine et une autre sur la proximité des questions rencontrées par la marine et l'aviation. Tous ces contributions, tant françaises qu'étrangères, posent des jalons chronologiques s'appuyant sur des machines ou des équipements. Le format de ces communications les contraint à des citations succinctes qui laissent parfois le lecteur sans explication sur les causes d'une évolution incrémentale.

La propulsion et le système d'arme sont deux applications énergivores sur un navire militaire. La thèse¹⁵ que Pascal ROBERT a soutenue en 2008 concerne les navires civils de la période et particulièrement le saut technique de la propulsion électrique sur le paquebot *Normandie* en 1935. Le choix du courant alternatif en haut tension est bien une particularité de ce navire civil, sans équivalent militaire¹⁶. De même en 1957 dans son historique de la conduite de tir¹⁷, PEIRA présente le contexte de la motorisation électrique des tourelles blindées. Son approche se focalise sur la chronique des asservissements successifs, l'aspect infrastructure énergétique étant secondaire.

Un élément essentiel reste absent ; le fonctionnement du système électrique complet. Une telle présentation dépasse le paradigme de la juxtaposition d'appareils et de leur description. Il s'agit d'un saut épistémologique du composant à l'ensemble en interaction. De fait, l'architecture d'un système technique, électrique dans le cas présent, sous-tend les qualités du dispositif et les services rendus par ses composants. Cette attention portée au fonctionnement apparaît comme une réponse aux exigences des usages, elle se lit dans les schémas d'exploitation qui sont rendus possibles par la structure du système. Ainsi, lorsque l'orientation des tourelles d'artillerie devient prioritaire, cette préoccupation motive la question de multiplier les possibilités de double ou triple alimentation électrique. Et c'est par le détail des équipements que ce fonctionnement global peut-être atteint, ce dernier est le résultat de dispositions techniques étroitement associées à un savoir-faire, à un art de la conduite du système technique. Cette histoire est absente des travaux disponibles, un regard historique sur l'outil et son usage reste à poser.

Ainsi, l'état de l'art montre des espaces ouverts pour une approche historique aux confins de travaux antérieurs. Il s'agit en quelque sorte de rassembler ce qui est éparé, de combler quelques manques, de bâtir une histoire de ces systèmes et d'éclairer leurs

12 Article consulté le 18/11/2015 <http://www.worldnavalships.com/forums/showthread.php?t=12722>

13 SKJONG et J. CUNNINGHAM, *The Marine Vessel's Electrical Power System _history*, New-York, iee.org/document/7329674/references, 2015.

14 Lucien BLANC, *Electricité, armement, défense*, Paris, Association pour l'histoire de l'électricité en France, 1994.

15 Pascal ROBERT, *Histoire des techniques électriques employées sur les navires civils au XIXe et au début du XXe siècle*, Nantes, 2008.

16 T. E. CASSEY, *Alternating current in the electric plant on naval vessels; JASNE Vol 44*, Washington, R. Beresford, 1932, p. 9999.

17 M. P. PEIRA, *Historique de la conduite de tir dans la marine 1900-1940*, Mémorial de l'artillerie française, 1957.

fonctionnements. Ce travail est dans la droite ligne du propos¹⁸ de Pierre VIDAL-NAQUET, qui disait dans une de ses dernières interviews : "Les historiens établissent des faits avec leurs connexions et ils construisent des ensembles".

Les sources du corpus.

Ce travail de recherche s'appuie sur des archives du Service Historique de la Défense et sur des sources imprimées accessibles physiquement ou par internet. Le fonds d'archives du SHD est d'une très grande richesse et ses pièces uniques apportent des indices précieux tant sur les matériels que sur les hommes qui travaillent avec et autour de ces dispositifs. Les données du SHD couvrent les activités des différents acteurs concernés, de l'ingénieur du Génie Maritime au modeste matelot breveté Électricien. À ce titre, l'étude des courriers échangés lors d'un chantier de construction donne à voir la réalité du terrain, parfois sous une lumière plus crue que dans les ouvrages policés que publient des notables parisiens.

Pour replacer la problématique dans son contexte de l'époque, il est utile d'analyser des publications professionnelles destinées à un public ciblé de scientifiques, de techniciens et mais aussi à des utilisateurs non électriciens. Sur la période 1880-1935, alors que le secteur électrique est en construction, les métiers d'électricien s'organisent et se spécialisent, allant du bobineur à l'ingénieur. La communauté de pratique des électriciens s'appuie sur des périodiques dont le rôle a été largement analysé par Yves BOUVIER¹⁹. Le corpus de recherche comprend les principales revues identifiées par Yves BOUVIER, à savoir : *La lumière électrique*, *L'électricien*, *La revue générale de l'électricité* et *la Nature*. Ces publications citent régulièrement leurs homologues étrangères, contribuant ainsi à irriguer le tissu industriel national des travaux menés par ailleurs. C'est donc en toute logique que le corpus de cette recherche s'est ouvert à quelques références étrangères, en particulier des sources américaines dont la revue *General Electric Review*. En effet, soutenue par l'US Navy, l'industrie électrique américaine, et plus particulièrement General Electric, considère que le domaine maritime est un marché d'avenir. *In fine*, certaines innovations se diffusent ainsi à terme dans toutes les flottes étrangères, poussées par un élan de mondialisation des techniques navales.

Les sources numériques françaises sont particulièrement précieuses, car elles sont variées et très accessibles. Les sources internet les plus pertinentes pour le sujet sont Gallica et le Conservatoire Numérique des Arts et Métiers. Les archives numériques de la bibliothèque du Congrès à Washington sont une autre source de qualité car elles donnent accès aux rapports du Bureau du Renseignement Naval²⁰ : ces documents qui décrivent l'état d'avancement technique des principales flottes comportent des dossiers spécifiques à l'électricité.

Une mise en récit des résultats de la recherche.

Après analyse du corpus, la matière disponible est éparse, du fait de la diversité des informations, et dense du fait de la convergence des indices. La problématique reste entière et

18 Source MOOC Ethique de la recherche sept 2018 sur FranceUniversitéNumérique

19 Yves BOUVIER, Les revues d'électricité et la construction d'une communauté internationale de pratique technologique à la fin du XIX^e siècle, Paris, Le Temps des médias, 2008, p. 72-80.

20 Plus exactement, une série de documents intitulés : *Notes on Naval Progress – Information from abroad – Office of Naval Intelligence*

la restitution de ce faisceau de données doit concourir à donner du sens à ce qui pourrait n'être qu'une collection d'objets techniques. Il s'agit de ne pas délivrer qu'une production littéraire sans pour autant écrire une histoire technique des techniques. La rédaction de la démonstration exige d'être suffisamment étayée sans vouloir être exhaustive, nombre d'éléments d'archives restent donc dans le secret du cahier de thèse.

Quatre objets nous fourniront un chenal d'accès²¹ pour naviguer entre les écueils des composants de ce système technique électrique en évolution. Ce choix, restreint à quatre items, se focalise sur les matériels qui ont joué un rôle prépondérant dans cette aventure électrique. Nous pourrions tisser en creux les liens nécessaires à la compréhension du processus d'innovation et répondre ainsi au cœur de la problématique : « **Comment et pourquoi le système électrique en courant continu s'est-il déployé dans la marine militaire à la charnière du XX^{ème} siècle ?** »

Nos quatre chenaux d'accès sont : le projecteur photo-électrique, l'éclairage intérieur, les tourelles d'artillerie et les électriciens à bord. D'autres axes de présentation sont possibles, néanmoins ces quatre éléments présentent des attraits croisés. Le fonctionnement des objets électriques est particulier car il est nécessairement imbriqué dans un système technique et plus précisément un système électrique. Les premiers travaux scientifiques du XVIII^e siècle parlent déjà d'un fluide qui part d'une source vers un récepteur grâce à des fils. Ce modèle est validé ultérieurement par l'étude de la circulation du courant et les techniciens emploient dès le milieu du XIX^e des schémas graphiques avec une source d'énergie, des fils conducteurs pour la distribution et des récepteurs pour un usage final : la trame typique du système électrique est en place.

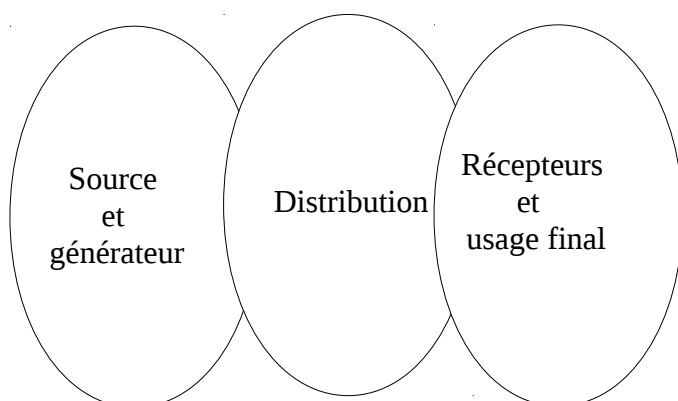


Illustration 1: Schéma du système technique électrique

Une autre représentation du même système est possible. Le choix graphique ci-dessous explicite ce que masque l'illustration n°1, à savoir l'interdépendance entre tous les objets du système. L'interaction entre le récepteur et la source n'est pas « neutralisée » par l'interface de la distribution, loin s'en faut²². Les interférences permanentes entre les composants électriques sont un des ressorts internes qui donnent une instabilité à l'ensemble du dispositif. Ces ressorts sont heureusement ambivalents, à la fois risque et opportunité, selon la modélisation ouverte que l'on se donne et le regard créatif que l'on porte. La modélisation d'un système technique n'est qu'une réduction de la réalité, souvent restreinte à une

²¹ Cet artifice littéraire est très largement inspiré de l'ouvrage de Thymothy BROOK « Le chapeau de Veermer » paru en 2010.

²² À titre d'exemple, un défaut sur un récepteur impacte la source qui, suivant sa structure (batterie d'accumulateur ou dynamo shunt), va produire un courant de défaut plus ou moins conséquent.

représentation d'objets. Quel que soit la complexité de la description des artefacts, toute modélisation d'un système technique possède une dimension clé, fondamentale et parfois non explicitée : la technique est en interaction avec l'homme. Selon son rôle dans le système, l'homme conçoit, construit, utilise et adapte les objets techniques. C'est sa créativité qui, à terme, aboutit à réinterroger le paradigme du système. Pour un système technique électrique, le paradigme souvent implicite est le type de courant : continu ou alternatif.

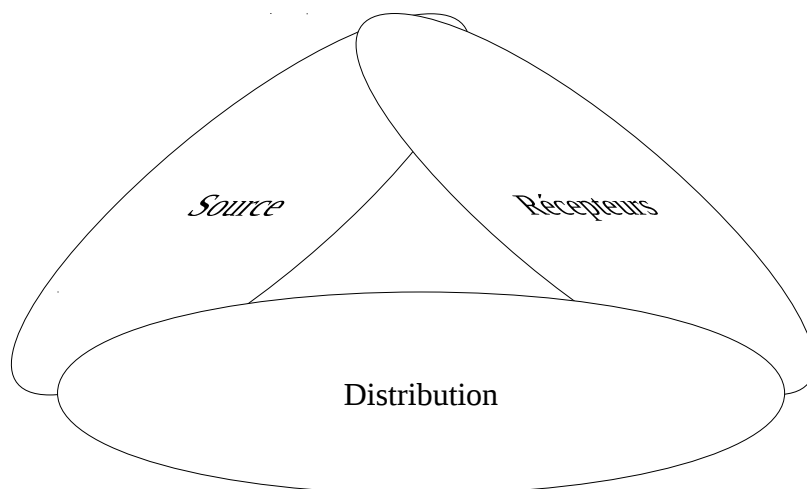


Illustration 2: Autre représentation du système technique électrique

Le choix des quatre chenaux va permettre de mieux identifier et comprendre les interactions au sein du système électrique. Ainsi, le projecteur naval photo-électrique est le premier usage embarqué qui impose la mise en place à bord d'une source électrique et de câbles. Ce dispositif va interagir et largement évoluer sur la période, les techniciens traitant au fur et à mesure les points faibles²³ qui apparaissent au gré des ajustements cumulatifs réalisés. Une fois la génératrice électrique embarquée et quelques problèmes de câblage résolus, la lampe à incandescence éclaire l'intérieur du navire et bouleverse les priorités. L'exigence de continuité et de fiabilité de l'éclairage à bord impacte fortement les deux autres volets du système électrique : la production et la distribution d'énergie ne doivent pas être des points faibles. Enfin, cette énergie électrique désormais fiable et disponible doit être mise au service de la raison d'être d'une flotte : l'artillerie et le mouvement des tourelles.

Sur la durée, l'historien des techniques observe donc un ensemble de matériels en situation. Selon Thomas HUGHES, les changements dans un composant se transmettent en cascade à travers le système technique et créent des « saillants rentrants ». La continuité du changement est associée à ce modèle systémique. Le système électrique du bord comporte effectivement des configurations où l'on observe ces cascades de « saillant rentrant ». En effet, la profusion des usages exige plus de puissance installée pour le générateur, ce qui en retour stimule de nouvelles applications.

Peut-on parler d'histoire sans parler des acteurs qui font l'histoire, peut-on parler d'électricité sans parler des électriciens ? Le quatrième chenal d'accès concerne ce volet essentiel du système socio-technique étudié. Une analyse des particularités d'exercice de ces métiers d'électricien replace leur savoir-faire dans un contexte maritime et plus encore, dans une situation militaire. D'autre part, les pratiques professionnelles se déclinent différemment

²³ Elmer SPERRY, brillant innovateur contemporain d'Edison, parle du « point le plus faible » comme d'un catalyseur de la conception. Alors que le compas magnétique est un saillant rentrant pour la navigation à coque acier, le gyrocompas de SPERRY est une innovation de rupture.

selon la phase de vie du navire : la conception des installations et des machines, suivie de la construction du navire et de la réalisation du système électrique , puis l'utilisation à la mer des équipements avec leurs avaries et les aléas au combat. Autour des objets, les pratiques et les expériences se construisent au fil du temps par et avec les hommes, selon leurs différentes communautés, du technicien à terre au marin en mer.

Enfin, la construction du croiseur Emile BERTIN en 1932 sera un jalon de l'état de l'art en ce qui concerne le déploiement de l'électrotechnique à bord. D'autres navires auraient pu jouer ce rôle, mais ce croiseur offre plusieurs caractéristiques utiles pour notre sujet : il est à la charnière entre les deux guerres mondiales et emporte à la fois des expérimentations et des concepts issus du premier conflit. C'est un exemple de la mondialisation des techniques navales militaires. Sa construction sera sans descendance à l'identique, mais elle prépare la série des croiseurs de la classe *La galissonnière*.

Pour conclure cette introduction en rassurant, si besoin en était, les lecteurs peu familiers des technologies électrotechniques, des annexes présentent quelques notions utiles à la compréhension de certains équipements techniques. En effet, peut-on parler d'électricité sans être électricien ? A cet égard, les propos de Matthew B. CRAWFORD²⁴ sont tout à fait rassurants : « *Pour vraiment connaître une paire de lacets, il vous faut faire l'expérience de les attacher, et cette expérience nous est commune, même si nous l'inscrivons dans une optique différente selon que nous sommes marcheur ou savetier* ». C'est donc avec cette distance épistémologique, dans l'optique d'un historien des sciences et des techniques que cette thèse a été rédigée.

24 Matthew B. CRAWFORD et Marc SAINT-UPERY, *Éloge du carburateur essai sur le sens et la valeur du travail*, Paris, la Découverte, 2010, p. 188.

1. Un objet déterminant, le projecteur photo-électrique

Introduction au chapitre 1

En 1895, dans son ouvrage « *Le règne de l'électricité* », Gaston BONNEFONT présente au grand public l'étendue des applications électriques dans tous les domaines. Il n'est pas question ici d'étonnement, d'amusement ou de distraction: l'électricité est un objet sérieux dont les déclinaisons donnent accès à un certain pouvoir. Le livre s'ouvre de manière martiale sur «Le téléphone aux grandes manœuvres» et, parmi les 250 gravures, nous trouvons donc très logiquement une déclinaison militaire et maritime de l'électricité. Le projecteur électrique dans sa version maritime est l'illustre représentant de cette puissance maîtrisée.

La gravure ci-contre²⁵ donne à voir un projecteur sur pied d'une hauteur totale d'environ deux mètres, mis en œuvre par un seul matelot. Il s'agit d'un cylindre d'environ 90cm de diamètre et 60 cm de longueur. En face avant, on aperçoit au travers d'un verre un dispositif central. Les mains de l'homme sont posées sur une manivelle et sur un levier, sans effort apparent, avec une certaine concentration dans ses gestes. L'équipement optique repose sur une fourche pivotante, dont l'axe vertical est supporté par un large socle installé sur un pont, dont on devine les traits esquissés. La scène est représentée à l'extérieur, probablement sur une partie non exposée du navire, car le matelot porte une tenue de pont, différente des tenues salissantes de travail des matelots mécaniciens.



Illustration 3 : Le projecteur MANGIN

Source : Gaston BONNEFONT, *Le Règne de l'électricité*, 1895, p. 239

Cette représentation nous montre un homme dirigeant à sa guise, sans effort, un puissant faisceau lumineux. Le mécanisme massif est docile et le texte d'accompagnement précise que «*le faisceau lumineux, très étroit, s'étend extrêmement loin*», sans autre précision quantitative. La tenue du matelot avec le bâchis et les chaussures réglementaires est banale, aucune protection particulière n'apparaît nécessaire pour maîtriser l'outil. Le dessin ci-dessus est identique à celui utilisé auparavant par Louis FIGUIER dans son ouvrage²⁶ paru en 1891. L'électricité n'en finit pas de produire nouveauté sur nouveauté, elle fascine le public qui est friand des nouvelles déclinaisons de cette jeune technique étonnante. Dans l'ambiance patriotique de l'époque, la mise en valeur d'innovations au service de l'armée trouve un excellent accueil. A tel point que le thème du projecteur de marine est largement repris par les images-réclames de l'époque. Des séries de ces feuillets ont ainsi «accroché» les consommateurs à la fin du XIX^e siècle, certaines marques ont publié des séries thématiques

25 Gaston BONNEFONT, *Le Règne de l'électricité* (Tours: Alfred Mame et fils, 1895).

26 Louis FIGUIER, *Les Merveilles de La Science Ou Description Populaire Des Inventions Modernes, Supplément Aux Bâtiments Cuirassés, Tome II* (Furne, Jouvet et Cie, 1891), p. 276.

complètes²⁷. Les chocolats GUÉRIN-BOUTRON éditent une série de 84 images sur l'électricité, témoignage fort intéressant pour l'historien. Les chromolithographies du chocolat GUÉRIN-BOUTRON et des biscuits PERNOT s'adressent à un public d'enfants, futurs marins qu'il convient d'informer ... et de faire rêver. Sans être exhaustif sur un tel sujet en soi, la lecture de quelques chromos nous dévoile les messages qui accompagnent cette représentation de l'objet technique.

Le registre de Gaston BONNEFONT et Louis FIGUIER est centré sur l'appareil, le matelot donne l'échelle et suggère un équipement simple et efficace. *A contrario*, les images-réclames montrent des scènes collectives avec des codes vestimentaires lisibles. L'environnement naval du projecteur est sommairement décrit. Officiers et matelots sont dans l'action avec différents équipements, ils sont attentifs et concentrés. L'ensemble de ces images porte un message de vigilance armée, d'une puissance au service de la protection de nos intérêts, une absence d'agressivité mais une volonté de réagir si nécessaire.

*Un appareil de projection lumineuse électrique*²⁸ est un dispositif optique qui concentre et dirige la lumière émise par un arc électrique: le matelot doit réaliser plusieurs tâches pour conduire correctement le dispositif. La lumière provient de l'arc électrique obtenu entre deux crayons maintenus à distance et alimentés en courant continu. Pour créer et maintenir l'arc, le marin agit sur une molette qui déplace les crayons au fur et à mesure de leur utilisation et de leur destruction. Par ailleurs, il règle la concentration du faisceau lumineux et en fait varier sa direction à la demande. En pratique, comme toujours à bord d'un navire, cette activité n'est pas isolée mais participe à une mission collective. Paradoxalement, ce contexte est inexistant dans les ouvrages destinés aux électriciens alors qu'une image-réclame pour enfants souligne la contribution individuelle du projecteur à l'action militaire d'ensemble.

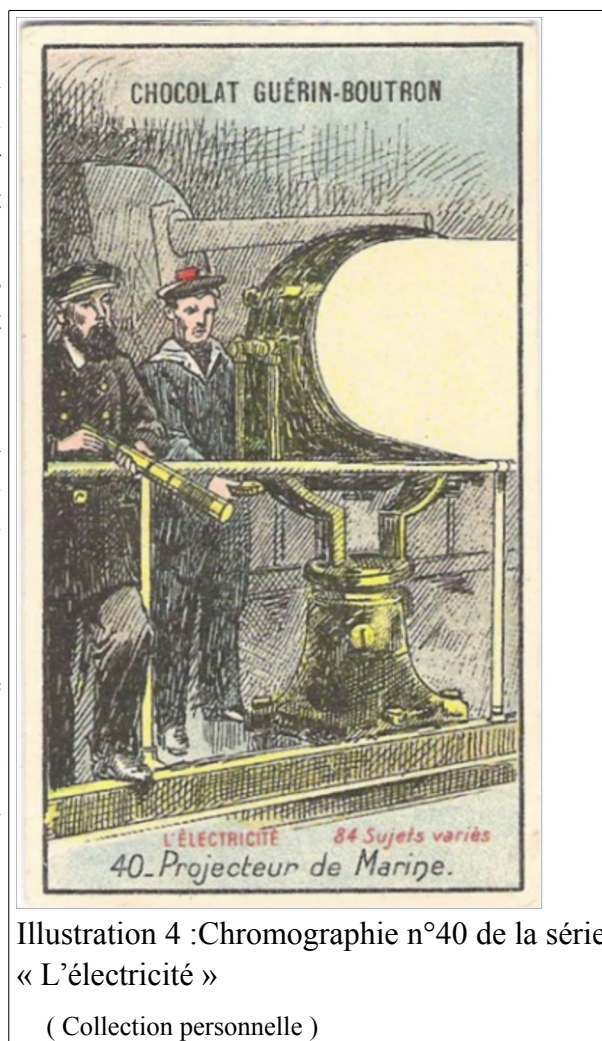


Illustration 4 :Chromographie n°40 de la série « L'électricité »

(Collection personnelle)

27 La collection GUERIN BOUTRON se composait de 326 séries courtes (environ 2200 vues) et de 63 séries longues (environ 6000 vues), https://collyon.com/LES_SERIES_GUERIN_BOUTRON, consulté le 5/8/2017

28 *Album de La Science* (Paris: Ancienne Librairie FURNE, 1894), p. 252.

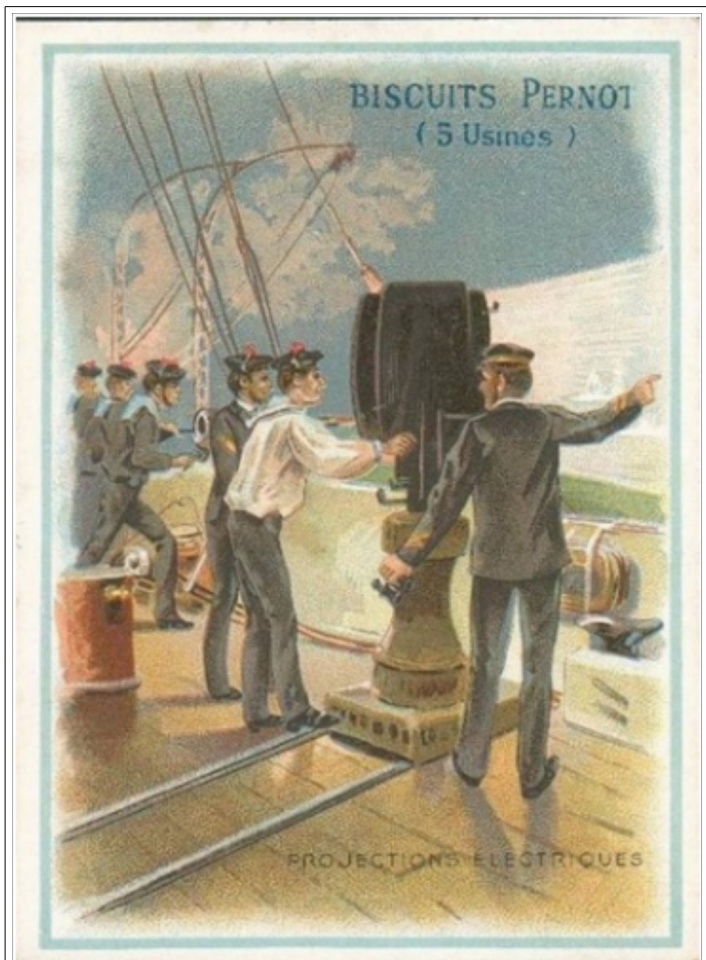


Illustration 5 :Chromographie Biscuits Pernot
(Collection personnelle)

On remarque le chemin de roulement au sol, signe que ce matériel est mobile. Ces deux rails autorisent le déplacement d'un appareil sur bâbord ou tribord, par souci d'économie de moyen ou par insuffisance de place disponible. Par ailleurs, le mouvement sur cet axe horizontal confère une possibilité supplémentaire de couverture de la zone éclairée.

Dans une autre image-réclame du chocolat GUÉRIN-BOUTRON, l'officier utilise des jumelles ou une longue vue pour mieux identifier les objets éclairés ... au loin.

Le besoin de ces adjuvants souligne implicitement que les capacités d'éclairage du projecteur sont supérieures à l'acuité de la vision humaine. En réalité, le personnel à proximité immédiate du projecteur est souvent ébloui, ainsi que le marin qui manœuvre l'appareil. *A contrario*, les autres éléments représentés semblent assez éloignés de la réalité du pont d'un navire et de son encombrement.



Illustration 6 : Chromographie "artistique"

(Collection personnelle)

Ces représentations multiples à destination du grand public interrogent l'historien qui se doit d'en relativiser le sens et d'en vérifier autant que possible la réalité de terrain.

Que change l'apparition du projecteur dans les pratiques de la Flotte ?

Quel usage en font les escadres ?

Qu'en est-il de cette simplicité affichée de mise en œuvre ?

Quelle est l'efficacité réelle d'un projecteur à la mer ?

Les réponses à ces questions seront développées dans ce chapitre, mais il est déjà possible d'en baliser succinctement les contours.

- L'efficacité de l'objet seul est avérée: en 1880, la technique du projecteur électrique avec une lampe à arc est la seule capable d'éclairer un objet à 8 km de distance²⁹. L'essai est effectué avec un grand modèle de projecteur fixe (diamètre de 90 cm) qui, étant positionné au Mont Valérien, permet de distinguer tous les détails du Trocadéro. Cette performance globale est une combinaison astucieuse de deux techniques: la lampe électrique à arc et la lentille sphérique. C'est une innovation de rupture et, dans le cas présent, une innovation qui donne à voir et qui se voit. En effet, les autres sources lumineuses de l'époque sont des lampes à combustion qui n'offrent pas une telle puissance focalisée. D'autre part, les rayons lumineux sont concentrés et dirigés par une lentille bi-sphérique, dispositif technologiquement amélioré de la lentille de Fresnel à échelon.
- Définir le système dans lequel s'intègre le projecteur est délicat, cela n'a de sens que si l'on précise le contexte et le moment concerné. Il est certain que le projecteur participe au système d'artillerie du navire, car il rend visible une cible pour la chaîne de commandement. La performance d'un tel un système local, restreint au seul navire, dans lequel intervient tout le dispositif de coordination des tirs, se conçoit donc assez facilement (simplification abusive, bien évidemment). Elle peut s'apprécier en comparant l'efficacité des tirs avec et sans éclairage. Mais la situation change de dimension lorsque le feu d'artillerie n'est plus l'action d'un navire isolé, mais d'une escadre : chaque navire contributeur est devenu un sous-système. La coordination entre les navires implique une répartition des tâches et la performance de chaque maillon contribue à la performance collective de l'escadre, seule performance significative.

Pour un militaire, l'obscurité est à la fois une menace et une protection, selon qu'il est assaillant ou défenseur. Sans se risquer dans une étude du rôle joué par la lumière dans les situations de combat, il est utile de bien dissocier les deux grands usages du projecteur électrique : un rôle défensif en rendant visible un agresseur qui cherche à ne pas être décelé ou un rôle offensif en « éclairant » l'adversaire afin de l'attaquer efficacement.

Dans une lecture de la contribution « défensive » du projecteur, il faut avoir présent à l'esprit que la distance d'observation de l'agresseur potentiel est dictée par la portée des armes de l'assaillant et des armes de défense. Au XIX^e siècle, l'augmentation de la portée de l'artillerie navale modifie l'exigence de l'observation dans les vigies de tête de mât. D'autre part, la nouvelle menace portée par les torpilleurs, navires rapides susceptibles d'attaquer des flottes au mouillage, plaide pour une vigilance nocturne à distance grâce à des projecteurs : la technique du projecteur électrique est la seule capable d'éclairer un objet à la distance nécessaire, préalable à une éventuelle riposte.

29 Henri DE PARVILLE, *L'électricité et Ses Applications* (Paris: Masson, 1883), p. 354.

Dans une lecture de la contribution « offensive » du projecteur, il s'agit de continuer une action de combat alors que la nuit place le théâtre d'opération dans l'obscurité. Le projecteur éclaire alors la cible, ce qui permet à l'artillerie d'engager ou de poursuivre son action. La polysémie du terme « éclairage » ou « éclaireur » est très riche, son registre militaire nous interpelle : les stratèges et les tacticiens ont besoin de renseignements sur la situation, les opérations en cours, la nature du terrain et les forces en présence.

Dans l'armée de terre, cette activité de renseignements, de collecte d'informations, est confiée à des soldats spécialisés, très souvent désignés par le terme d'éclaireurs. Ainsi, en 1813, Napoléon I^{er} crée les régiments de cavalerie des éclaireurs de la Garde impériale. De son côté, la Marine enseigne aux officiers supérieurs de l'École de Guerre Navale³⁰ que l'éclairage est une nécessité tactique. La définition réglementaire³¹ en 1931 est la suivante : « *L'éclairage est un dispositif lié directement ou indirectement à une force navale à laquelle il sert d'antenne pour lui éviter d'être surprise et lui permettre au contraire de surprendre l'ennemi.* » Dans ces deux dernières appellations, le terme d'éclairage est au sens figuré, le pinceau lumineux d'un projecteur électrique étant incompatible avec une action militaire discrète visant l'acquisition de renseignements.

Le projecteur sera le chenel d'accès vers la question de la surveillance visuelle en mer et les techniques électriques.

Selon les époques, le marin dispose de moyens d'observation très différents, en fonction des outils du moment. Dès les premières navigations, les équipages assurent une veille à l'œil nu, sur le pont ou dans la mâture lorsque cela devient possible. Alors que les instruments optiques accroissent les distances de scrutation, la hauteur sur l'eau des postes de vigies reste une contrainte. L'observation optique aérienne devient possible avec les ballons, puis avec l'hydravion, précurseur de l'aviation embarquée. Au début du XX^{ème} siècle, le radar et plus fondamentalement les équipements électroniques, ouvrent un nouveau registre d'observation basé sur les ondes électromagnétiques dont le spectre est beaucoup plus large que celui des seules ondes lumineuses, média de la veille optique.

30 *Tactique Appliquée Des Forces de Surface* (Ecole de Guerre navale, 1931), p. 114.

31 Règlement de la conduite des forces maritimes – Art 116 (cité dans *Tactique appliquée des forces de surface*)

Notre approche diachronique étant redéfinie, nous pouvons aborder l'étude de cet objet emblématique de la fin du XIX^e siècle, le projecteur Mangin qui sera notre chenal d'accès vers l'usage premier de l'énergie électrique à bord des navires militaires. La scrutation de l'horizon maritime est une activité permanente sur un navire en mer, vigilance renforcée pour un bâtiment militaire en opération. Cette activité d'observation fait partie d'un système technique militaire, au sens de Bertrand GILLE³². Nous sommes en présence d'une fertilisation croisée des techniques terrestres et maritimes. La marine de commerce demande de puissantes sources lumineuses à terre pour guider la navigation : les phares sont les enfants de l'optique et de la chimie, moteur scientifique du contrôle de la combustion.

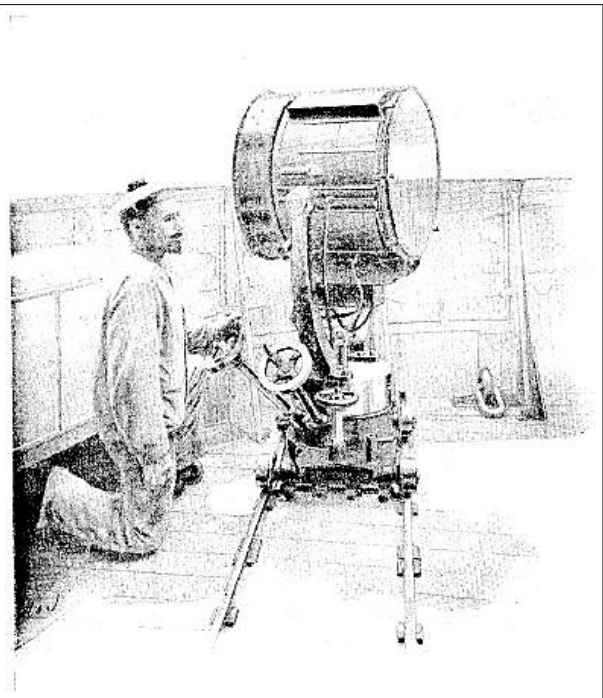


FIG. 20. — Projecteur Mangin de la maison Sautter-Harté et C^o.

Illustration 7 : Matelot manœuvrant un projecteur

Source : Edouard HOSPITALIER, *L'Électricité à l'Exposition de 1900. 15. Applications diverses*, 1902, p. 15-65

Pour répondre à l'infanterie qui veut illuminer les zones de combat terrestre, le moteur à vapeur des locomobiles militaires déplace le projecteur photoélectrique sur le théâtre des opérations. De leur côté, les navires cuirassés doivent se protéger des attaques de torpilleurs : l'adaptation du projecteur militaire terrestre à ce nouvel environnement maritime est achevée en 1900³³. Point d'observation placé en tête de mât, la vigie est, au sens littéral, un équipement saillant du navire.

En s'appuyant sur les travaux méthodologiques³⁴ de Th. HUGHES, la vigie est, au sens figuré, un composant « saillant-rentrant » du système de surveillance du navire militaire. Les marins de commerce ont besoin d'une veille visuelle afin de sécuriser le pilotage: il s'agit pour l'essentiel de prévenir les collisions avec d'autres navires et de naviguer en sécurité à proximité des dangers côtiers. Grâce à l'investissement de projecteurs sur les navires de commerce, le passage du canal de Suez de nuit devient ainsi possible, ce qui réduit la durée globale du trajet et son coût. Pour le commandant d'une plateforme d'artillerie navale, l'exigence change de registre: la veille ne porte pas que sur la seule navigation mais elle doit lui fournir aussi des informations tactiques pour optimiser ses capacités offensives tout en protégeant des agressions potentielles. La veille optique d'un navire militaire constitue un système technique en évolution permanente, en particulier pour l'historien qui observe sur le temps long. Dans le cadre de cette thèse, l'étude se limite à l'apport de l'énergie électrique à la veille visuelle à bord.

32 Bertrand GILLE, *Histoire Des Techniques* (Paris: La Pléiade, 1978).

33 E. Hospitalier, *L'Électricité à l'Exposition de 1900. 15. Applications Diverses* (Paris: Vve Ch. Dunod, 1902), pp. 15-64.

34 Thomas HUGHES, *L'histoire Comme Système En Évolution* (Paris: Annales HSS, 1998), pp. 839-57.

Sur ce segment temporel allant de 1880 à 1935, les performances de certains composants du système changent et propagent en cascade des effets dits « saillant-rentrant ». Th. HUGHES en formalise le concept que l'on retrouve déjà dans des expressions militaires qui ont traversé le temps long de l'histoire. Ainsi, au talon d'Achille succède le défaut de la cuirasse, l'affrontement entre l'épée et la cuirasse se renouvelle constamment au fur et à mesure des innovations de la métallurgie. Pour sa part, le système technique photo-électrique est traversé par des adaptations innovations incrémentales successives : après le renforcement du point le plus faible du moment, un nouveau point faible apparaît dans le système et ainsi de suite jusqu'à l'innovation de rupture, apport qui est souvent une remise en cause profonde du paradigme .

Lorsque le projecteur devient électrique, il éclaire l'horizon et débusque des adversaires masqués dans l'obscurité. Isolé de l'artillerie, un éclairage est peu efficace : la commande à distance de l'éclairage répond partiellement aux besoins d'observation de l'officier artilleur. La synchronisation électrique des mouvements du projecteur et des tourelles complète l'intégration systémique entre la prise d'observation et l'action. L'artillerie embarquée augmente sa portée, il faut donc voir plus loin. Le navire de surface est visible et donc vulnérable. Pour devenir moins visible, les parades sont les écrans de fumée, les peintures de camouflage et mieux encore, devenir sous-marin. L'observation visuelle en altitude par ballon ou avion³⁵ permet de voir les sillages des navires et la silhouette des sous-marins en immersion. Nous sommes à présent très éloignés de la veille par un marin isolé dans la hune en tête de mat, activité bien malaisée lorsque l'obscurité s'installait.

Le projecteur du Génie en 1870, un dispositif terrestre qui reste à adapter.

La mobilité terrestre d'un dispositif technique est un préalable à son éventuel embarquement, mais il convient dans un second temps de lui conférer une mobilité de qualité « marine ». En 1861, l'alimentation d'un seul foyer s'obtient avec des piles électrochimiques, seule source existante. Cela demande 60 éléments BUNSEN qualifiés de « *fragiles et encombrants ...d'une manipulation difficile, d'une mise en action fort longue, ce qui leur ôtait toute efficacité pratique à la guerre, où la promptitude est la première condition du succès.* »³⁶ La vapeur balaye progressivement ces contraintes, sans pouvoir s'affranchir de ses propres limitations. Ainsi, la machine à vapeur fut d'abord fixe à terre, puis des évolutions successives lui confèrent une relative mobilité jusqu'à devenir un équipement locomobile. Pour pouvoir embarquer des machines industrielles, il est nécessaire de les adapter spécifiquement car les appareils marins doivent être compacts, légers, robustes et bien protégés³⁷. Les principales évolutions de la vapeur sont la haute pression, la connexion avec le propulseur (roue puis hélice), la triple détente, le circuit de condensation. La vapeur à bord devient la source d'énergie de référence, à charge pour les électriciens d'assurer la conversion vapeur / électricité.

35 La vision aérienne apporte un changement de paradigme ainsi que le bombardement aérien. D'autres équipements, à base de traitement du signal et donc d'électronique, élargiront encore le spectre d'observation : le sonar, la vision infra-rouge et le radar. Les contre-mesures électroniques, puis les satellites militaires prolongeront l'évolution permanente de ce système technique d'observation.

36 L. WEISSENBRUCH, *Les appareils de projection de lumière électrique en usage dans les armées européennes*, Librairie militaire C.MUQUARDT., Bruxelles, Revue militaire belge - Tome II, 1882a, p. 202.

37 Pascal ROBERT, *op. cit.*, 2008, p. 96.

Il en est de même pour le projecteur électrique. L'étape initiale est celle d'un projecteur fixe à terre, étape où les concepts scientifiques multiples se concrétisent dans un dispositif en devenir. Cette étape valide ainsi le bon ajustement de plusieurs techniques en interdépendance. En première approche, la réalisation d'un projecteur électrique mobilise plusieurs compétences : l'optique, la mécanique et l'électricité. Le projecteur photo-électrique est le descendant du phare côtier. Depuis 1852, date de sa prise de direction de la société des héritiers de Soleil, l'opticien de Fresnel, Louis SAUTTER est un industriel spécialiste des phares et des fanaux lenticulaires.

Fort de sa renommée et à la demande du Ministre de la Guerre, il réalise en 1859 une étude des projecteurs de lumière électrique et expérimente son prototype sur l'Arc de Triomphe. En 1867, Louis SAUTTER dessine un appareil comportant un arc électrique placé au foyer d'une lentille de phare. Il commercialise plusieurs centaines d'exemplaires de ce dispositif inchangé jusqu'en 1877³⁸.

La lentille de Fresnel utilisée se compose de trois éléments dioptriques et de cinq éléments catadioptriques³⁹ : la construction, le montage et la vérification sont moins précis que s'il s'agissait d'une pièce unique. C'est un objet coûteux et fragile, dont la production en nombre reste problématique.

Les besoins militaires existent, mais une réponse plus robuste, pour ne pas dire plus rustique, serait préférable. Un tel équipement convient bien à une fortification militaire, pour un usage fixe et abrité. Sa mobilité est donc très relative, voire quasi inexistante en 1867.

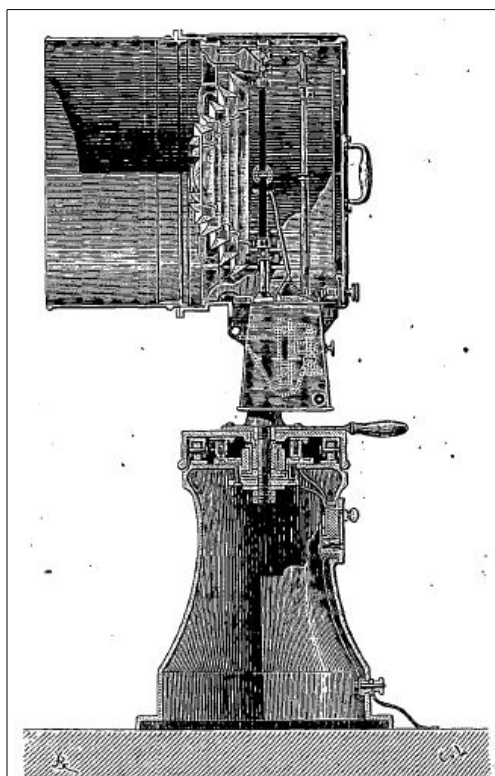


Illustration 8 : Projecteur à lentille de FRESNEL

Source : Théodore DU MONCEL, *L'éclairage Électrique* (Paris: Librairie Hachette, 1879), p. 271

En 1879, le projecteur de la maison SIEMENS⁴⁰ est d'une conception proche : il comporte cinq anneaux et un petit réflecteur sphérique. La première adaptation incrémentale concerne le dispositif optique et le remplacement des lentilles en anneaux par une seule lentille dont la forme est optimisée pour la convergence d'un faisceau. C'est l'apport de l'optique MANGIN.

38 *Bulletin Technique de La Suisse Romande - Projecteurs Photoélectriques Pour Armées de Terre* (Genève, 1900), p. 50.

39 Théodore DU MONCEL, *L'éclairage Électrique* (Paris: Librairie Hachette, 1879), p. 256.

40 L. WEISSENBRUCH, *op. cit.*, 1882a, p. 212.

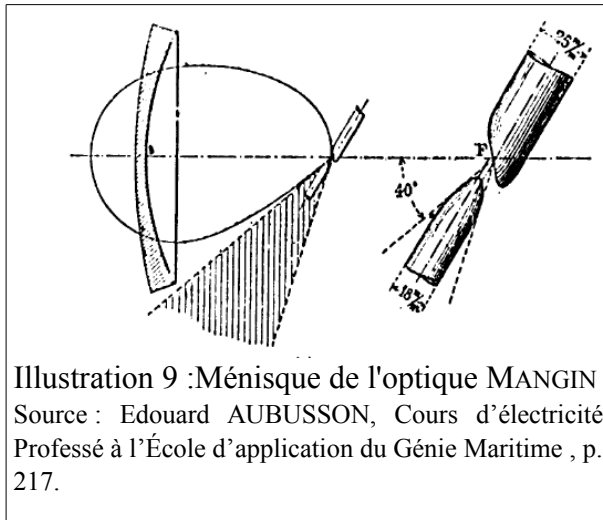


Illustration 9 :Mérisque de l'optique MANGIN
 Source : Edouard AUBUSSON, Cours d'électricité
 Professé à l'École d'application du Génie Maritime , p.
 217.

Pour ne pas interrompre des opérations militaires la nuit, un corps d'armée en campagne peut avoir besoin d'un éclairage.

Vers 1870, le colonel du Génie MANGIN⁴¹ propose une simplification de l'optique en associant dans une seule lentille une surface miroir et deux faces sphériques. Ce ménisque divergent, concave-convexe, est argenté sur sa face convexe qui joue le double rôle d'une lentille divergente et d'un réflecteur concave.

Les deux faces de la lentille ont des rayons différents, la fabrication par rodage des surfaces est donc plus simple et facile à contrôler. La réduction du nombre de pièces optiques facilite le montage et le réglage du dispositif optique. Le positionnement judicieux de la source lumineuse dans l'axe central du miroir transforme la source « ponctuelle » en un faisceau de lumière cylindrique. Lors de la séance du 26 octobre 1877 de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale⁴², le colonel MANGIN⁴³ présente sa nouveauté qui est bien accueillie. Il est à noter que cette innovation remarquable, comme toutes ses autres inventions et découvertes, ne fera pas l'objet d'un dépôt de brevet. « *Cet inventeur désintéressé cultivait la science en vue des applications qu'elle peut mettre au service de l'humanité*⁴⁴. » Il décède à 59 ans, le 7 novembre 1885, « *devenu complètement aveugle, les yeux brûlés, pour ainsi dire, par l'action continue de la lumière électrique.*⁴⁵ »

Différents paramètres caractérisent ce dispositif optique : la distance focale, la réflectivité et l'angle du faisceau projeté. En première approche, toutes choses égales par ailleurs, la distance focale détermine l'encombrement du dispositif, la réflectivité mesure la proportion de lumière restituée par le miroir et l'angle du faisceau apprécie le caractère dense et restreint de l'espace illuminé. Le réglage de l'angle du faisceau est nécessaire pour focaliser le pinceau lumineux sur la zone demandée.

41 *Le Génie Civil - Tome VIII N°3*, Paris, 1885c, p. 47.

42 *Bulletin d'encouragement pour l'industrie nationale*, Paris, 1877a, p. 738-739.

43 Le colonel Alphonse MANGIN est promu au grade de Commandeur de la Légion d'Honneur le 27 /12/1884.

44 *Mémoire de l'académie des sciences ... d'Amiens-Tome XLIII*, Amiens, Librairie Yvert et Tellier, 1897a, p. 151-152.

45 *Le Figaro*, Paris, 1927, p. 3.

Cette lentille unique diminue le coût de fabrication et augmente la résistance de l'équipement optique, deux préalables clés qui donnent accès à de nouveaux usages et donc à un marché élargi. Toute médaille ayant son revers, l'efficacité optique de la lentille incite à augmenter la puissance lumineuse de la source. Bien que la source lumineuse ne soit plus le sous-produit de la combustion de carburants fossiles, l'arc électrique dégage néanmoins une quantité importante de chaleur. Par conception, la lentille en verre n'est pas d'épaisseur homogène : son centre est plus fin que sa périphérie, ce qui induit une fragilité mécanique.

Cette structure rend l'objet sensible à la température, d'où la nécessité d'une ventilation efficace lorsque l'arc rayonne. En face avant, une porte vitrée évite un refroidissement brutal de la lentille par courant d'air froid ou par projection d'eau.

D'autre part, le support de la lentille la protège des chocs et des vibrations sans la contraindre mécaniquement.

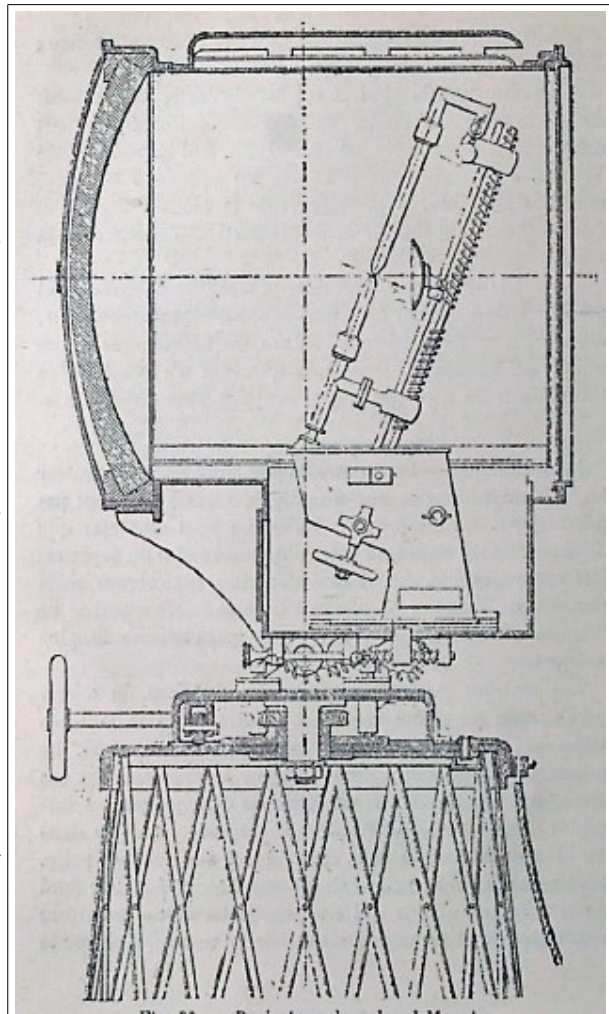


Illustration 10 : Projecteur MANGIN à ménisque

Source : Pierre JUPPONT, Science et Guerre - (Paris: Bernard TIGNOL, 1888), p. 116

L'opérateur obtient un arc voltaïque par des manœuvres successives des crayons, tout d'abord par une mise en contact initial (par un court-circuit franc), puis en réglant leur écartement pour aboutir à un arc « optimum ». Si les crayons sont trop éloignés, l'arc est rompu et la manœuvre est à reprendre : le bon réglage de la dimension de l'arc requiert donc une certaine pratique. Au fur et à mesure de l'utilisation, l'arc détruit les crayons, phénomène qui rallonge l'arc et peut aboutir à son extinction. Face à cette instabilité structurelle, un opérateur doit compenser manuellement cette dérive.

De nombreux mécanismes automatiques ont été fabriqués, chacun étant désigné par le nom de son inventeur. Les plus connus sont ceux de FOUCAULT (mécanisme d'horlogerie), SERRIN (électro-aimant activé par le courant de l'arc), CARRE (mécanisme à solénoïde) et SIEMENS (dispositif différentiel). Ces régulateurs présentent certes des avantages mais la complication de leur mécanisme est paradoxalement une source d'instabilité. La nécessité de leur entretien et de leur réglage est un frein à leur généralisation, un point faible auquel s'attaque des adaptations incrémentales.

Le premier amorçage de l'arc sollicite fortement en amont le générateur d'énergie électrique. L'arc voltaïque étant stabilisé, l'opérateur positionne ensuite la source lumineuse au foyer optique du projecteur grâce à un ensemble de manivelles et de vis tangentielles.

Ces divers volants de manœuvre engrenages assurent plusieurs fonctionnalités:

- la création initiale de l'arc et son maintien lorsque les crayons se consomment,
- le positionnement de cet arc au foyer optique du projecteur,
- l'orientation du faisceau lumineux en gisement et en hauteur.
- accessoirement, un dispositif complémentaire autorise le changement de crayons sans ouvrir la face avant du projecteur.

Alors que la simplification du projecteur électrique est un élément qui facilite sa généralisation, il reste néanmoins la question de la source électrique. Les piles électrochimiques sont des équipements lourds et volumineux, ces générateurs sont donc plutôt dédiés à des usages fixes, dans des immeubles par exemple. L'alternative à la pile chimique est, dans un premier temps, la machine magnéto-électrique, puis à partir de 1871, la dynamo. Les projecteurs d'observation implantés sur les côtes atteignent des dimensions importantes, allant en 1901 jusqu'à 1,50 m de diamètre⁴⁶ : leur poids et leur encombrement nécessitent des déplacements sur rail à l'intérieur des bâtiments. D'autre part, deux constructions annexes de 20 et 15 m² abritent le générateur électrique et la réserve de combustible. C'est donc la mobilité de l'ensemble du projecteur et de sa source qu'il convient d'étudier.

Lors de l'exposition de Vienne en 1873⁴⁷, un ensemble projecteur et machine électrique est proposé simultanément par les ateliers SIEMENS de Berlin et la maison SAUTTER & LEMMONIER de Paris. Ce type de matériel intéresse le Génie qui déploie dans ses places fortes des ensembles fixes avec un projecteur d'un diamètre de 90 cm. Dans un second temps, le constructeur français répond aux besoins d'une armée en campagne avec un ensemble mobile appelé *appareil secondaire*. Un chariot porte tous les organes : une chaudière, un moteur BROTHERHOOD, une dynamo GRAMME de 600 carcels, le projecteur, une bobine de câble de 50 m, une bêche à eau et les accessoires indispensables. Le projecteur d'un diamètre de 40 cm porte à trois km.

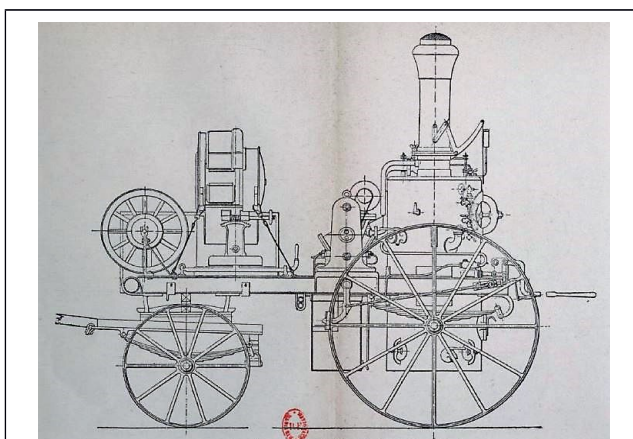


Illustration 11 : Appareil secondaire

Source : Pierre JUPPONT, *L'éclairage Électrique à La Guerre* (Paris: Bernard TIGNOL, 1888), p. 151.

«*Tout cet ensemble, qui ne pèse que 2000 kg, est très maniable*⁴⁸.» Ce matériel est robuste, léger et hippomobile : quatre chevaux sont toutefois nécessaires. Malgré de telles réserves et des questionnements sur la tactique d'emploi, les campagnes militaires menées par l'Infanterie confirment le potentiel de l'équipement.

Les projecteurs pour l'Infanterie peuvent atteindre un diamètre de deux mètres, mais la Marine souhaite plutôt un dispositif compact et économe. Ces deux critères sont liés à la distance focale et la réflectivité du dispositif optique : en pratique, la Marine se limite à des

46 *Revue Du Génie Militaire - Tome XXI* (Paris: Rue de Bellechasse, 1901), p. 441.

47 Hippolyte FONTAINE, *Eclairage à l'électricité* (Paris: Librairie Polytechnique, Baudry et Cie, 1888), p. 646.

48 Pierre JUPPONT, *Science et Guerre - L'éclairage Électrique à La Guerre* (Paris: Bernard TIGNOL, 1888), p. 132.

équipements d'un diamètre compris entre 0,6 et 1,2 m. C'est ainsi qu'en 1877, le projecteur photo- électrique franchit la coupée des navires de la Marine française, de la Royal Navy et d'autres marines. Ce premier embarquement d'un matériel de puissance avait toutefois été précédé par des équipements électriques plus modestes, alimentés par piles, tels que le téléphone et les sonneries (ou sonnettes).

1.1. Le contexte spécifique du projecteur embarqué et les exigences de la Marine

Quelles sont les raisons qui prévalent à l'embarquement d'un tel éclairage? La motivation principale concerne la protection face à l'attaque d'un torpilleur. La première version connue de la torpille auto-propulsée est attribuée en 1868 au britannique WHITEHEAD. Dès 1871, l'anglais THORNICROFT construit⁴⁹ une plate-forme mobile rapide dédiée au tir en mer de la torpille : le torpilleur *Miranda*. Néanmoins, la torpille WHITEHEAD modèle 1876 ne porte qu'à environ 500 mètres ce qui oblige l'attaquant à être relativement proche de sa cible. Par ailleurs lors d'opérations terrestres en 1867⁵⁰, l'Infanterie a validé l'emploi militaire de la dynamo GRAMME. Dès lors, les marines équipent leurs navires de projecteurs photo-électriques. Les flottes au mouillage espèrent ainsi débusquer les torpilleurs⁵¹ et se prémunir de leurs incursions nocturnes. C'est un des premiers antidotes disponibles, d'autres dispositions viendront compléter cette maigre armure : les filets de protection, le cloisonnement des coques, les canons à tir rapide, les contre-torpilleurs.

Les projecteurs répondent aussi à d'autres besoins d'ordre logistique : le chargement du charbon à bord est une opération récurrente qui immobilise le navire à quai. Un éclairage artificiel permet de faire le ravitaillement en combustible sans être interrompu par la nuit, y compris dans des ports isolés. Par ailleurs, comme pour les navires de commerce, un éclairage puissant sécurise la navigation de nuit pour l'accès à des ports, à des mouillages ou pour le passage du canal de Suez. La possibilité de naviguer en formation de nuit est aussi envisagée, sans toutefois devenir un exercice très convaincant. Enfin, les projecteurs sont mentionnés comme appui potentiel à l'embarquement et au débarquement nocturne de troupes.

Le projecteur de MANGIN, dans sa version Marine⁵², reste un appareil d'un poids et d'un encombrement respectable. Le projecteur de 1600 becs, d'un diamètre de 60 cm, pèse seul 580 kg. Son équipement associé, la machine de GRAMME et le moteur BROTHERHOOD, affichent 1200 kg. Ces chiffres sont difficilement comparables avec ceux de l'*appareil secondaire*. En effet, les 2000 kg de l'*appareil secondaire* terrestre intègrent la chaudière et sa bûche à eau, alors que, dans la version marine, la chaudière du bord délivre la vapeur. D'autre part, le diamètre du projecteur Marine est de 60 cm au lieu des 40 cm de la version terrestre. A ce stade, il n'est donc pas possible d'affirmer que les exigences de la Marine ont modifié les caractéristiques de poids et d'encombrement du matériel car le ratio bec Carcel/ kg ne nous est pas accessible. L'engouement pour ce matériel est réel : en 1882⁵³, le gouvernement

49 *Revue du cercle militaire - Les étapes du torpilleur*, Paris, 1888, p. 589.

50 WAUWERMANS, *Applications nouvelles de la science et de l'industrie à l'art de la guerre*, Paris, Tanera, 1869, p. 86.

51 Les flottilles de torpilleurs sont nombreuses et potentiellement menaçantes. En 1886, la Royal Navy compte 130 torpilleurs actifs et 57 en construction.

52 « Carnet de notes pour le Génie Maritime - Fascicule 3 », 1897b, p. 43.

53 L. WEISSENBRUCH, *op. cit.*, 1882a, p. 204.

français équipe la Marine de 145 projecteurs dont 30 d'une portée de 6 km pour la défense des côtes.

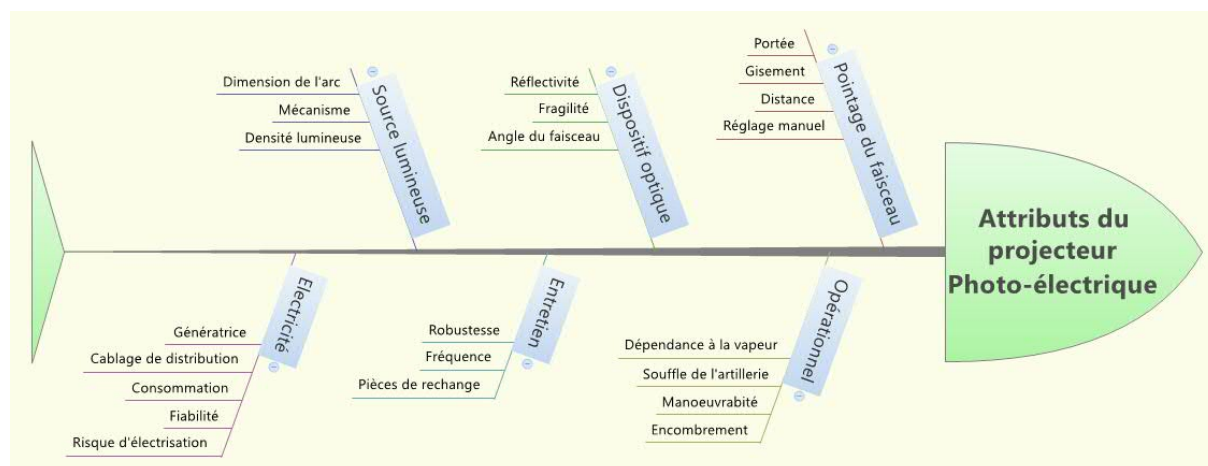


Illustration 12: Présentation multi-critère des attributs du projecteur marine

Le schéma ci dessus propose une typologie synthétique des attributs du projecteur . Ces différents aspects font l'objet d'une mention dans plusieurs sources du corpus et, de manière particulièrement significative, chacun de ces items donne lieu *in fine* à une adaptation incrémentale. Cette collection ne se prétend pas exhaustive mais elle a le mérite de relier entre eux différentes facettes de l'objet « projecteur ». L'électricité n'est d'ailleurs qu'une facette technique de la question.

1.2. Les premières déclinaisons du projecteur électrique dans la Marine française

Selon Th. DUMONCEL, la première tentative d'éclairage électrique d'un navire français a lieu en 1855 sur l'avis *Jérôme Napoléon* avec des machines magnétoélectriques⁵⁴. William TOBIN⁵⁵ date cette installation en 1867 avec une machine de l'ALLIANCE, une lampe à arc de FOUCAULT et un projecteur de SAUTTER. Cette opération de prestige sur le yacht du cousin de l'empereur permet de prendre date et d'afficher un savoir-faire. La déclinaison opérationnelle dans la flotte française est plus tardive, même si l'intérêt militaire d'un tel éclairage est bien identifié dès 1858 par le lieutenant de Vaisseau TRÈVES. Ce dernier préconisait⁵⁶ l'emploi des « *lampes électriques ... dans la hune d'artimon du vaisseau amiral ... [avec un emploi discret] par éclipses ... [et alimentés par une] source indépendante de l'emploi des acides, c'est-à-dire par une machine magnéto-électrique et ...régulateur ...* ».

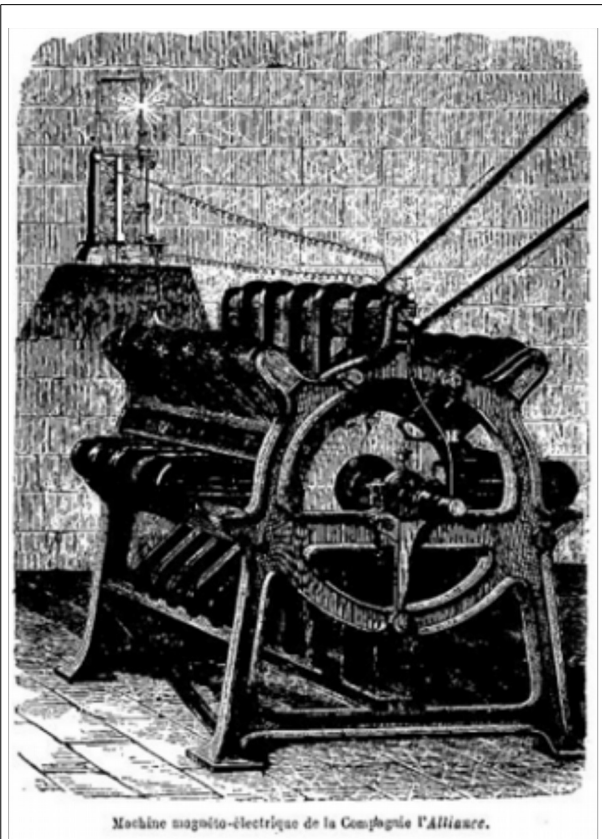
54 Théodore DU MONCEL, *L'éclairage électrique*, Paris, Librairie Hachette, 1879, p. 252.

55 William TOBIN, *Léon Foucault, le miroir et le pendule*, Les Ulis, EDP Sciences, 2002, p. 265.

56 A. TREVE, *Etude sur les machines magnéto-électriques*, Paris, Revue Maritime et coloniale, Tome 23, 1868, p. 958.

En février 1868⁵⁷, la frégate-cuirassée **L'Héroïne** procède à des expériences avec une machine magnéto-électrique à courants non redressés et une lampe SERRIN. La machine est construite par la compagnie ALLIANCE, elle tourne à 350 t/mn et délivre 150 becs Carcel. Cet équipement lourd et volumineux (bâti en fonte de 1,2 m de haut pour 1,5 m de long) donne satisfaction : il éclaire jusqu'à 3700 m. La commission conclut en ces termes : « *L'appareil expérimenté ... sera donc très utile à un bâtiment monté par un commandant en chef.* »

Une observation discrète dans l'article critique le dispositif SERRIN et souligne déjà l'intérêt du régulateur concurrent réalisé par FOUCAULT, « *qui en rend la marche tout à fait indépendante des mouvements du navire* ». Entre les lignes, nous voyons la difficulté de mariner des techniques terrestres et les arguments pragmatiques avancés.



Machine magnéto-électrique de la Compagnie l'Alliance.

Illustration 13 : Machine à bord de **L'Héroïne**

Source : A. TREVE, *Revue Maritime et coloniale*, Tome 23, 1868, p. 953.

En 1877, la Marine fait équiper le cuirassé **Richelieu** d'un matériel SAUTTER-LEMONNIER composé d'un moteur BROTHERHOOD, d'une dynamo GRAMME de 500 becs Carcel, d'un projecteur lenticulaire SAUTTER, muni d'une lampe SERRIN. Les essais faits au Golfe Juan sont concluants, et la Marine s'équipe dès lors d'une gamme de ces appareils. Selon H. FONTAINE, rapporté par DU MONTEL⁵⁸, « *en 1877, un certain nombre de machines Gramme ont été installées à bord de plusieurs navires de guerre français, danois, russes, anglais et espagnols, parmi lesquels nous citerons le Livadia et le Pierre-le-Grand de la marine russe, le Richelieu et le Suffren de la marine française, le Rumancia et le Victoria de la marine espagnole.* ».

Le **Richelieu** est un cuirassé de premier rang, mis en chantier en 1868 et mis à la mer en 1873⁵⁹. Navire à coque bois avec un éperon en fer de trois mètres, il déplace 8790 tonnes pour 96 mètres de long. Son projecteur de sabord est sur rail afin d'être protégé⁶⁰ par la cuirasse lorsqu'il n'est pas en action.

C'est un bâtiment à propulsion exclusivement vapeur, les trois mats sont des emplacements de vigie pour informer et/ou diriger l'artillerie du bord. Un incendie accidentel le ravage dans le port de Toulon le 29 décembre 1881⁶¹, le navire est noyé et chavire. Le **Richelieu** est relevé et renfloué en 1883. A cette occasion, l'installation des projecteurs extérieurs est complétée par un éclairage intérieur avec des lampes à incandescence.

57 A. TREVE, *Etude sur les machines magnéto-électriques*, Paris, *Revue Maritime et coloniale*, Tome 23, 1868, p. 951-961.

58 Théodore DU MONCEL, *op. cit.*, 1879, p. 255.

59 *La marine à l'exposition de 1878, Tome 1*, Gauthier-Villars, J.Hetzl et Cie., Paris, 1879a, p. 35.

60 Jean DE BLOCH, *La Guerre Future - Tome III* (Paris: Guillaumin et Cie, 1898), p. 115.

61 J. M. ROCHE, *La flotte de guerre française de 1671 à nos jours*, Paris, SHD Vincennes, 2005.

A bord du *Richelieu*, le premier équipement (que l'on peut qualifier d'essai grandeur réelle) comprend un seul projecteur, placé sur la passerelle du commandant et pouvant se déplacer sur un rail de bâbord à tribord. Le projecteur lenticulaire d'origine est remplacé l'année suivante par un projecteur de type MANGIN⁶². Pour pouvoir éclairer simultanément les deux côtés du navire, les équipements sont généralisés sur les deux bords.



Illustration 14 : Le *Richelieu* équipé d'un projecteur photo-électrique

Source : (Collection personnelle)

L'origine de l'incendie n'est pas connue, mais un adage affirme que les incendies sont d'origine électrique alors que les explosions sont imputables au gaz. Sans lien avéré entre incendie et électricité, nous pouvons constater que cet incendie ne remet pas en cause le déploiement de l'électricité à bord. Cela n'est pas surprenant, l'époque étant ouverte aux nouveautés, soit par adhésion à l'idéologie du progrès, soit par nécessité afin de ne pas perdre son rang vis-à-vis des autres flottes militaires. Par ailleurs, les incendies font partie des dangers bien connus des marins et une telle avarie n'est donc pas exceptionnelle⁶³.

Dans un tel contexte, le risque d'un incendie imputable à une origine électrique est donc très relatif parmi les autres risques d'incendie⁶⁴. Cette posture évoluera au fur et à mesure de la présence de l'électricité à bord et du retour d'expérience.

1.2.A. Le système technique d'éclairage du Richelieu en 1879

Il est certain que l'installation électrique du *Richelieu* présentait de sérieuses défaillances. Le rapport de 40 pages établi le 23 septembre 1879 par le sous-ingénieur de la Marine POLLARD et l'enseigne de vaisseau - torpilleur JOURNET est sans appel⁶⁵. Dans la continuité des observations déjà faites en 1868, le régulateur SERRIN fait l'objet de recommandations très critiques et il sera à terme remplacé par les projecteurs SAUTTER-LEMONNIER. Le propos du rapport est libre et assez critique, ce qui fait manifestement partie de la posture attendue d'un officier.

Ce rapport⁶⁶ est très complet, factuel et pragmatique. Sa publication dans le Mémorial du Génie Maritime assure une large diffusion de ses constats et recommandations auprès des ingénieurs et officiers de Marine, les deux communautés « ayant à en connaître ».⁶⁷

62 ALGLAVE and BOULARD, *Lumière Électrique* (Paris: de Firmin - Didot et Cie, 1882), p. 412.

63 Le 28 septembre 1869, l'incendie de la rade du port de commerce de Bordeaux détruit 16 navires civils

64 Le phénomène de l'auto-combustion des stocks de charbon dans les soutes est aussi connu et présente un risque réel : en 1874, 60 navires périrent sur les 4485 navires charbonniers de la flotte mondiale de commerce. Cette même année, à Saïgon, un cas de combustion spontanée se déclare à bord de l'*Antilope*, aviso à roue de la flotte française.

65 JOURNET and POLLARD, *Rapport Sur Les Appareils d'éclairage Électrique à Bord Du Richelieu* (Mémorial du Génie Maritime, 1879), pp. 1-40.

66 JOURNET and POLLARD, pp. 1-40.

67 L'ingénieur POLLARD fait partie de la délégation de la Marine française qui visite intensément (durant un mois) l'exposition internationale de Vienne en 1883. Son rapport mentionne les générateurs, les accumulateurs et l'éclairage. L'enseigne de vaisseau JOURNET poursuit sa carrière qu'il termine en 1917, après avoir été promu contre-amiral en 1911. Sa compétence en électricité a probablement joué dans sa nomination en 1907 comme Commandant du cuirassé *Marceau*, siège de l'École des marins torpilleurs à Toulon.

Ce document s'intitule simplement « Rapport sur les appareils d'éclairage électrique – Note sur l'éclairage électrique » et il décrit principalement le système d'éclairage en service à bord du cuirassé *Richelieu*. Le contenu est particulièrement riche pour l'historien, tant par les informations contenues que par la forme de présentation de la note. Il ne s'agit pas d'un texte donnant une vision à l'instant d'un navire particulier, mais d'une synthèse couvrant plusieurs mois de l'exploitation d'un dispositif d'éclairage à bord de plusieurs navires de la flotte. Les quarante pages sont structurées en dix chapitres inégaux et complétées par deux plans de la machine électro-magnétique type C. Le volet technique du rapport est focalisé sur l'installation électrique, la machine à vapeur qui entraîne la machine de GRAMME est juste citée : c'est un moteur BROTHERHOOD, commun et assez répandu dans la Marine pour que sa désignation soit suffisante et explicite pour les lecteurs.

La note présente le système technique d'éclairage en incluant la conduite de la dynamo GRAMME, de la lampe à main, des fanaux, des « *communications électriques* » mais elle ne consacre que quelques lignes « pour mémoire » au fonctionnement en amont des équipements vapeur: le moteur BROTHERHOOD et le régime de la chaudière vapeur. La vapeur est « extérieure » au système technique d'éclairage, alors que les auteurs prennent soin d'aborder « *la nécessité en des moyens de dresser le personnel* » au système technique d'éclairage.

Les deux rédacteurs se sont très certainement répartis les sujets présentés : il est probable que les aspects scientifiques avec des descriptions mathématiques aient été écrits par l'ingénieur POLLARD alors que l'enseigne de vaisseau JOURNET aurait rédigé les usages pratiques à bord du dispositif. Le langage mathématique n'est employé que dans le premier quart du document, lors de l'exposé du fonctionnement de la dynamo. L'usage des formules mathématiques reste modéré, on dénombre 31 formules dont 26 dans les 11 premières pages. La modélisation des phénomènes physiques s'appuie sur une représentation macroscopique en régime continu et les formules ne font pas appel au calcul différentiel et intégral. Il y a une volonté de lisibilité, ce que l'on ne trouve pas toujours dans les écrits scientifiques des ingénieurs du Génie Maritime qui cultivent ainsi un entre soi codé. La complémentarité des compétences donne tout son intérêt au document, qui comporte des avis personnels assez tranchés, sans complaisance. L'ingénieur observe la qualité des équipements installés, préconise des évolutions dans les matériels fabriqués et dans la réalisation des circuits électriques à bord. La rédaction des précautions à prendre (4 pages) suite aux avaries constatées est claire et explicite : elle croise un savoir technique et une pratique à la mer.

La préoccupation du texte est aussi prospective, l'officier de Marine cherche quels seraient les usages possibles de l'éclairage électrique avec ce type de source puissante, sans en oublier les contraintes : l'installation d'un tel dispositif sur un canot à vapeur est mentionnée avec de fortes réserves argumentées par la pratique, car « *dès qu'il y a de la mer ... [l'emploi] ... devient impraticable* ». De même, la forte puissance lumineuse de l'arc est une contrainte : l'équipage est ébloui (p.31) et ce point important est rappelé dans les conclusions (p.37). Un subterfuge adaptatif consiste à « *éclairer tout près du bord pour obtenir une lumière très douce sur la coupée, les sabords et les pavois* ». Dans ce système technique d'éclairage, le fractionnement de la source lumineuse est un objectif implicite : la lampe à incandescence sera une réponse à partir de 1881.

1.2.B. Un sous-système technique électrique en courant continu

La structure de la note qui présente le sous-système technique électrique est scindée en trois parties : source / distribution / récepteur. Ce modèle correspond bien à celui qui a été présenté dans l'introduction. La note décrit donc les éléments suivants :

- la source, pour l'éclairage, est une machine électro-magnétique de GRAMME du type C de la maison SAUTTER et LEMONNIER.

Elle est désignée sous la dénomination de machine de 1600 becs, valeur considérée comme sa puissance nominale. On observe que contrairement à l'expérimentation faite en 1868 sur l'Héroïne avec des courants non redressés, la machine délivre du courant continu ce qui facilite l'usage des lampes à arc. L'équipement initial en 1877 était une machine de 500 becs, en 1879, la note fait état d'une machine plus puissante de 1600 becs. Il n'est pas précisé si la machine à vapeur et la machine électrique sont sur le même arbre mécanique ou décalées et reliées par une courroie.

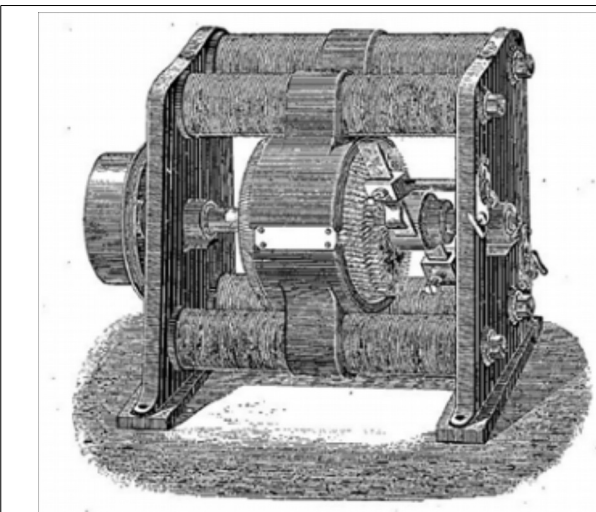


Illustration 15 : Machine SAUTTER-LEMMONIER 1600 becs

Source : Louis CALLOU, *Électricité pratique*, Paris, Librairie Maritime et Coloniale, 1897, p. 122.

L'illustration 15 ci-dessus est une machine de 1600 becs dont on ne peut apercevoir sur la droite qu'un seul collecteur. Cette reproduction montre la réduction de l'encombrement général de la machine mais aussi la persistance de l'absence de dispositions spécifiques pour la Marine. La note recommande l'appréciation « à la main » de l'échauffement des bobines, pratique tout à fait réalisable avec une telle absence de capotage. La température de service mesurée en essai est de 70°C.

- les « *communications électriques* », terme qui sera ultérieurement remplacé par le réseau de distribution ou l'installation électrique. Il n'y a aucune ambiguïté sur le sens du terme dans ce rapport, car « *les communications entre les projecteurs et la machine de GRAMME sont assurées par un porte-voix et par un timbre électrique* ». Par commodité, dans la suite du texte, le terme d'installation électrique sera employé, malgré son caractère anachronique.
- les lampes et les projecteurs. Le terme de lampe désigne l'ensemble de la source électrique lumineuse, le dispositif où se crée un arc électrique. La lampe impose un réglage manuel ou est automatisée. Le terme de projecteur désigne le dispositif qui porte la lampe ainsi que l'équipement optique pour former et diriger le faisceau lumineux.

La description de chaque partie du sous-système technique électrique nous donne en quelque sorte un « point zéro » de l'état de l'art électrique à bord de la marine militaire. Il est donc indispensable de relever ce qui pose problème en 1879, afin de pouvoir pister ensuite le devenir de ces points faibles techniques sur la période d'étude.

1.2.B.a. La source d'énergie électrique : la machine de type C

La machine électro-magnétique de GRAMME est une déclinaison directe de la célèbre dynamo de GRAMME. Le choix du mot électro-magnétique la différencie des machines dont le champ inducteur provient d'un aimant permanent. Ici, le champ inducteur est créé par huit bobines d'électro-aimants qui entourent les pôles magnétiques fixes. Le rotor comprend deux collecteurs à chaque extrémité : il y a deux paires de balais, une paire à chaque extrémité.

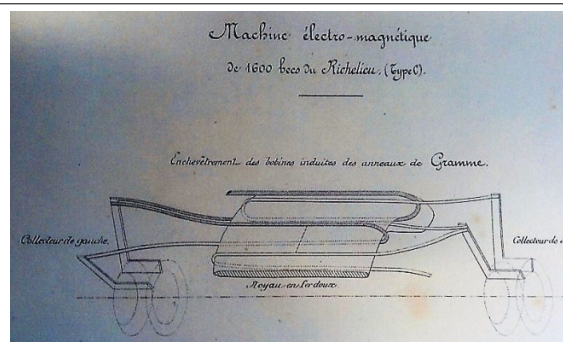


Illustration 16 : Machine SAUTTER-LEMONNIER type C

Source : JOURNET et POLLARD, *Rapport Sur Les Appareils d'éclairage Électrique à Bord Du Richelieu* (Mémorial du Génie Maritime, 1879)

Cela donne deux sources électriques distinctes qui peuvent être ou non connectées entre elles. Les balais sont rétractables. Les bobines d'électro-aimant sont enchevêtrées et raccordées en parallèle aux bornes des balais : c'est une dynamo à excitation shunt. La machine peut tourner sans frottement des balais sur les collecteurs : c'est la marche à vide, lors du lancement en rotation de l'ensemble par le moteur à vapeur. Une intervention humaine est nécessaire à chaque changement d'état du système technique d'éclairage : mise en rotation de la dynamo, mise en service de l'éclairage, réglage au cours de l'utilisation, fin de l'éclairage puis mise à l'arrêt de la dynamo.

Lors du lancement en rotation du moteur à vapeur, les balais sont écartés, il n'y a pas de charge électrique et la vitesse est maximum, soit environ 726 tours / minute. Puis, les balais des deux pôles sont pressés sur un collecteur, les bobines de l'inducteur sont alimentées et renforcent ainsi le champ magnétique rémanent. La tension aux bornes des balais est alors fonction de la vitesse de rotation car aucune lampe n'est encore raccordée. Les interactions sont fortes dans ce système et où la coordination entre opérateurs de la machine vapeur et du système électrique s'avère incontournable : ceci est un saillant-rentrant (ou un point faible) entre la vapeur et l'électricité.

La connexion mécanique entre l'arbre moteur et l'axe de la génératrice est le composant de liaison organique entre les deux mondes, celui des mécaniciens et celui des électriciens. Les équipements initiaux, machine vapeur et machine de GRAMME, n'ont aucun dispositif de régulation : chaque matelot agit sur son matériel pour s'adapter aux réglages effectués par son partenaire. La réussite est collective, comme toujours à bord. Pour améliorer ce fonctionnement entre les deux machines, le recours à un porte-voix et à une sonnerie électrique est préconisé. A terme, deux régulations locales (une sur la machine à vapeur et une sur la dynamo) se substitueront à ces communications opératoires entre les deux mondes.

La puissance nominale de la machine type C est de 1600 becs, unité d'éclairage en usage entre 1830 à 1919. Deux observations viennent immédiatement à l'esprit :

- la « performance » de la machine s'exprime en quantité de lumière délivrée. Les grandeurs électriques sont accessoires, le seul service attendu dans le cas présent

est l'éclairage. Pour l'époque, cela est cohérent car il n'y a pratiquement pas d'autres usages de l'électricité sous sa forme de vecteur énergétique.

- l'unité d'éclairage fait référence à l'effet lumineux d'un autre type d'équipement, en l'occurrence une lampe à combustion. Les différentes unités de mesure scientifique ne sont pas reliées entre elles et le « mètre étalon » de la photométrie reste à concevoir.

Cela pose néanmoins des difficultés⁶⁸, car si le bec carcel est défini par la combustion de 40 à 42 grammes d'huile à l'heure avec une longueur de flamme d'environ 50 mm, d'autres unités sont pratiquées en France (la bougie) et outre Manche avec le « *candle* ». Des conversions existent, mais ces mesures dépendent de l'appréciation de l'individu. Des photomètres, véritables instruments de mesure, apportent une rigueur dans l'appréciation et la comparaison des sources lumineuses.

De leur côté, les fabricants de génératrices électriques convergent vers l'emploi de grandeurs purement électriques pour définir les performances de leur machine. Toutefois, dans un premier temps et au moins jusqu'en 1890, les constructeurs⁶⁹ présentent leur gamme en utilisant les deux familles d'unités (voir illustration n°13).

CROMPTON & C^O L^D
32, rue St-Lazare
PARIS

ECLAIRAGE — TRACTION ET PROPULSION ELECTRIQUES
Transmissions de force — Accumulateurs Crompton-Howell à décharge rapide — Stations centrales de distribution d'éclairage à l'électricité ECLAIRAGES PRIVÉS

LES PLUS HAUTES RÉCOMPENSES A TOUTES LES EXPOSITIONS
MÉDAILLE D'OR EXPOSITION UNIVERSELLE PARIS 1889

Machine Dynamo Fritsche Brevetée s.g.d.g.
Enroulement shunt — Enroulement compound

Volts.	Ampères.	Watts.	Lampes 16 bougies nominales.	Chevaux-vapeur.	Révolutions par minute		
					Série R.	Série K.	Série M.
65 110	38 23	2500	46	4,8	400		
65 110	61 37	4000	74	7,35	400		
65 110	100 60	6500	120	11,5	400		
65 110	105 64	6700	125	12,5	250	180	180
65 110	185 109	12000	220	32	220	160	160
65 110	270 160	17600	325	30	220	160	160
65 110	415 245	27000	500	45	190	140	140
65 110	625 370	40700	750	65	190	140	140
65 110	1000 590	64900	1200	100	150	110	110

Pour tous renseignements, prix, etc., s'adresser : 32, rue St-Lazare, PARIS.

Illustration 17 : Performance affichée en Watt et Bougie

Source : Revue industrielle -N°31, Paris, 2 août 1890, p. XIII

On peut aussi s'interroger sur la conception de cette machine qui offre deux sources électriques distinctes. Le texte nous donne des explications différentes et complémentaires :

- la « combinaison en quantité » dans le circuit extérieur donne une tension double. Il s'agit là d'une réflexion préalable à ce que pourrait être l'optimisation de la tension du système électrique à bord. Cette question est récurrente sur la période étudiée.
- une possibilité de fonctionnement dégradé avec une avarie sur une des deux sources, dans le cas de la rupture interne d'une spire du bobinage. Nous trouvons ici une recherche implicite de fiabilité et de redondance. En termes plus actuels, nous dirions qu'il y a effectivement redondance entre les deux bobinages induits mais malheureusement un mode commun avec un seul rotor. Ce questionnement sur la fiabilité et la continuité de service est une constante pour la Marine, cette exigence s'affinant au fur et à mesure des expériences cumulées.

68 La lumière électrique - Tome 1er - N°4, 64-65.

69 La revue industrielle - supplément au N°31, Paris, 1890c, p. XIII.

Ce type de générateur délivrant deux sources électriques distinctes ne donnera pas lieu à une nombreuse descendance, car d'autres réponses techniques seront apportées sur le choix de la tension à bord d'une part, et en multipliant le nombre de dynamos d'autre part. Il est toutefois intéressant de relever une certaine proximité conceptuelle avec la machine U qui équipe les avions militaires lors de la première guerre mondiale⁷⁰. Dans les deux cas, les ingénieurs électriciens doivent réaliser des installations autonomes et embarquées, assez robuste pour supporter des chocs et des mouvements inconnus des installations terrestres : nous avons là une certaine communauté d'environnement, avec de fortes contraintes d'encombrement et de poids. On peut d'ailleurs observer qu'au-delà de la proximité linguistique (la nef et l'aéronef), nous retrouvons une proximité épistémologique des techniques, y compris dans le cas présent pour l'introduction de la technologie électrique à bord.

La machine U délivre « du courant continu et alternatif, permettant l'utilisation directe, du courant alternatif pour la TSF et du courant continu pour les besoins généraux du bord et pour une batterie d'accumulateurs de secours ». Les puissances fournies sont de 150 VA sous 400 à 800 Hz et 480 Watt en 16 Volt continu.

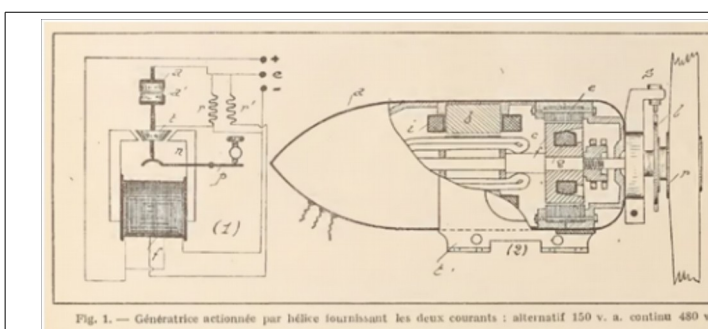


Illustration 18 : Génératrice d'avion (1919)

Source : L'électricien, Revue Internationale de l'Electricité, Paris, 1919, N°1243 p.265-269

Comme la machine de type C en 1879, la machine U de 1919 est une machine avec un seul rotor pour deux générateurs électromagnétiques.

1.2.B.b. L'installation électrique : une structure monophote

La note consacre à l'installation des conducteurs électriques cinq pages sur les quarante pages totales: ce volume de texte est proportionnel à la taille assez réduite de cette partie de l'équipement. Cette installation est dite « monophote » car elle ne comprend qu'un projecteur alimenté par une seule génératrice. L'essentiel du chapitre présente en quatre pages la manière d'utiliser les équipements. Ces paragraphes s'intitulent 'Du meilleur mode de manœuvre'⁷¹, 'Conduite de la lampe à main' et 'Conduite de la lampe Serrin'.

Le contenu de la page dédiée spécifiquement aux « Communications » est qualitatif, sans aucun chiffre ou formule physique. Il s'agit d'explicitier des connaissances techniques encore informelles pour les structures à terre, en charge de la conception et de la réalisation de l'équipement. Les recommandations faites couvrent plusieurs sous-domaines des installations électriques : on pourrait y trouver le germe des futures instructions techniques, tant dans le fond que dans la forme. Sur le fond, le rédacteur ne rentre pas dans la description élémentaire de détails, mais il s'attache à donner l'esprit de ce que pourrait être l'équipement : c'est l'expression d'un homme de l'art, la technicité du métier est en devenir. Sur la forme, les rédacteurs utilisent largement des injonctions fortes du type « il faut » ou « devront être assurés ». Les recommandations exprimées peuvent être rattachées à trois thèmes :

⁷⁰L'électricien-Revue Internationale de l'Electricité, Paris, 1919, p.265-269_ N°1243

⁷¹ Dont les exploitants du XXIème siècle restent friands sous l'anglicisme de « Best practices »

➤ Le rappel du lien entre loi physique et installations réelles.

Ainsi, « *il faut réduire, autant que possible, la résistance et par suite la longueur des conducteurs et à bien les isoler dans leur parcours.* » Tout est dit ici en quelques mots et l'esprit de cette règle restera inchangé pendant des décennies. Les ingénieurs du Génie Maritime recherchent déjà le meilleur arbitrage possible entre trois objectifs contradictoires :

- La résistance d'une canalisation électrique par la formule $R = R_0 \times L/S$. Pour réduire la résistance, on peut augmenter la section S du conducteur et utiliser un métal ayant une faible résistivité R_0 . Augmenter la section revient à augmenter le poids embarqué, sans oublier le coût de construction (achat de matière) et le coût d'exploitation à la mer (masse à déplacer)
- La longueur des conducteurs dépend du tracé retenu pour placer à bord les canalisations électriques. La ligne droite n'est pas la meilleure réponse dans le cas d'un navire, le contexte des ponts et cloisons s'impose, sans oublier le choix entre l'un des deux bords.
- L'isolement des conducteurs modifie l'encombrement du câble, et on peut retenir en première approche qu'un câble très bien isolé sera plus encombrant et lourd qu'un câble à niveau d'isolation plus réduit. D'autre part, le coût d'un câble augmente en général avec ses qualités d'isolation.

Tout le secret du bon arbitrage technique du moment réside dans l'interprétation de cette méta-règle exprimée par la trilogie « *Autant que possible* ». Nous verrons ultérieurement sur la période étudiée comment cette méta-règle sera appliquée selon les circonstances et le classement des priorités.

➤ L'écart entre un montage en laboratoire et l'adaptation à la réalité des utilisateurs.

Une autre préconisation est formulée : « *avoir soin de tracer des repères sur les extrémités des fils, pour faire bien correspondre le pôle négatif de la source électrique avec le porte-charbon inférieur* ». Il s'agit de contribuer à la bonne réalisation du circuit électrique, condition nécessaire au fonctionnement du système technique d'éclairage. Cette préconisation est ouverte, c'est une exigence de résultat sans être une contrainte de moyens à mettre en œuvre : le choix des repères ainsi qu'une éventuelle règle de codage de ces repères ne sont pas suggérés. La taille réduite de l'installation ne pose pas de difficulté pour lire le schéma ou pour comprendre le circuit.

➤ La réalité du bord, avec un environnement à la fois marin et militaire.

La pose des conducteurs électriques est une préoccupation importante et un enjeu majeur pour ce sous-système technique. « *Les bifurcations devront être installées sur une plaque en caoutchouc durci, à l'intérieur d'une boîte, placée à l'abri de la pluie et d'un accès facile.* » Contrairement à la phrase précédente, les rédacteurs expriment une exigence de moyens afin de satisfaire plusieurs résultats qui ne sont pas explicités : une isolation correcte, une protection mécanique, une certaine étanchéité et une maintenance aisée. L'interprétation de cette préconisation reste possible, mais la créativité est contrainte afin de préserver les résultats espérés.

La chute de cette phrase fait écho à l'expression latine « *in cauda venenum* ». Le marin rappelle aux techniciens restés à terre des réalités d'un navire. Cette demande de facilité

sera récurrente, présentée sous de multiples formes car elle fait partie des exigences fortes du métier.

1.2.B.c. Les lampes à main : un arc électrique à maîtriser

Selon le consensus de la définition actuelle⁷², l'arc électrique est une conduction gazeuse autonome dans laquelle la plupart des porteurs de charge sont des électrons produits par émission électronique primaire. L'effet produit par le passage du courant dans un gaz conducteur est essentiellement lumineux et exothermique.

Il est utile d'avoir présent à l'esprit quelques jalons de l'état des connaissances scientifiques sur l'arc électrique dans la période 1880-1935 :

- La découverte des principes régissant ce phénomène est attribuée au chimiste et physicien anglais Sir Humphry DAVY en 1813.
- La modélisation du comportement de l'arc est en cours de validation⁷³ avec les propositions d'EDLUND en 1867, puis d'AYRTON en 1896, suivi par BLONDEL en 1897,
- La même année, J.J. THOMSON donne de nouvelles clés⁷⁴ de compréhension des phénomènes de conduction avec son modèle de l'atome et de l'électron.

➤ Les crayons, siège du phénomène lumineux.

L'arc est localisé entre deux électrodes communément appelées crayons ou charbons. Il s'agit de cylindres d'un diamètre allant de 4 à 18 mm pour une longueur usuelle d'environ 10 cm. L'arc établit une conduction gazeuse avec des électrons émis par les électrodes : la matière des crayons se gazéifie progressivement. Le flux de matière est orienté selon la polarité des électrodes et l'anode positive se consomme plus rapidement que la cathode négative. Cette consommation dépend des facteurs de marche, mais on peut retenir les ordres de grandeurs suivants : le crayon positif se consomme à 25 mm par heure alors que son vis-à-vis ne diminue que de 15 mm par heure. La longueur utile d'un crayon donne une autonomie d'environ quatre heures de fonctionnement.

En pratique, les crayons-électrodes sont fabriqués à base de noir de fumée, de goudron et de charbon. Selon la composition des mélanges utilisés, le produit est commercialisé sous l'appellation de charbons de 1^e qualité, voire selon le cas de 2^e ou 3^e qualité. Enfin, le diamètre d'un charbon positif est supérieur à celui d'un charbon négatif : cet artifice dimensionnel compense partiellement les vitesses différentes de réduction entre les deux électrodes.

Les industriels de l'éclairage cherchent à améliorer l'efficacité lumineuse des crayons, toutes choses égales par ailleurs. En effet, la source de lumière est un des six attributs clés du système (voir schéma n°2). Parmi les différents fabricants, la maison SAUTTER ET LEMMONIER réussit une percée internationale remarquable avec des crayons recouverts de cuivre électrolytique : ce modèle⁷⁵ lui permet d'être le fournisseur de la Royal Navy en 1889.

⁷² http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/arc_%C3%A9lectrique/187185 consulté le 14/09/2017

⁷³ WAUWERMANS, *op. cit.*, 1869.

⁷⁴ La maîtrise de l'évolution d'un arc demande des connaissances assez diversifiées, selon que l'on désire le créer, le maintenir ou au contraire l'interrompre. C'est en soi un sujet complet qui n'est pas l'objet de cette étude.

⁷⁵ *Exposition universelle de 1889*, Paris, 1889a, p. Classe 62 p7.

Le sujet des crayons fait l'objet d'une réelle créativité industrielle, observable y compris au-delà de la période 1880 - 1935.

➤ La lampe, un dispositif qui porte et déplace les crayons.

L'éclairage à arc nécessite l'arrivée à bord d'un appareil de support et d'ajustement des crayons, dispositif appelé communément « lampe ». Il s'agit de mécanismes plus ou moins complexes, comprenant de nombreuses pièces électriques et mécaniques, l'ensemble s'apparente à un objet technique proche de l'horlogerie. L'environnement d'accueil ne se prête pas vraiment à cette arrivée: les mouvements du navire sont permanents, l'humidité est omni présente et la coque métallique est conductrice.

En 1879, le projecteur du *Richelieu* est équipé d'une lampe SERRIN. Il s'agit d'une lampe à électro-moteur comprenant un mécanisme oscillant, un mécanisme de défilage, une chaîne et des rouages, le tout régulant l'écartement et la position des crayons. Le choix de cette lampe est probablement influencé par le préalable de son installation réussie dans les phares. La lampe SERRIN est donc un matériel sensible qui a fait ses preuves à terre, mais son mécanisme de stabilisation utilise le poids d'une masselotte ... vulnérable aux accélérations. Ce point est largement critiqué dans le rapport.

A la mise en service de la lampe, la création d'un arc court (1 à 2 mm) donne une forte charge électrique qui ralentit les machines GRAMME et BROTHERHOOD. Le réglage de l'arc consiste à éloigner progressivement les deux extrémités des charbons pour obtenir un arc assez grand pour être lumineux (3 à 4 mm), ... mais un éloignement excessif des charbons (8 mm) entraîne l'extinction de l'arc. Or la distance d'extinction de l'arc est fonction de la tension fournie par la génératrice, tension qui est liée à la vitesse de rotation du moteur à vapeur, elle-même conditionnée par la pression et le débit de vapeur en provenance de la chaudière. Le régulateur SERRIN est trop sensible « *toute secousse, tout mouvement provenant du roulis et même du tangage ... peuvent provoquer ... un rapprochement des charbons qui ne reviendront à la distance normale qu'après un temps plus ou moins long.* », ce qui conduit les auteurs du rapport à proposer de ne plus utiliser le mode automatique de cette lampe. Les rédacteurs suggèrent de n'employer qu'une lampe à réglage manuel avec la contrainte d'intervenir « *toutes les trois à cinq minutes* » pour compenser l'usure des crayons. Ils préconisent toutefois un autre modèle, plus récent, et selon leurs dires, équipé d'une régulation électrique plus efficace que la régulation électro-mécanique SERRIN. La Marine opte d'ailleurs rapidement pour un autre type de lampe, mieux adaptée au contexte difficile : le fournisseur SAUTTER ET LEMMONIER répond à ce cahier des charges.

Le matériel SERRIN a été retenu parmi la profusion de dispositifs existants sur le marché : Th. DU MONCEL donne une liste⁷⁶ non exhaustive de 21 lampes. Selon les cas, les crayons ont une position verticale, horizontale ou en oblique. Les auteurs de l'époque proposent différentes typologies pour classer ces équipements selon leur principe de régulation. A titre d'exemple, une typologie distingue quatre réglages mécaniques (systèmes équilibrés, à frein, à déclenchement, à moteur) et trois réglages électriques (dérivation, série, différentiel). Il est remarquable que tous ces dispositifs fonctionnent de manière empirique, les concepts mathématiques de l'asservissement n'étant formalisés que vers 1930.

La période des adaptations incrémentales bat donc son plein, le marché n'ayant pas encore trouvé sa référence, que ce soit en France ou à l'international.

76 Théodore DU MONCEL, *op. cit.*, 1879, p. 149-192.

1.3. L'épreuve du combat et les premiers résultats dans la Marine française

Le besoin d'éclairer une zone de combat nocturne est ancien et de nombreux faits d'armes en attestent. Pour mémoire, un exemple proche de la période étudiée mérite notre attention. « *Le général confédéré Gardner commandait, en 1865, l'importante position militaire de Port-Hudson, sur le Mississippi, qui couvrait Wicksburg. Craignant une attaque de la flotte de l'amiral Ferragut, il avait fait déposer le long de la rive droite du fleuve, sur une étendue de deux kilomètres, une grande quantité de fagots secs ; la rive gauche était garnie de batteries. Le 1er mars, la flotte fut signalée et l'on tira des fusées dans la place pour donner avis d'incendier les bûchers. Les canonnières confédérées purent alors pointer facilement contre les navires qui se détachaient en noir sur le rideau de flammes. La flotte se composait de 44 bâtiments ; deux furent mis hors de combat ... et deux [navires] seulement ... parvinrent à forcer le passage.* »⁷⁷

L'éclairage électrique appartient à la famille des éclairages artificiels. Sa déclinaison prend diverses formes selon l'état des connaissances scientifiques et techniques du moment. Depuis 1813⁷⁸, alors que les propriétés lumineuses d'un arc électrique sont avérées, l'éclairage électrique vient en concurrence avec les sources lumineuses existantes, toutes à base de combustion. Nouvel arrivant dans cet univers déjà structuré, l'éclairage artificiel électrique se confronte aux mêmes critères que son aîné et il y répond en déployant ses propres avantages et inconvénients.

En 1850, l'arc électrique est une source lumineuse puissante alimentée par un ensemble de « piles voltaïques ». Energie secondaire, c'est-à-dire issue de la transformation d'une énergie primaire, l'électricité reste disponible en quantité limitée sous une forme contrainte : soit une source électrochimique qui nécessite un approvisionnement régulier en composants chimiques, soit une machine magnéto-électrique entraînée par un moteur. En 1856, la génératrice de WERNER SIEMENS comporte un inducteur fixe à aimant permanent et un induit rotatif avec un simple collecteur à deux lames qui redresse le courant produit. L'adjonction d'un moteur à vapeur fournit l'énergie mécanique à la génératrice, ce qui rend l'ensemble indépendant de composants chimiques.

La source lumineuse d'un arc électrique est comparée à ses concurrents. Cette source trop puissante ne peut pas être fragmentée, ce que regrette nombre d'utilisateurs potentiels. La lampe à filament sera la réponse⁷⁹. Basée sur l'arc électrique et sur la fusion d'une matière incandescente qui lui assure une continuité de fonctionnement, la bougie JABLOCHKOFF fonctionne uniquement en courant alternatif⁸⁰. C'est un avatar des lampes à arc, dépassées à terme par le saut technologique de la lampe à incandescence. D'autre part, son fonctionnement en courant alternatif n'a pas facilité sa généralisation à terre ou en mer en 1882 (cf. conflit Edison / Tesla).

Les interruptions brutales du fonctionnement de l'arc sont courantes, ce qui produit des extra-courants et des surtensions nuisibles aux isolants de la génératrice. Deux causes principales sont à l'origine de ces extinctions : 1- Le réglage manuel et permanent de l'écartement des charbons , 2- La variation de pression de vapeur qui perturbe la rotation de la

⁷⁷ WAUWERMANS, *op. cit.*, 1869, p. 97.

⁷⁸ J. P. CARON, *Les premiers pas de l'éclairage électrique au XIXe siècle*, Paris, Bulletin de la société pour l'encouragement de l'union des physiciens, 2001, p. 720.

⁷⁹ Si on ne regarde que l'usage d'énergie électrique, la lampe à filament ne serait qu'une simple innovation incrémentale, mais si on observe le dispositif technologique, c'est une réelle innovation de rupture.

⁸⁰ *La lumière électrique - Tome 7*, Paris, 1882, p. 346.

dynamo ainsi que la tension aux bornes de l'arc. Faute de pouvoir agir sur les multiples causes de ces extinctions brutales, un dispositif appelé « boîte de sûreté » remédie aux effets néfastes de ces variations de courant.

Le schéma ci-contre reprend l'ensemble du système monophote avec une génératrice et sa boîte de sûreté.

L'objectif du dispositif est de maintenir un courant constant en sortie de la dynamo, y compris lorsque l'arc s'éteint fortuitement. Un électro-aimant substitue à l'arc éteint une résistance d'une valeur similaire : le courant produit par la dynamo ne subit pas de variations importantes, ce qui préserve les isolants.

Ce dispositif lisse la charge mécanique appelée et facilite la conduite de la machine à vapeur.

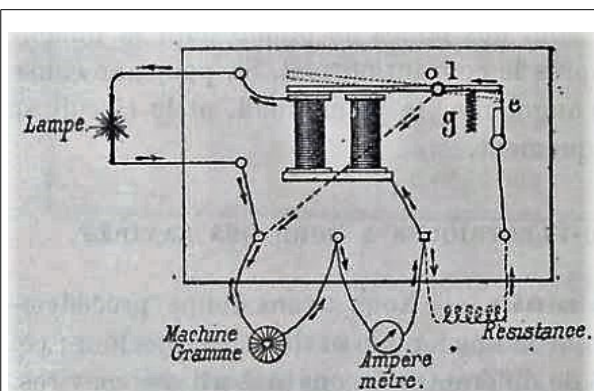


Illustration 19 : Boîte de sûreté

Source : LEDIEU et CADIAT, *Le nouveau matériel naval*, Paris, Vve Charles DUNOD, 1889, p. 496.

Source puissante, l'arc n'a pas les qualités géométriques des brûleurs de gaz. Ainsi en 1866, dans un article sur les Phares et les Balises⁸¹, L REYNAUD compare la longueur de la « *flamme électrique* » à la longueur de la flamme de gaz. Il constate l'importante difficulté pour optimiser le dispositif optique convergent en aval : la flamme électrique offre une surface réduite de 1cm sur 1,5cm, alors que les brûleurs d'huile à quatre mèches concentriques font 10 cm de haut sur 9 cm de large.

L'institution militaire, et peut-être plus encore la Marine nationale, est traversée par des tendances lourdes : d'une part, un souci d'être à la pointe dans les évolutions scientifiques et techniques avec l'envie de prendre un avantage décisif par rapport aux adversaires potentiels, d'autre part une prudence face aux idées des terriens. A titre d'exemple⁸², en 1882 le cuirassé *Le Colbert* tente de communiquer la nuit au sein d'une escadre avec des fanaux électriques dans la mature. Les essais sont apparemment satisfaisants si l'on en croit les propos dans la presse spécialisée. Toutefois, après un article très détaillé de quatre pages avec une photographie à l'appui, le journaliste reste très prudent, voire désabusé, sur le déploiement de cet équipement : « *Nous avons déjà eu l'occasion de voir plusieurs fois des expériences donner les meilleurs résultats tant que les appareils restaient sous la direction des organisateurs, puis être complètement abandonnés parce qu'à la suite d'un changement de personnel ils étaient tombés dans des mains indifférentes.* »

La torpille dormante est une arme défensive sous le commandement des stations à terre. Ces postes disposent d'un éclairage fixe et d'un champ d'intervention correspondant aux emplacements des torpilles dormantes en mer. En 1870, les premiers besoins d'éclairage à distance concernent uniquement ces stations à terre. L'équipage de ces postes a des compétences en électricité, que ce soit pour la mise à feu électrique des torpilles dormantes (qui seront désignées ultérieurement sous le terme de mines) ou pour mettre en œuvre le

81 H. BLERZY, *Les phares et les balises*, Paris, Revue des deux mondes - Tome 62, 1866, p. 215-241.

82 *op. cit.*, 1882, p. 631-635.

projecteur : ces marins relèvent de la spécialité de « Torpilleur ». En 1882⁸³, le gouvernement équipe la Marine de cent quarante cinq projecteurs dont trente d'une portée de 6 km pour la défense des côtes.

Avec les modèles WHITEHEAD, lorsque la torpille devient mobile en 1867 et qu'ensuite son portage en mer est assuré par des navires spécialisés, la donne change. Les cuirassés ont besoin de voir loin pour répondre à cette nouvelle menace. Alors que les premières installations voulaient voir pour voir, sans menace avérée, la généralisation des équipements s'explique par la présence d'une arme nouvelle, à contrer. La nécessité d'embarquer les projecteurs s'impose pour protéger des cuirassés au mouillage.

Il y a donc une imbrication de la projection de lumière dans le jeu cuirasse-épée (concept très proche de celui de saillant-rentrant). La cuirasse est certes vulnérable à la torpille, mais la vitesse et la furtivité des torpilleurs sont elles-mêmes fragilisées par les puissants faisceaux lumineux. Cette mobilité est un des arguments de la polémique initiée par la Jeune école.

Par un décret de janvier 1883, le projecteur MANGIN devient l'équipement de référence sur les cuirassés, croiseurs, éclaireurs d'escadre et avisos. Le nombre et les dimensions des appareils sont déterminés selon les navires⁸⁴. Les cuirassés d'escadre de premier rang, les croiseurs et les éclaireurs d'escadre sont armés avec deux machines GRAMME de 1600 becs, deux projecteurs MANGIN de 60 cm, trois lampes à main et un commutateur de couplage. Pour sa part, le canot à vapeur reçoit une dynamo de 200 becs et un projecteur de 40 cm.

Ces nouveaux matériels arrivent et comme le dit Géraldine BARRON⁸⁵, le processus technique d'adaptation de la machine au navire, et réciproquement, se double d'une nécessaire adaptation de la hiérarchie militaire. De nombreuses manœuvres ont lieu avec un scénario d'attaque de torpilleurs et mise en œuvre défensive des projecteurs :

- Pour mémoire, l'époque veut que chaque nation affiche l'excellence de sa maîtrise technique et son antériorité. La marine britannique⁸⁶ revendique ainsi l'installation d'un projecteur à bord du *HMS Minotaur* dès 1876. Dans une communication faite en 1892 à l'Institution of Mechanical Engineers, H.E. DEADMAN en décrit l'installation complète qui comprend une dynamo à courant alternatif à 32 pôles et tournant à 400 t/mn, un réflecteur parabolique et une lampe WILDE avec des crayons à section carré.
- En 1877, la guerre turco-russe donne des premiers retours en situation des projecteurs MANGIN installés à terre⁸⁷ : « *le port d'Odessa... pouvait apercevoir la nuit à quatre ou cinq kilomètres les gros navires qui se présentaient pour l'attaque ; les embarcations basses, peintes en couleur foncées, ne devenaient visibles qu'à deux kilomètres environ, ce qui était encore très suffisant.* » D'autre part, la mise en œuvre se précise et « *lorsque l'éloignement n'est pas trop considérable, la plus sûre manière d'apercevoir une embarcation suspecte n'est pas de l'éclairer directement, il vaut mieux commencer par lancer le faisceau lumineux un peu au-dessus, parce que les matières solides en suspension dans l'atmosphère réfléchissent les rayons lumineux*

83 WEISSENBRUCH, *Revue Militaire Belge - Tome II*, p. 204.

84 *Album de la science*, Paris, Ancienne Librairie FURNE, 1894a, p. 252.

85 Géraldine BARRON, *Edmond Pâris et la révolution maritime du XIXe siècle : un engagement technologique*, <http://paris.hypotheses.org/471>, consulté le 30 juillet 2016.

86 *La lumière électrique - Tome 46*, 129-31.

87 *op. cit.*, 1882, p. 348.

sur le bateau que l'on redoute et le rendent visible. » L'article cite cinq moyens de protection des cuirassés contre les torpilleurs, en insistant sur « *l'efficacité [liée] à la présence de puissants foyers électriques* ». *A contrario*, l'insuccès des attaques de torpilleurs russes est imputé à une mauvaise organisation : sur le fond, la menace des torpilleurs de surface reste réelle. L'article s'achève en donnant des nouvelles des essais de bateaux sous-marins et conclut sur les principaux moyens de défense du cuirassé contre « *le terrible engin qui rend les bateaux torpilleurs si redoutables.* » La position du journaliste est ambiguë, devant à la fois mettre en valeur l'efficacité des projecteurs électriques sans pour autant nier la vulnérabilité des cuirassés qui en sont équipés.

- En 1882, la marine allemande lors de ces manœuvres de nuit fait le constat que « *2 bateaux torpilleurs ont réussi à se glisser, sans être aperçus, assez près des cuirassés pour se trouver en mesure d'agir efficacement contre eux.* »⁸⁸ La décision d'équipement de la marine allemande date probablement de juillet 1875, date d'une démonstration⁸⁹ sur les toits de Berlin d'un « *appareil pyro-électrique* » fabriqué par SIEMENS-HALSKE.
- En 1884, le vice-amiral DUPERRÉ organise un exercice d'attaque nocturne de quatre cuirassés par trois torpilleurs. L'exercice a lieu entre minuit et trois heures du matin, par une nuit noire. Malgré les projecteurs en batterie et la vigilance renforcée de l'équipage, les trois torpilleurs se signalent à 40 mètres de leur cible⁹⁰.
- En 1887, l'amiral AUBE prescrit avec l'escadre de Méditerranée des essais pour apprécier l'emploi des projecteurs électriques dans des manœuvres de guerre. Les résultats sont jugés probants à une distance de 3 à 4000 mètres en mer. « *Il suffit de projeter un faisceau concentré de lumière sur un navire placé à une assez grande distance pour l'empêcher de gouverner. Ces projections électriques semblent démontrer que l'on peut s'opposer à l'entrée d'un navire dans un port et signaler de très loin la présence des torpilleurs qui sont maintenant un des éléments les plus importants des guerres navales.* »⁹¹

Cette position est bien sûr à replacer dans le conflit de la Jeune Ecole, dont l'amiral AUBE était l'instigateur. Il est remarquable que cette expérience ait lieu alors que l'amiral était encore Ministre de la Marine dans le cabinet FREYCINET, du 7 janvier 1886 au 29 mai 1887. Le navire support de l'arme torpille devenant visible et donc moins efficace, ce constat a pu intervenir dans la décision du Ministre de construire le premier sous-marin *Le Gymnote*. En effet, le sous-marin était appelé à être lui-aussi un vecteur de torpille, mais plus discret que les torpilleurs de surface.

- Entre 1879 et 1880, la Navy procède à des essais comparatifs dans l'Ecole Militaire du Génie à Chatham et met en concurrence les différents constructeurs. D'autres essais avec des matériels SIEMENS ont lieu en France et au camp de Volkoff en Russie. Les militaires belges synthétisent ces essais et reprennent la conclusion⁹² du rapport

88 *Revue maritime et coloniale, Tome 76*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1883a, p. 227-228.

89 *Revue maritime et coloniale, Tome 47*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1875.

90 *General information, Series N°3*, Washington, Office of naval intelligence, 1884, p. 130.

91 *Annales industrielles*, Paris, 1887, p. 643-644.

92 L. WEISSENBRUCH, *Les appareils de projection de lumière électrique en usage dans les armées européennes (fin)*, Librairie militaire C.MUQUARDT., Bruxelles, Revue militaire belge - Tome III, 1882b,

anglais : « *Les officiers du génie anglais reconnaissent au projecteur MANGIN une supériorité incontestable pour les usages militaires, à cause de sa solidité, de la puissance et des qualités optiques du faisceau qu'il produit* ». Dans la droite ligne des conclusions, la Navy s'équipe de projecteurs MANGIN. En 1892, malgré la concurrence des fabricants anglais, l'Amirauté constate encore que « *les miroirs et les charbons français ne laissent rien à désirer et sont encore jusqu'ici des modèles non dépassés.* ».

1.4. Vers un usage maîtrisé des projecteurs dans la Flotte.

En 1887, selon Hippolyte FONTAINE⁹³, les établissements SAUTTER & LEMONNIER ont livré plus de 1500 projecteurs MANGIN dont 400 pour la Marine française. Néanmoins, en 1888, il reste des difficultés pour faire coexister l'éclairage électrique à bord des cuirassés⁹⁴ car, lors du tir des grosses pièces d'artillerie, la puissance des vibrations peut être « *suffisante pour ... empêcher le réglage des lampes à arc.* »

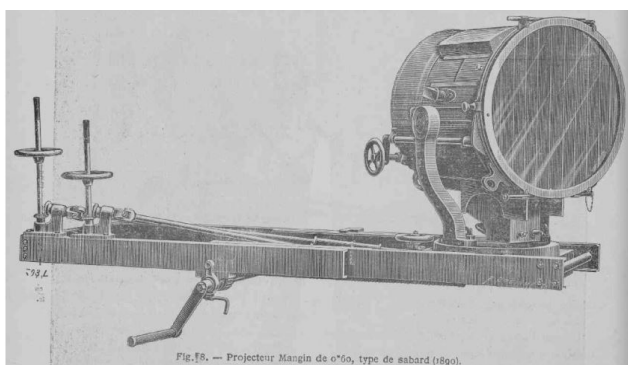


Illustration 20: Commande manuelle à distance

Source : L'éclairage électrique, Paris, Georges CARRE, 1895, p. 196.

Pour augmenter les secteurs éclairés, les projecteurs de sabord sont éloignés de la coque.

La manœuvre de pointage du faisceau est mécanique dans un premier temps, elle est ensuite motorisée.

Dès 1892⁹⁵, l'usage des projecteurs se précise : les projecteurs de hune, plus hauts sur l'eau, sont dédiés pour l'attaque de côte alors que la défense contre les torpilleurs revient aux projecteurs de pont qui sont placés au plus près de l'eau et donne ainsi une meilleure vision rasante. Mais l'assaillant s'adapte : il camoufle sa coque de son torpilleur, même si le choix de la peinture la plus discrète reste encore incertain⁹⁶. Globalement, l'efficacité de la détection n'est pas bonne, car les étincelles de la cheminée sont aperçues en premier⁹⁷, puis le bruit se distingue mais l'agresseur n'est découvert qu'à 750 m. Le délai de réaction de l'artillerie contre le torpilleur est très court.

p. 109.

93 Hippolyte FONTAINE, *op. cit.*, 1888, p. 664.

94 Pierre JUPPONT, *op. cit.*, 1888, p. 161.

95 Alphonse CRONEAU, *Canon, torpilles et cuirasse*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892, p76

96 Jean DE BLOCH, *La Guerre future - Tome III*, Paris, Guillaumin et Cie, 1898, p. 116.

97 *Ibid.*, p. 117.

En 1901, après quelques années d'expérience, les projecteurs se sont intégrés dans le matériel à bord, et après les ajustements de jeunesse, l'Etat-Major attend maintenant un éclairage de qualité au service de l'artillerie.

Les projecteurs utilisés à bord sont généralement d'un diamètre de 60 cm et sont commandés électriquement à distance. Alimentés par les machines du bord parmi les autres appareils électriques, les projecteurs sont maintenant dédiés. Ainsi l'éclairage d'un cuirassé comprend généralement six projecteurs :

- deux projecteurs de hune, installés dans la mâture ou sur une partie haute du bâtiment, afin d'avoir un commandement aussi étendu que possible. Les instruments de télémétrie sont dans les mêmes parties hautes. Le projecteur est à grand angle d'éclairage et les charbons de la lampe sont horizontaux.

Tel que le montre la photographie ci-contre, le service du projecteur peut être assuré par un homme, particulièrement exposé. La manœuvre à distance est possible à partir d'une tourelle blindée, que ce soit pour le réglage des charbons, pour l'inclinaison ou l'orientation du faisceau. La présence d'un matelot dans la hune n'est donc pas indispensable.

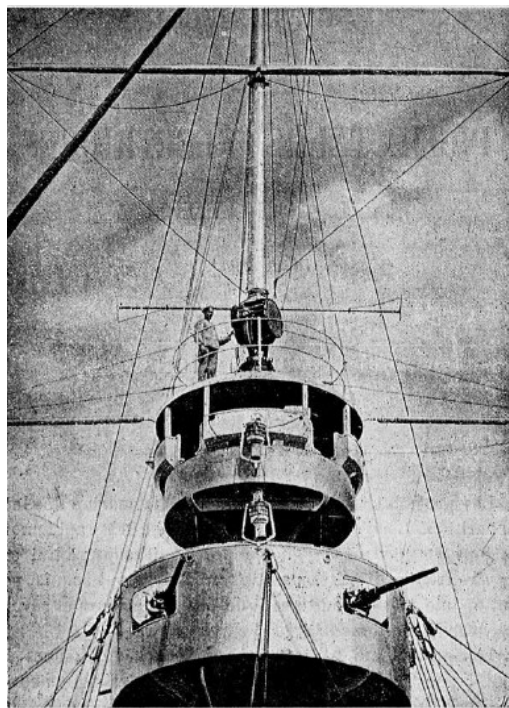


Illustration 21 : Projecteur de hune

Source : SHD Lorient

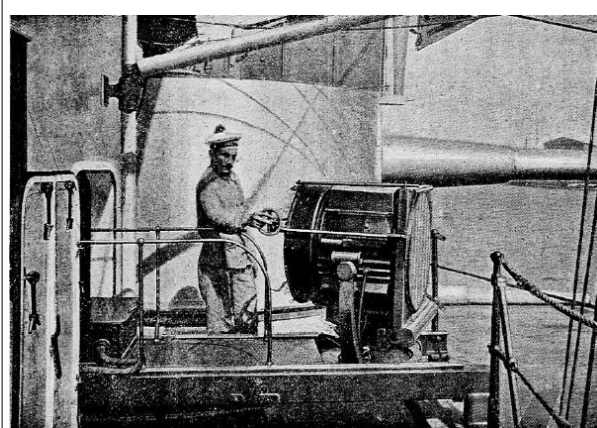


Illustration 22 : Projecteur de sabord

Source : SHD Lorient

- quatre projecteurs de sabord, au contraire installés dans les parties basses du navire afin d'éclairer la surface de la mer au voisinage du bâtiment. Les projecteurs sont répartis sur le pont (bâbord / tribord) et aux extrémités (arrière / étrave).

La distance focale étant supérieure à 60% du diamètre, les lampes sont à charbons inclinés.

Le combat de nuit se heurte toutefois à de nombreuses difficultés, malgré l'expérience acquise durant le premier conflit mondial. Ces difficultés persistent, les mêmes causes entraînant les mêmes effets. Le sujet reste d'importance et en 1922, l'Ecole de Guerre Navale

l'intègre dans son cycle de conférences présentant l'artillerie⁹⁸. La problématique du combat de nuit mobilise 8 des 129 pages du compte-rendu et fait un constat pragmatique de la complexité de l'usage des projecteurs en escadre. « *Comme preuve de ces difficultés* »⁹⁹, le CF OLLIVE mentionne les 12 principales règles d'emploi des projecteurs. Il soutient ensuite l'emploi des obus éclairants¹⁰⁰ qui font « *apparaître le but en ombre chinoise sur une nappe de mer éclairée* » ainsi que des obus traceurs.

En 1925, la coexistence des projecteurs et de l'artillerie soulève d'importantes contraintes pour implanter des matériels. Ainsi ¹⁰¹, « *les projecteurs doivent être placés assez haut pour échapper au souffle des pièces, à la fumée et aux embruns.* ». D'autre part, leur efficacité semble médiocre car « *on ne parvenait que rarement et au prix des plus grandes difficultés, à éclairer efficacement un objectif, même rapproché. L'indiscrétion du faisceau créait de graves dangers pour le bâtiment lui-même...* »

Liées à l'outil, ces difficultés sont partagées par d'autres marines. En 1931, le mémento « *Tactique appliquée des forces de surface*¹⁰² » souligne que les instructions anglaises disent « *aux grands bâtiments de ne pas rechercher le combat de nuit. ... On n'allume les projecteurs que si l'ennemi les allume* ».

En réponse à l'éclairage intrusif des projecteurs, et plus généralement pour conserver une relative discrétion, la Royal Navy s'intéresse dès 1916 au camouflage naval¹⁰³. Ces techniques graphiques restent ponctuelles et en devenir jusqu'à la seconde guerre mondiale. C'est un nouvel exemple des rebondissements de type « saillant-rentrant », relativement fréquents dans l'histoire militaire.

Enfin, même si la Défense Contre les Avions redonnera un éclat particulier aux projecteurs, fort utilisés pour la défense aérienne, les innovations incrémentales apportées sur la durée restent des adaptations quasiment mécaniques, à réactions lentes ou à vitesse humaine. L'ensemble de ces innovations sont insuffisantes pour contrer efficacement les armes nouvelles, très mobiles et rapides, dont l'aviation en est le parfait exemple. Le changement suivant de paradigme viendra avec l'électronique, support du radar et des systèmes d'armes asservis.

1.5. Le projecteur de 1880-1935, un cumul d'ajustements incrémentaux

A l'issue de la première guerre, les belligérants ont largement déployé des projecteurs électriques sur terre et en mer. A terre, les projecteurs¹⁰⁴ de Défense Contre Avions déployés autour de Paris proviennent de fournisseurs différents : BARBIER-BENARD et TURENNE, SAUTTER-HARLÉ, BRÉGUET. Avec des matériels d'un diamètre allant de 40 cm à 1,5 m, un large retour d'expérience est possible. Son analyse est un préalable au futur développement et des scientifiques étudient le sujet. Ils publient en octobre 1919 une étude¹⁰⁵ très complète de trente huit pages dans la Revue générale de l'électricité. Durant le conflit, les attributs clés du système (cf schéma en 1.2) ont fait l'objet de nombreuses évolutions incrémentales afin d'en

98 OLLIVE (CF), *Artillerie (Utilisation)*, Ecole de Guerre navale, 1927.

99 *Ibid.*, p. 119.

100 *Ibid.*, p. 120.

101 Le problème général du tir à la mer, Paris, Ecole de Guerre navale, 1925, p. 120

102 *op. cit.*, 1931a, p. 162.

103 Renaud BOUCHET, *Mémoire du camouflage de la Grande Guerre dans l'art contemporain*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2016, p. 175.

104 Jean LUCAS, *La D.C.A. ,de ses origines au 11 novembre 1918*, Paris, Baudinière, 1934, p. 71.

105 Marius GROSJEAN, *Les projecteurs de gros calibre pendant la guerre*, Paris, Revue Générale de l'Electricité - Tome VI - N°14, 1919a, p. 445 et suite.

optimiser le fonctionnement, sans toutefois remettre profondément en question le paradigme général.

Le cœur du dispositif est le canal gazeux, siège de l'arc. L'étude compare les trois fournitures de trois compagnies de référence : SAUTTER-HARLÉ, GEC et SPERRY. Sans entrer dans une description fine et comparative, chacun a développé un avantage concurrentiel s'appuyant sur une particularité technique. De manière générale, pour une optique de 90 cm, les diamètres des charbons ont tous réduit de 2,8 cm à 1,3 cm, ce qui contribue à augmenter l'éclat lumineux du cratère d'arc. Ces crayons assurent environ trois heures de fonctionnement. SAUTTER-HARLÉ opte pour des charbons « spéciaux », l'électrode positive (D = 26 mm, L = 420 mm) comprend une mèche et l'électrode négative (D = 14 mm, L = 300 mm) reçoit une surface cuivrée et nickelée.

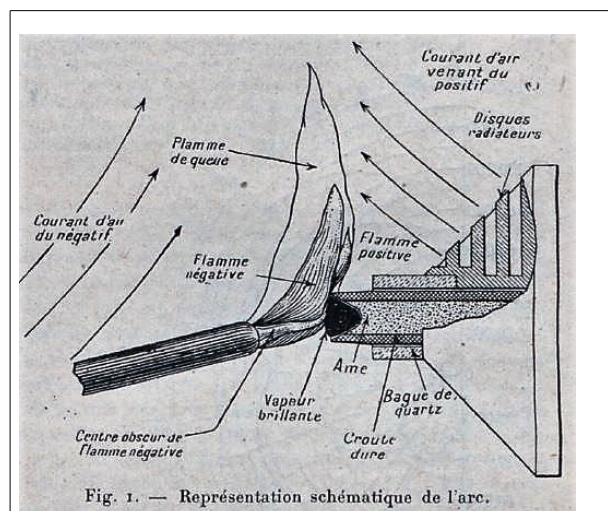


Illustration 23: Arc de la lampe SPERRY

Source : Revue Générale de l'Electricité - Tome I - N°19, Paris, 1917, p. 733.

Outre-atlantique, SPERRY réalise des charbons « spéciaux », l'électrode positive (D = 16 mm, L = 900 mm) comprend une grosse mèche avec des composés métalliques alors que l'électrode négative (D = 11 mm, L = 350 mm) reçoit une simple surface cuivrée. Mais plus important, l'éclat lumineux du cratère passe 100 bougies décimales par mm² à 250, voire 500 pour le modèle SPERRY.

La lampe a pour finalité de maintenir et de positionner la source lumineuse dans le dispositif optique. De nombreux mécanismes sont imaginés et la lampe mixte BRÉGUET, apparue en 1892, se classe parmi les meilleures. Son dispositif est dit mixte car il combine un moteur à excitation série associé à un ensemble mécanique de ressorts et de cliquets. La société SAUTTER-HARLÉ opte pour une fonctionnalité supplémentaire, la mise en veille, afin de permettre l'usage du projecteur pour émettre des signaux MORSE. La lampe SPERRY est au service¹⁰⁶ de ses crayons spéciaux : pour obtenir la combustion des composés métalliques de sa mèche, le mécanisme concentre les gaz dans le cratère de l'arc. Pour ce faire, le crayon positif a un mouvement tournant et est éventé. Enfin, la régulation est thermostatique. Pour un projecteur de 90 cm, l'arc au carbone donne 44 000 bougies alors que l'arc SPERRY donne 104 000 bougies.

¹⁰⁶ Revue Générale de l'Electricité - Tome I - N°19, Paris, 1917a, p. 732.

La lampe MANGIN ci-contre est un exemple très représentatif d'un mécanisme pour régler l'écartement entre les extrémités des deux crayons. Les crayons sont horizontaux et le crayon positif a le plus fort diamètre .

La lampe comporte un ensemble de moteur, d'engrenages et de vis sans fin. Le remplacement des charbons consumés est une opération qui demande une intervention soignée sur ce mécanisme, parfois dans des conditions agitées. Ce dispositif montre bien la forte imbrication des compétences mécaniques et électriques.

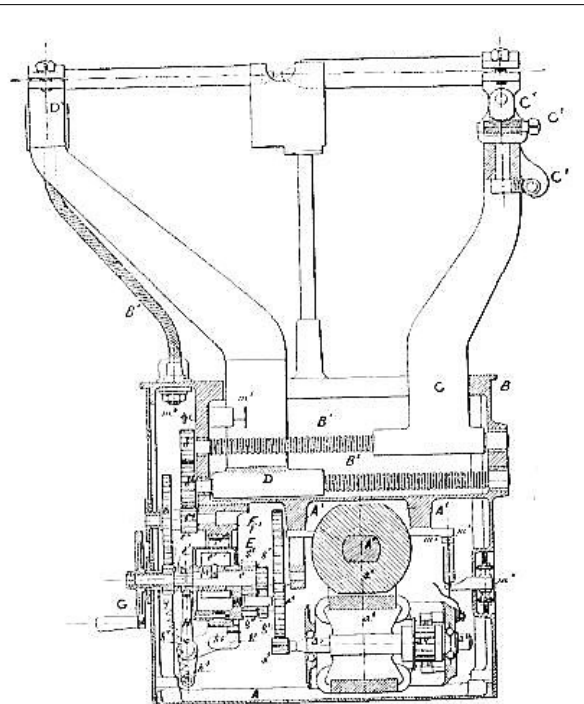


Illustration 24 : Mécanisme interne d'une lampe à arc

Source : L'électricité à l'exposition universelle de 1900 - Applications diverses, Paris, Vve Ch. DUNOD, 1902, p. 15-69.

L'optique du projecteur est une pièce essentielle dont la performance découle des qualités géométriques du miroir et des propriétés lumineuses de son matériau. Le miroir du dispositif MANGIN est en verre, sa face arrière est argentée et son profil est bi-sphérique. Autre fournisseur de la Marine, la maison BRÉGUET opte pour un miroir de forme parabolöide en cristal de 10 mm d'épaisseur. Sa face arrière est argentée. Ce modèle¹⁰⁷, d'un diamètre allant de 30 à 90 cm, est présenté à l'exposition de 1900 ainsi qu'un projecteur allemand type SCHUCKERT d'environ 2 m de diamètre. Le choix de cette forme optique est ancien, la fabrication de parabole en verre étant maîtrisée¹⁰⁸ dès 1885 par la maison SCHUCKERT. Les optiques en verre ont une face arrière argentée : ce dépôt est obtenu par des procédés chimiques élaborés pour leur dernière version vers 1850.

Vers 1905, la société SAUTTER-HARLÉ propose des miroirs entièrement métalliques en bronze doré. Le rendement¹⁰⁹ moyen du réflecteur est légèrement impacté, passant de 90 % pour une optique Mangin en verre à 85 % pour un miroir parabolique doré. De son côté, la SPERRY GYROSCOPE CO opte pour un réflecteur à miroir argenté de forme parabolique. Ces miroirs métalliques reçoivent leur revêtement par galvanoplastie, technique électrique par excellence. Néanmoins, la couche réfléchissante des miroirs métalliques est à l'intérieur du projecteur, proche de l'arc. Elle est donc plus exposée que celle des miroirs en verre dont le dépôt argenté est sur la face extérieure. L'ensemble de ces considérations plaide plus pour le

107 Edouard HOSPITALIER, *L'Électricité à l'Exposition de 1900. 15. Applications diverses*, 1902, p. 70.

108 RICAUD, *Applications de l'électricité à la marine*, Paris, 1930, p. 56.

109 P. CALFAS, *Les projecteurs électriques*, Paris, Revue générale des sciences pures et appliquées - Tome 26, 1915, p. 519.

métal que pour le verre, matériau fragile au choc mécanique et thermique. Le cuirassé *Démocratie*, lancé en 1904, est équipé de projecteurs Sautter-Harlé de diamètre 600 et 750 et peuvent recevoir¹¹⁰ les deux types de miroirs MANGIN ou métallique. Toutefois, le fabricant BARBIER, BÉNARD ET TURENNE réalise des miroirs de verre sectionnés¹¹¹, plus robustes que les miroirs monoblocs. Ces miroirs sont d'abord taillés, polis et puis découpés en quatre ou six secteurs assemblés ensuite dans une monture en bronze.

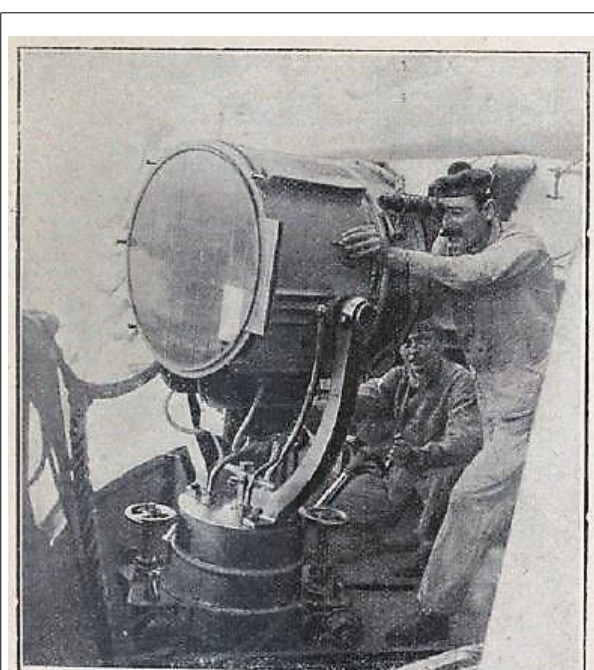
En synthèse, il apparaît que l'optique bi-sphérique en verre s'est imposée durant 30 ans mais que la forme parabolöide, après un retrait conjoncturel, redevient la référence avec un matériau métallique. Ce revirement a plusieurs causes : le nombre d'équipements à produire tant pour les besoins militaires que civils, l'augmentation de la puissance lumineuse et ses contraintes thermiques associées, la fragilité du matériau et de sa couche réfléchissante, sans parler du prix unitaire.

Le pointage du faisceau est manuel à l'origine, ce qui présente plusieurs inconvénients : les opérateurs sont exposés aux tirs ennemis, la coordination avec l'artillerie ou la passerelle est délicate, le temps de réalisation de la manœuvre est incertain.

La communication entre l'officier d'artillerie et les matelots s'effectue à la voix ou par des dispositifs de sonnettes.

Les matelots doivent faire fonctionner la lampe avec les manipulations électriques liées aux charbons. Ce point étant acquis, ils doivent aussi pointer le faisceau à la demande de l'artillerie.

La commande à distance devient rapidement une nécessité. Elle porte à la fois sur la mise en service de la lampe et sur les réglages du faisceau en azimut et en hauteur.



TYPE DE PROJECTEUR DE SABORD

L'un des servants manœuvre les volants de pointage en hauteur et en direction, d'après les indications que lui donne son camarade, de façon à amener l'objectif dans le champ de la lunette.

Illustration 25 : Pointage manuel par deux matelots

Source : L. FERRUS, Le projecteur électrique dans les opérations militaires, Paris, La science et la vie, 1915, p. 737.

110 SHD Chatellerault Cote 680 5I 89 plan SH du 24 janvier 1910

111 RICAUD, *op. cit.*, 1930, p. 58.

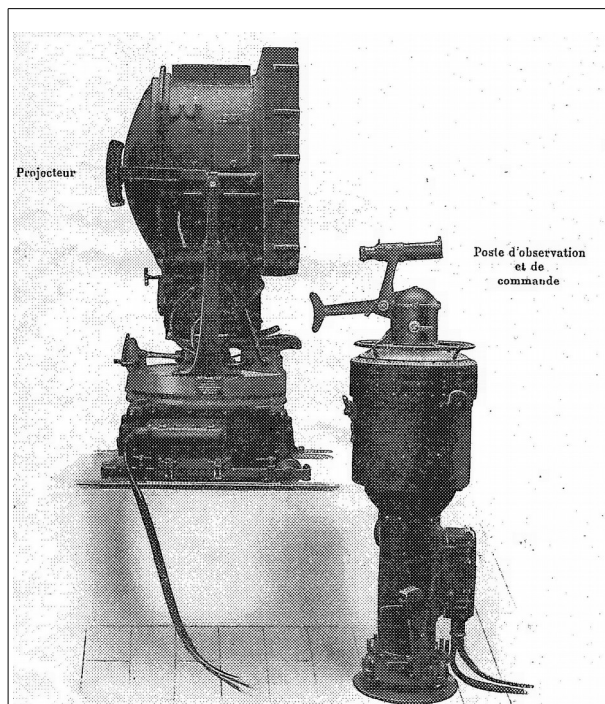


Fig. 5. — Projecteur de 90 c/m. de diamètre, type cuirassé et croiseur.

Illustration 27 : Projecteur télécommandé

Source : P. CALFAS, Revue générale des sciences pures et appliquées - Tome 26, Paris, Octave DOUIN & fils, 1915, p. 522.

Le poste d'observation peut être abrité et proche du local de l'officier d'artillerie : une distance de plusieurs dizaines de mètres n'est pas une difficulté.

Le raccordement entre le poste de télécommande et le projecteur est en câble souple multi-conducteurs. Ce détail comporte une réelle difficulté, et selon les constructeurs, le nombre de conducteurs varie de 6 à 12. La section du câble augmente mécaniquement sa rigidité, avec un impact négatif sur la fiabilité du dispositif. La question de la protection mécanique des câbles souples en environnement agressif est abordée au chapitre 2.

Le concurrent BRÉGUET réalise un produit similaire avec un dispositif de télécommande par boutons actionnant des commutateurs. Les six commandes possibles sont :

- Droite vite / Droite lentement
- Gauche vite / Gauche lentement
- Haut / Bas

Ces ordres de l'opérateur s'expriment dans un langage très proche de l'action des moteurs de positionnement. Cette interface homme-machine requiert un apprentissage et elle est une source d'erreurs dans son utilisation, particulièrement dans les situations difficiles de combat.

Un nouveau dispositif de commande plus intuitif avec des rhéostats rotatifs supplante rapidement ce système.

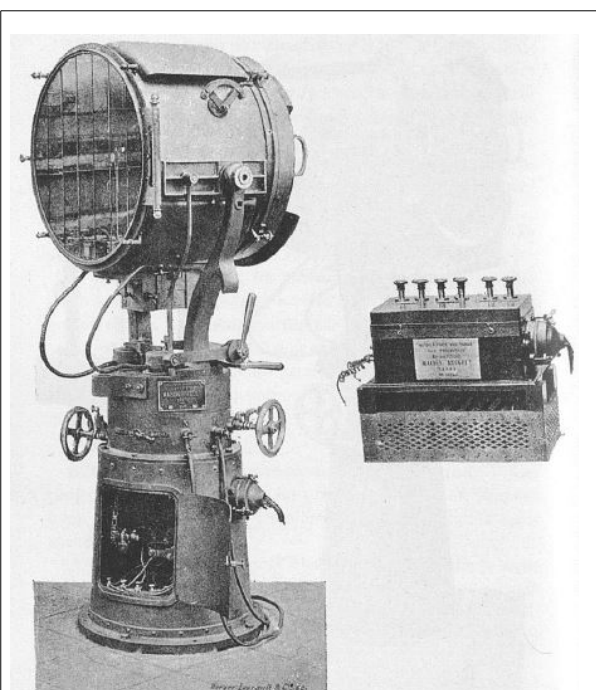


Fig. 183. — Projecteur parabolique Bréguet commandé à distance et poste de commande.

Illustration 28 : Télécommande par boutons

Source : Henri LEBLOND, Cours élémentaire d'électricité pratique - 3ième édition, Berger-Levrault et Cie, 1899, p. 416.

En 1897, un projecteur MANGIN de 60 cm version marine pèse 580 kg. En 1930, un projecteur de 75 cm pèse 900 kg¹¹⁴. Mais il s'agit d'un tout autre système :

- sa puissance lumineuse est plus importante¹¹⁵,
- sa consommation électrique , à puissance lumineuse constante, est moindre,
- le dispositif est télécommandé, ce qui réduit le nombre de matelots en conséquence,
- les miroirs métalliques ont augmenté sa robustesse,
- le projecteur est devenu un équipement électrique parmi d'autres, il n'est plus le centre de gravitation du système électrique..

¹¹⁴ RICAUD, *op. cit.*, 1930.

¹¹⁵ Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 3ième édition*, Berger-Levrault et Cie, 1899, p. 416.

1.6. Les projecteurs de l'*Emile Bertin*

1.6.A. Présentation générale du bâtiment

Le croiseur *Emile Bertin* est un navire de 6 000 Tonnes Washington (8 500 T en pleine charge), qui fait suite aux trois croiseurs de 8 000 TW du type *Dugay-Trouin* construits après guerre.

Mis sur cale aux Ateliers et Chantiers Navals de Saint-Nazaire Penhoët le 18 août 1931, l'*Emile Bertin* est lancé le 9 mai 1933, puis armé pour essais le 15 mai 1934. Il arrive à Brest le 10 juillet 1934 où il entre en armement définitif le 15 octobre 1934. Le 6 février 1935, il est affecté provisoirement à la 2^e escadre basée à Brest. Après sa croisière d'endurance, l'*Emile Bertin* est admis au service actif le 17/5/1935.

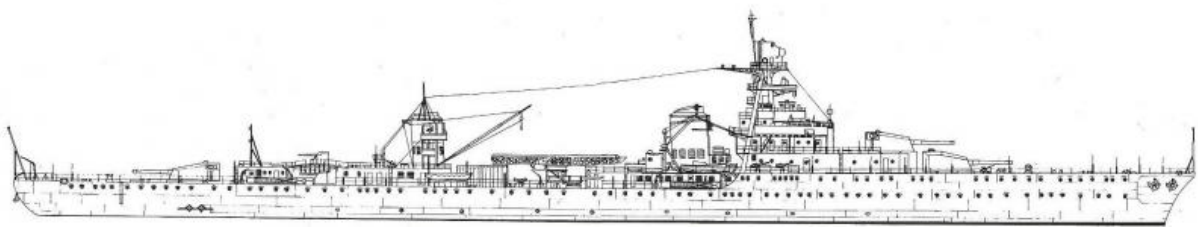


Illustration 29 : Le croiseur *Emile BERTIN* en 1935

Source : <http://forummarine.forumactif.com/t4844-france-croiseur-leger-emile-bertin> consulté le 23/12/2018

L'*Emile Bertin* appartient à la catégorie des croiseurs légers, c'est un bâtiment non protégé (pont blindé de 25 mm), rapide (34 nœuds) et d'un rayon d'action de 3600 nautiques à 15 nœuds. Lors des essais, il réalise une pointe de vitesse de 40 nœuds, performance inégalée à l'époque pour les croiseurs français. Son cahier des charges le dote d'une artillerie plus conséquente que le *Dugay-Trouin* avec neuf pièces de 152 mm réparties en trois tourelles triples, deux avant et une arrière. Ses six tubes lance torpilles complètent son armement, en particulier pour les missions d'attaque de convoi ou de protection des communications maritimes. Ses deux hydravions d'observation sont destinés à l'éclairage et au réglage de l'artillerie principale. Mis à l'eau par une catapulte, ces hydravions monoplans sont hissés à bord par deux mâts de charge électriques. Son artillerie secondaire antiaérienne comprend quatre pièces de 90 mm, réparties sur un affût double axial et deux affûts simples latéraux tournant ensemble. Etant aussi un croiseur mouilleur de mines, il embarque 200 mines. C'est donc un navire qui répond à différentes missions, conformément aux besoins de la Flotte dans le contexte des années 1925-1930. Son effectif en temps de paix est de 23 officiers et 520 hommes d'équipage.

En 1933, les six croiseurs de la classe *La Galissonnière* reprennent le concept de l'artillerie de l'*Emile Bertin*, neuf canons de 152 mm modèle 1931 en trois tourelles triples.

Le réseau électrique de l'*Emile Bertin* est en 235 V courant continu. La production d'électricité est assurée par quatre turbo-dynamos de 200 kW chacune, réparties par paires

dans les tranches machines avant et arrière. Au mouillage, s'il n'utilise pas les installations à terre, le croiseur dispose de trois groupes électrogènes de 100 kW à moteur diesel.

Il est inutile de décrire plus avant ce croiseur, un travail important ayant déjà été réalisé par les historiens. L'ouvrage¹¹⁶ de Jean LASSAQUE est une référence sur ce navire. Les quatre chapitres de la présente thèse ne portent que sur les matériels électriques objets de la recherche.

1.6.B. Un projecteur avant et deux projecteurs arrière

Cet équipement peut sembler modeste si l'on se réfère aux cuirassés construits en 1915. Ainsi avec une longueur très similaire, le cuirassé *Bretagne* de 25000 T pour 166 m de long est doté de six projecteurs, alors que ce croiseur de 6000 T pour 177 m de long n'a que trois projecteurs. En 15 ans, le contexte a changé, les missions et l'armement des bâtiments sont différents. La menace de l'aviation s'est confirmée et les matériels ont été adaptés en conséquence. Pour être exhaustif, il faut aussi mentionner les deux projecteurs de signalisation de la maison LUCHAIRE ainsi que des fanaux de navigation, appareillages secondaires exclus de cette étude.

Les trois projecteurs du croiseur ne sont pas des pièces isolées, mais ils font partie intégrante des fonctionnalités périphériques supports de l'artillerie. Pour preuve, le marché des projecteurs comprend les groupes convertisseurs nécessaires au télépointage. Alors que la quasi-totalité de l'installation électrique du bord est en courant continu, ces convertisseurs délivrent du courant alternatif monophasé¹¹⁷. Ce point sera examiné dans le chapitre 3 consacré aux tourelles.

1.6.B.a. Le projecteur avant, diamètre 75 cm.

Ce projecteur de recherche de but est installé sur une hune à l'avant. D'un diamètre de 75 cm, c'est un matériel commandé auprès de la société BARBIER, BÉNARD ET TURENNE (BBT dans la suite du texte) par un marché notifié le 16/6/1932¹¹⁸. Dès septembre 1932, la Marine demande à son fournisseur des plans et des précisions pour pouvoir implanter le matériel. Cette demande est assez classique sur un chantier prototype qui ne dispose donc pas de plans d'une réalisation identique antérieure. Les différents courriers du chantier montrent d'ailleurs bien la tendance des ingénieurs de la Direction des Constructions Navales de Brest à s'appuyer, autant que possible, sur une réalisation similaire, celle du croiseur école *La Jeanne d'arc*.

Le projecteur avant est télé-pointé par le chef de veille, il n'y a pas de servant à poste. A l'usage, le projecteur de 75 présente un dysfonctionnement sérieux : le faisceau lumineux est divergent et éclaire une partie de la plage avant. Cette situation est doublement préjudiciable car, d'une part les hommes de la plage avant sont éblouis et une partie du navire devient visible pour l'adversaire, d'autre part la puissance lumineuse du faisceau principal est affaiblie.

116 Jean LASSAQUE, *Le croiseur Emile BERTIN 1933-1959*, Bourg en Bresse, Marines Editions, 2004.

117 SHD Brest D-151 - pièce 119

118 SHD Brest D-151 - pièce 61

En mars 1935, le fournisseur BBT propose une première évolution qui revient à corriger le flux lumineux¹¹⁹ par des écrans.

En avril 1935, une autre modification est nécessaire pour stabiliser le faisceau parasite en intervenant directement sur l'arc électrique.

Sur le fond, il s'agit d'une adaptation de la ventilation de l'arc tel qu'elle existe dans le dispositif SPERRY. En pratique, un ventilateur électrique assure un flux d'air qui met en forme le canal gazeux conducteur de l'arc.

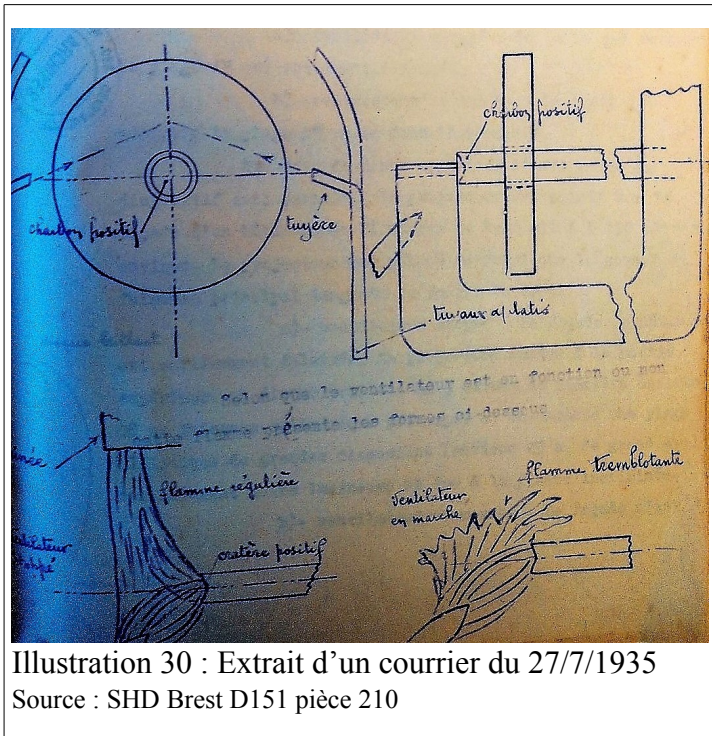


Illustration 30 : Extrait d'un courrier du 27/7/1935
Source : SHD Brest D151 pièce 210

Le dispositif proposé est testé par la Direction de l'Artillerie Navale de Brest et le P.V. d'essais¹²⁰ conclut sur une relative efficacité du dispositif anti-parasite : l'ouverture initiale du faisceau est de 125/1000, elle se réduit à 45/1000 lorsque le ventilateur est en marche. Ces quelques chiffres sont insuffisants pour l'ingénieur du Génie Maritime qui demande « *de les compléter par des mesures photométriques précises* ».

La Commission Locale des Essais (CLE dans les documents de la Marine) se réunit le 18/5/1935 pour prononcer la recette du projecteur BBT. Le texte¹²¹ du 7/6/1935 est ferme et sans appel : « *Le Bord a eu à se servir du projecteur à plusieurs reprises depuis le mois de janvier 1935. L'expérience du service courant ne conduit pas à modifier des observations formulées par la CLE dans le PV précité* ».

Le dossier est clos par le 1^{er} Bureau de Recherches Scientifiques qui informe le fournisseur BBT par un courrier¹²² du 19/6/1935 que sa modification « *a été essayé à bord du ..contre-torpilleur Vaujour et a donné des résultats encourageants.* » Les prochains projecteurs pour les autres navires devront intégrer cette évolution. Le désaccord persiste et ne sera tranché que lors de la recette définitive en juin 1936.

Le matériel de rechange à bord se limite à un miroir.

119 SHD Brest D151 – pièce 210

120 SHD Brest D-151 - pièce 645

121 SHD Brest D151 – pièce T16

122 SHD Brest D151 – pièce 248

1.6.B.b. Les projecteurs arrière, diamètre 120 cm.

Les deux projecteurs de l'artillerie CA (Contre Avion) sont installés à l'arrière, l'un sur bâbord et l'autre sur tribord. D'un diamètre de 120 cm, ces matériels sont commandés chez la société SAUTTER-HARLÉ par un marché N°8.460 souscrit le 24/6/1932 et approuvé le 20/7/1932. Ce marché comprend aussi la fourniture des groupes convertisseurs pour trois autres croiseurs : *Algérie*, *La Galissonnière* et *Jean de Vienne*. Si le croiseur-mouilleur de mines *Emile Bertin* est unique dans son genre, il est néanmoins équipé de matériels que l'on retrouve sur d'autres bâtiments. Cette pratique classique dans l'ingénierie permet de réduire les coûts de premier équipement, facilite la maintenance ainsi que l'approvisionnement des pièces de rechange. Le programme naval se précisant, la Direction de l'Artillerie Navale décide le 29 décembre 1933 que « *les schémas de réseaux de télécommande pour artillerie C.A. de 90 et projecteurs AR sont applicables ... au Dupleix et les six croiseurs de 7700T, ...au mouilleur de filets Gladiateur ... et au croiseur Emile Bertin.* ». La construction de ce navire prototype sert de fait à préparer tout ou partie de la classe de croiseur *La Galissonnière*.

Les projecteurs ont une forme extérieure octogonale.

La photographie les montre masqués, en position de repos. Cette image est prise en 1937, dans le golfe de Gascogne.

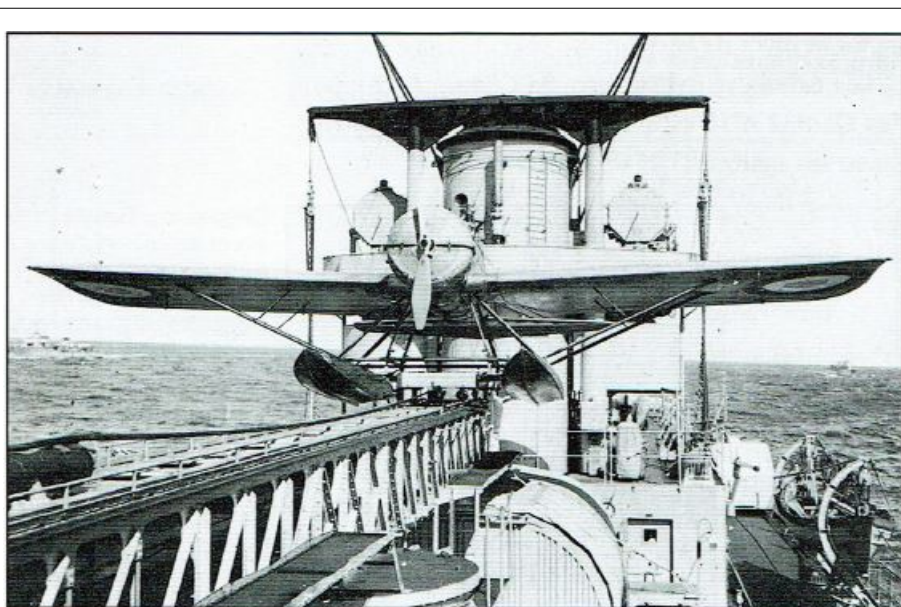


Illustration 31 : Projecteurs arrière de l'Emile BERTIN

Source : Jean LASSAQUE, *Le croiseur Emile BERTIN 1933-1959*, Bourg en Bresse, Marines Editions, 2004, p. 62

Très rapidement, dès le 28/11/1932, la Direction de l'Artillerie Navale soumet une demande¹²³ de modification à la DCN. La question porte sur l'information du chef de veille par les servants du projecteur. Sur l'*Emile Bertin*, les deux projecteurs arrière doivent être télépointés en direction et en site à partir des éléments du télépointage C.A. Le marché ne prévoit pas que le servant puisse informer le chef de veille que son projecteur est positionné sur le gisement désigné et qu'il peut donc être démasqué : une lampe « PARE » manque dans le cahier des charges. Le demandeur souligne qu'il « *n'existe pas encore de doctrine très ferme sur l'utilisation de la DCA* », ce qui explique cette lacune dans le marché et la

123 SHD Brest D151 – pièce 47

suggestion correctrice. En février 1933, la DCN Brest répond¹²⁴ qu'elle « *n'a pas d'avis formé sur cette question* ». Le 11/12/1933, la Direction de l'Artillerie Navale relance le sujet avec des arguments¹²⁵ et demande une décision.

Par ailleurs, le chantier de Penhoët dialogue avec son fournisseur, en particulier pour obtenir les plans d'implantation des moteurs de télécommande. Son premier courrier formel du 10 août 1932 n'aura une réponse que le 9 décembre 1932¹²⁶, une fois que la DCN aura spécifié que les plate-formes sous les projecteurs doivent recevoir deux hommes qui sont le servant d'azimut et le servant de site.

Les deux projecteurs nécessitent des convertisseurs qui adaptent la tension de 230 Volts à 60 Volts. Ils contribuent au système de télépointage qui comprend entre autre des groupes WARD-LÉONARD, indispensables pour la motorisation des pièces de CA. L'ensemble de ces équipements est plus volumineux que projeté. Une réaffectation des locaux est décidée¹²⁷ et, par effet « domino », l'espace nécessaire est pris *in fine* sur le coqueron des officiers subalternes.

Malgré des essais intermédiaires, des dysfonctionnements persistent. En février 1935, La mise au point des deux projecteurs de 1,2m reste toujours insatisfaisante, ce qui conduit la Commission Locale des Essais à faire une retenue provisoire de 1500 F et à prolonger le délai de garantie de six mois, au-delà du terme initial du 1/9/1935. Le Chef du Service « Electricité » mentionne dans le rapport final¹²⁸ de la Commission Supérieure d'Armement trois anomalies : présence de faisceaux parasites, mauvaise étanchéité des volets d'occultation et dispositif destiné à éviter d'éclairer le bâtiment. Ces points ne font pas obstacle à l'admission au service actif du croiseur le 17/5/1935. En effet, le PV de la CLE observe avec finesse que « *La CLE ne retient pas à la charge du fournisseur la présence de faisceaux parasites dont elle avait signalé l'existence dans son PV n°75. La Décision Ministérielle du 4/5/35 prévoit ... la passation avec la société SAUTTER-HARLÉ d'un acte additionnel pour l'installation , sur un projecteur de 1m20 du « La Galissonnière », d'un dispositif de soufflage destiné à atténuer ce faisceau parasite* ». Dans le cadre de la visite ultime de bon achèvement, la Commission Supérieure d'Armement se réunit à bord le 4/2/1936 et n'exprime aucune observation sur les réserves antérieures.

Le matériel de rechange à bord comprend deux miroirs, une lampe et un jeu de porte plane.

Par courrier du 25/1/1938, les établissements SAUTTER-HARLÉ proposent d'installer un dispositif de soufflage sur la lampe afin de réduire le faisceau parasite de l'arc. La DCN de Brest répond le 11/7/1938¹²⁹ en précisant que les trois lampes du bord (deux à poste + un rechange) sont à modifier une par une, dans un délai total de trois mois maximum. Le bâtiment étant affecté à Toulon, les échanges doivent avoir lieu avec la DCN de Toulon.

124 SHD Brest D151 – pièce 70

125 SHD Brest D151 – pièce 142

126 SHD Brest D151 – pièce 66

127 SHD Brest D151 – pièce 83

128 SHD Brest D151 – pièce T16 page 75

129 SHD Brest D151 – pièce 1084

1.6.C. Une technologie mature avec des améliorations marginales

50 ans après le premier équipement du cuirassé *Richelieu*, les ingénieurs continuent à améliorer le produit avec des succès relatifs. L'arc reste toujours le cœur du dispositif et les deux fournisseurs français peinent à contrôler la densité du canal conducteur gazeux. Les écrans sont des palliatifs aux parasites. *A contrario*, l'optique et le télépointage semblent être des domaines qui donnent satisfaction sans pour autant être maîtrisés.

1.7. Conclusion du chapitre 1, l'électricité est devenue une énergie du bord

Alors que les flottes s'engagent dans une compétition technologique entre l'obus et le blindage, l'apparition de la munition sous-marine automotrice reconfigure la situation. Dans ce nouveau paradigme, la torpille est une arme qui valorise la vitesse et l'agilité en contournant les pratiques issues du combat des lourds vaisseaux de ligne. Le prédateur de la cuirasse n'est plus uniquement une salve d'obus tirés à longue distance et dont un très faible pourcentage atteint statistiquement son but. La menace vient d'une torpille qui frappe sous la cuirasse avec un tir effectué à quelques centaines de mètres par un petit navire rapide et discret : le torpilleur.

Pour se prémunir des attaques nocturnes de torpilleurs, les cuirassés cherchent à démasquer cet attaquant grâce à un éclairage puissant. Cette détection préventive est suivie d'une action coordonnée avec l'artillerie légère en capacité de détruire ces cibles proches. C'est ce besoin d'éclairage extérieur qui invite l'électricité à bord et qui façonne le projecteur photoélectrique embarqué.

Entre 1880 et 1935, cet équipement s'adapte :

- la nature de l'arc, cœur de la source lumineuse, s'affranchit des électrodes en carbone à écartement manuel. L'arc est maintenant généré entre des électrodes asymétriques, élaborées avec différents composants chimiques. Ce canal gazeux bénéficie d'une ventilation mécanique assistée et d'une régulation électromécanique de l'intensité qui le parcourt.
- l'optique en charge de diffuser ou de concentrer le faisceau lumineux gagne en robustesse et efficacité. A la fragilité initiale de premiers miroirs en verre, après l'adaptation incrémentale des lentilles biphériques, le polissage de miroir parabolique en métal devient une réponse industrielle pertinente et économique.
- le pointage du faisceau requiert encore un marin au pied du projecteur, y compris après que le réglage de l'écartement des crayons soit régulé par de petits mécanismes asservis. La motorisation des mouvements du projecteur évite l'exposition. Cette télécommande du pointage du projecteur facilite la coordination des opérations entre la pièce d'artillerie et l'éclairage de la cible. Toutefois, cette télécommande n'a pas besoin d'être trop précise et rapide car la largeur du faisceau lumineux réduit les exigences de l'artilleur.
- la fiabilité de sa source électrique est essentielle pour un projecteur unique, mais elle ne pose plus question en 1935. En effet, la consommation d'un projecteur photoélectrique est devenue marginale dans le système électrique du bord, d'autres usages sont plus contraignants en matière de fiabilité et de redondance.

Toutes ces adaptations masquent un invariant technique : l'arc électrique est traversé par un courant continu. Cette permanence de la forme de l'énergie électrique est cohérente

avec la plupart des autres usages qui se sont invités à bord depuis 1880, le passage au courant alternatif n'est pas impulsé par les projecteurs.

Le projecteur électrique reste toutefois un élément important pour l'activité militaire du navire. Mais de nouvelles menaces apparaissent avec l'aviation et les sous-marins, tous deux porteurs de torpilles. Le rôle militaire du projecteur va désormais être moindre, sa portée étant trop courte et de fait inadaptée à ces nouveaux vecteurs¹³⁰ d'agression. En quelque sorte, le projecteur rentre dans l'ombre. Une étape a été franchie : l'énergie électrique est à bord et sa place va pouvoir croître, bien au-delà des sonnettes et autres téléphones. Les usages de la lumière se généralisent, entraînant dans son sillage d'autres applications, souvent liées à la force motrice. Cette forte croissance interroge la structure du système technique électrique qui doit convaincre que cette jeune énergie a bien une réelle utilité militaire.

130 Le moment venu, le radar et le sonar seront les contre-mesures pertinentes, possibles grâce aux tubes électroniques.

2.L'éclairage intérieur, un système technique complexe

Introduction au chapitre 2

Cette représentation du tableau de distribution électrique Modèle PORTSMOUTH est extraite du Torpedo Manual de la Royal Navy, édition de 1907. Ce manuel est un ouvrage de référence pour la flotte anglaise, trois volumes sont nécessaires pour couvrir l'exhaustivité de la question des torpilles. Le volume 1, épais de 432 pages, ne traite que l'électricité. Ce sujet est détaillé sur 22 chapitres illustrés de 80 illustrations et complétés de six annexes.

Cette publication de référence englobe l'ensemble des équipements électriques, de la génératrice à l'éclairage, sans oublier les sonnettes et la TSF. Depuis les années 1880, les objets électriques sont donc largement répandus dans les bâtiments de la flotte anglaise à tel point que le projecteur électrique ne mobilise plus qu'un seul modeste chapitre de 46 pages, soit moins de 10 % de l'ouvrage.

En 1907, les sujets importants sont les tableaux électriques, la marche en parallèle de génératrices ainsi que le management des machines. Ces aspects complexes sont présentés au travers de supports redondants et complémentaires : des dessins colorisés, des schémas de fonctionnement et de nombreux textes explicatifs. Après diverses déclinaisons techniques, une standardisation des matériels et des modes opératoires émerge. Le tableau de distribution – Modèle PORTSMOUTH en est un exemple.

Cet équipement concrétise la transition de l'usage ponctuel d'un objet électrique (cas du projecteur monophote) à l'usage coordonné d'une profusion de matériels.

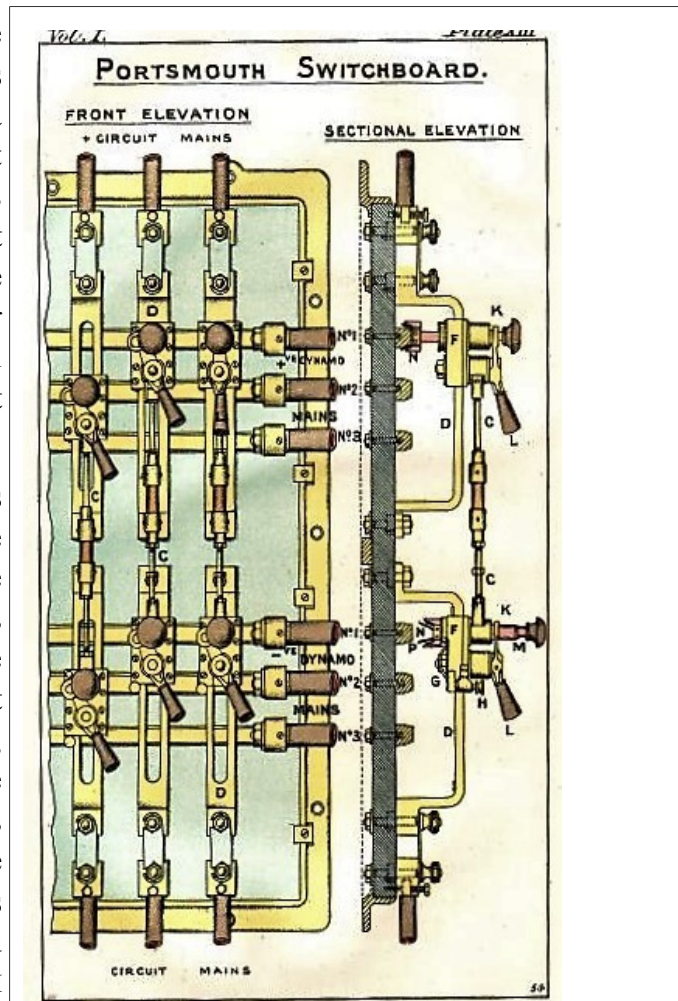


Illustration 32 : Tableau électrique - Modèle PORTSMOUTH

Source : *Torpedo manual for His Majesty's fleet*, Londres, Eyre and Spottiswoode Ltd, 1907, pl XIII.

Ce tableau électrique de la Royal Navy est le marqueur d'un système technique, en l'occurrence ici du système électrique embarqué.

La première installation¹³¹ de ce tableau général a lieu en 1892 sur le *H.M.S Centurion*, cuirassé de 119 m de long et de 10 800 Tx.

Ce dessin technique est une représentation conventionnelle du tableau de distribution Modèle PORTSMOUTH. Sans aucune cote ou indication d'échelle, il est toutefois possible d'estimer la taille de l'objet par les dimensions probables des manettes de manœuvre: ce tableau fait 1 m² environ. La vue de face ne comporte qu'une demi-figure selon un axe vertical, l'autre partie étant symétrique et non représentée par souci d'économie de place. La vue en coupe est une représentation selon un plan de section vertical qui décrit la troisième rangée de connecteurs à droite : le connecteur du haut est enclenché contrairement au connecteur du bas.

Les arrivées d'énergie sont positionnées sur l'axe horizontal. Trois dynamos sont raccordées sur les barres omnibus. Les trois barres supérieures regroupent les connexions au pôle positif de chaque génératrice alors que le groupe des trois barres inférieures correspond au pôle négatif de ces génératrices. Les départs des circuits principaux sont positionnés sur l'axe vertical, le conducteur positif en partie supérieure et le conducteur négatif en partie inférieure. Le tableau complet comprend six départs (trois départs sont représentés dans le demi tableau ci-dessus). Un fusible équipe tous les conducteurs des circuits principaux : chaque circuit est donc protégé par deux fusibles, un sur le pôle positif et un sur le pôle négatif. Les barres omnibus sont montées sur une embase d'ardoise massive. Les poignées et les poussoirs sont en bois dur. La section des barres est conçue pour éviter tout échauffement et chute de tension. Les barres de circuit D sont équipées avec des blocs coulissants F, le bloc positif et le bloc négatif de chaque circuit étant reliés mécaniquement par une tige CC , mais isolés l'un de l'autre au centre de la tige. Dans ce tableau de distribution, chaque dynamo a une paire de barres omnibus séparée, et les différents circuits du navire peuvent être connectés à n'importe quelle paire de barres omnibus.

La propulsion à vapeur déplace de nombreuses activités à l'abri de la coque, alors que les manœuvres des navires à voile se déroulaient auparavant sur le pont. Un éclairage intérieur fiable et robuste est devenu une servitude de base indispensable, tant pour la navigation que pour les activités purement militaires. La généralisation de l'éclairage électrique impose désormais une excellente maîtrise du fonctionnement collectif de ces matériels : le tableau de distribution devient le nœud central de cette disponibilité.

Un tableau de distribution permet d'organiser la répartition des ressources en fonction des besoins. En pratique, le tableau ci-dessus alloue l'énergie disponible de trois dynamos à six usages selon un nombre limité de configurations des circuits. De fait, il contient structurellement la réponse institutionnelle aux situations délicates de pénurie. Ce dispositif n'est pas un équipement accessoire du système technique. Il en restreint les degrés de liberté et prévient dans une certaine mesure le désordre toujours possible avec des installations dispersées dans l'ensemble du navire. Chaque dynamo est donc bien distincte de toutes les autres, et même si plus d'une dynamo peut être utilisée simultanément, il n'y a pas de lien entre elles. Les caractéristiques des génératrices ne permettent pas leur fonctionnement en parallèle sous peine d'avaries.

Le modèle de PORTSMOUTH se « lit » comme une grille de trois lignes et six colonnes : les connexions établies sont visibles aux intersections et elles explicitent la configuration du schéma réalisé.

131 *Torpedo manual for His Majesty's fleet*, Londres, Eyre and Spottiswoode Ltd, 1907a, 433 p.

La manœuvre du tableau est extrêmement simple ; pour raccorder un circuit principal à une dynamo , les deux poignées LL étant inclinées à droite, l'électricien positionne les blocs coulissants FF à l'aplomb de la dynamo choisie. Les bielles entre les blocs coulissants empêchent toute possibilité que le même circuit soit relié à des dynamos séparées par accident.

- Le contact N est enfoncé en liaison avec la barre de dynamo, le crochet à ressort K le maintient en position. Un bon contact est obtenu en bloquant davantage le piston par un mouvement latéral des poignées L ; le crochet appuie ensuite sur l'épaulement incliné M du piston, forçant ainsi le bloc de contact N vers le bas sur les côtés biseautés de la barre de dynamo. Une manœuvre similaire sur les deux contacts du même circuit aligne les deux poignées L du circuit : la configuration du raccordement électrique est visible par les positions des pièces M et des poignées L.

- Pour couper le circuit, un mouvement latéral de la poignée L permet au crochet K de dégager l'épaule M, et le ressort force le bloc de contact N à s'éloigner de la dynamo avec un mouvement très rapide, empêchant ainsi les étincelles.

Chacun des six départs peut être soit non raccordé, soit raccordé à l'une des trois sources : le nombre de raccordements possibles est de $(3+1)^6 = 4096$. Ce chiffre théorique indique bien le nombre significatif de marge de liberté interne, il quantifie la complexité d'un tel système technique. La conduite de ce système requiert une connaissance des équipements raccordés aux extrémités des connexions ainsi qu'un savoir-faire particulier pour en changer la configuration.

La Royal Navy utilise ce tableau pour des navires dits de « première classe », des croiseurs où les moteurs ne sont pas utilisés de manière trop importante. Les torpilleurs ne sont donc pas concernés par ce dispositif, car ce sont des navires de petite taille ne disposant que d'une seule dynamo. Le tableau PORTSMOUTH permet d'alimenter tous les circuits d'un bâtiment à partir de plusieurs dynamos. Implanté dans une position centrale, ce tableau est le point de convergence des connexions des différentes sources et des circuits électriques principaux.

Ce tableau ne comporte aucun appareil de mesure. Or les 4096 raccordements théoriques comprennent des configurations de surcharge pour les génératrices, situations qui ne sont pas contrôlables sans ampèremètre ou d'autres appareils de mesure. L'ensemble des pièces métalliques sous tension présente un risque important de contacts fortuits, soit avec des pièces conductrices (outillage, objets humides), soit avec le corps d'un marin.

Alors que la « proto-électricité dans la Marine » ne concernait que des dispositifs électriques se réduisant modestement à une source et un appareil, le déploiement conquérant des usages de l'énergie électrique ne se satisfait plus des binômes dédiés et d'une monopolisation excessive de moyens techniques. Pour une meilleure économie des ressources rares, une mobilité de la configuration s'impose et elle s'appuie sur des tableaux de distribution et des réseaux de câbles.

Cette nouvelle marge est en soi une ressource car elle ouvre un espace de réactivité face aux défaillances du matériel et aux aléas du combat naval. Cette liberté d'organisation technique s'appuie sur un dispositif complexe qui contient en lui-même ses propres contraintes. A ce stade d'ajustement incrémental, trois choix structurants de la Royal Navy

sont observables: la volonté de ne pas faire fonctionner en parallèle des sources, l'unicité du tableau et sa localisation.

Le tableau électrique sera le chenal d'accès vers la question de la sécurisation de l'éclairage et de tous les usages électriques à bord.

Un tableau unique de distribution électrique, par sa concentration de fonctionnalités et par sa convergence de connexions est le point le plus faible du sous-système électrique à bord. Cet équipement essentiel sera le chenal d'accès vers l'ossature de ce système technique à bord. Face cachée de l'éclairage intérieur, il est le plus emblématique des équipements électromécaniques. Tous les locaux accessibles du bord doivent être éclairés de manière adaptée, le plus souvent avec une continuité de service quels que soient les aléas.

Cette problématique trouve de multiples réponses qui sont toutes contingentes. Les options retenues pour ce sous-système qui contribue à la performance militaire donnent à comprendre l'état des ressources disponibles et la priorisation des différents enjeux par les marins. Un inventaire des matériels expérimentés sur la période serait fastidieux et sans apport épistémologique. Par contre, l'examen de la mise en œuvre de tableaux électriques donne accès à la transformation progressive de l'usage de cet objet, en particulier le passage d'un point faible à plusieurs points « forts ». Un nombre volontairement restreint de tableaux sont présentés afin de se focaliser sur une lecture des concepts techniques en maturation.

2.1. La quête d'un système technique fiable

Vers 1850, les espaces publics intérieurs et extérieurs sont généralement éclairés au gaz, les lampes à pétrole et les bougies étant plus souvent utilisées dans les espaces privés. La répartition entre les usages est multifactorielle, les critères principaux de décision étant l'adéquation entre la taille du local et la puissance lumineuse de la source, l'accès au gaz ou au carburant, le coût d'utilisation. Avec ses qualités propres et ses défauts intrinsèques, l'éclairage électrique est confronté aux mêmes critères d'appréciation que ses prédécesseurs.

La problématique de l'éclairage électrique à bord d'un navire ne peut ignorer les réponses apportées aux installations terrestres. L'historiographie de l'électricité a largement étudié ce sujet, en particulier sous la direction¹³² de François CARON. Quelques points clés méritent toutefois d'être rappelés pour mieux comprendre les similitudes et les divergences entre les deux contextes. Le premier équipement électrique de puissance à bord est la lampe à arc qui est une source lumineuse intense, éblouissante et inadaptée pour un local de quelques mètres carrés : cette puissance d'éclairage doit être fragmentée pour envisager son utilisation dans des pièces exigües. Des expériences¹³³ sont menées à l'aide de miroirs, de prismes, de lentilles et d'appareils dioptriques afin « *de disséminer la lumière d'une grosse lampe et de l'envoyer dans diverses pièces d'un même édifice* ». Cette volonté d'adapter l'arc électrique aux attentes des utilisateurs est motivée par l'importance du marché de l'éclairage intérieur et le besoin pour les industriels du secteur de faire leur place face aux autres sources d'éclairage : le gaz, le pétrole et les bougies. De nombreux modèles de lampes à arc sont commercialisés, mais la lampe à incandescence réalise le saut technologique décisif. Ces deux techniques trouvent leur marché¹³⁴ au fur et à mesure de la maturité de leurs composants. A partir des années 1880, il est admis que l'éclairage à incandescence est le vecteur de référence pour l'éclairage des locaux intérieurs, à terre et en mer.

A titre d'exemple, l'éclairage à incandescence fait une remarquable percée aux USA à partir de 1882. Lors de l'exposition universelle de Chicago en 1894¹³⁵, les fabricants d'ampoules d'éclairage livrent quelques statistiques assez parlantes sur l'évolution du marché américain : la Compagnie Edison a vendu 195_945 lampes à incandescence en 1882 et les ventes de l'ensemble des fabricants sont estimées à 12_500_000 pour 1893. Cette très forte croissance traduit la diffusion de l'éclairage électrique de petite puissance lumineuse dans nombres d'usages intérieurs, en substitution d'autres modes d'éclairage. Tous les pays industriels sont concernés par cette diffusion, à des échelles variables selon leurs territoires. Ce succès se propage aussi dans la marine de commerce avec le transport de passagers, puis de manière légèrement décalée dans le temps, cet éclairage de petite puissance s'invite à bord des grands navires militaires. La lampe à incandescence va proliférer dans chaque recoin du bâtiment, soit sur un équipement fixe, soit avec une lampe portative à main.

Contrairement à la lampe à arc, la lampe à incandescence peut fonctionner en courant continu ou en courant alternatif, ce « détail » n'étant pas discriminant pour son usage. Les tenants de chacune des deux options démontrent l'efficacité de leur matériel à l'occasion des

132 François CARON et Fabienne CARDOT, *op. cit.*, 1991.

133 *Revue industrielle -N°27*, Paris, 1879b, p. 280.

134 « Je vais rendre l'électricité si bon marché que seuls les riches pourront se payer le luxe d'utiliser des bougies. » Citation attribuée à Thomas Edison

135 *Revue technique de l'exposition universelle de Chicago*, 1893, p. 2.

expositions universelles, qui sont de gigantesques vitrines techniques et commerciales. La compétition se prolonge durant plusieurs expositions. Ainsi, l'éclairage de l'exposition parisienne de 1889 est en courant continu avec des génératrices d'une puissance de 4_000 CV. A Chicago quatre ans plus tard, les 15 000 Kw sont répartis entre des dynamos et neuf alternateurs : ces derniers représentent près de 9_000CV. Les arguments pour choisir entre ces deux types de courant restent très discutés et le congrès¹³⁶ des électriciens ne peut pas conclure sur *l'importante question du transport de l'énergie à longue distance*. Sur ce point fondamental, une absence de consensus dans le contexte « simple » d'un système technique terrestre ne facilite pas une prise de décision dans l'univers plus complexe du domaine maritime : les premiers pas de l'éclairage électrique à l'intérieur des navires se font donc majoritairement avec des lampes à incandescence alimentées en courant continu. Cela présente aussi l'avantage non négligeable de s'inscrire dans les dispositions déjà existantes pour les projecteurs de pont installés depuis 1880. Vu les puissances en jeu et la taille des plus grands navires (environ 150 m), le transport de cette énergie reste possible en basse tension, sous 120, voire 230 Volts. Sur ce point, l'intérêt du courant alternatif pour accéder aux transformateurs de tension n'est pas un critère décisif. Les flottes militaires choisissent donc le courant continu et ce pour plusieurs décennies, indépendamment des évolutions que vivent de leur côté les réseaux terrestres.

L'usage le plus marquant du courant continu à bord est l'éclairage, car il est à l'origine d'un véritable bouleversement de l'habitabilité et de l'accès aux locaux les plus confinés du bord. Cet éclairage intérieur est fondé sur la simplicité de la lampe à filament qui ne se substitue pas simplement aux anciens fanaux à huile ; elle donne un flux lumineux efficace dans tous les endroits souhaités, sans flamme ni fumée. Les lampes électriques deviennent rapidement un objet usuel, elles font partie du quotidien à bord. Le revers de cette banalisation est la très grande vulnérabilité face à une défaillance de ce système d'éclairage dont la source d'énergie est centralisée. Pour bien poser la question de la panne d'un luminaire, il ne faut pas se limiter à la simple rupture du filament d'une ampoule, mais il est nécessaire de regarder tout l'amont du système technique qui aboutit à cette ampoule. Sécuriser un flux lumineux intérieur passe par la sécurisation de l'ensemble du système électrique, et en particulier par les tableaux et les réseaux.

Dans un premier temps, la problématique du système technique sera examinée par le chenal d'accès des tableaux de distribution. Nous regarderons ensuite les questions connexes : le câblage, la structure topologique et physique du réseau de distribution, les génératrices. Enfin, nous terminerons cette analyse par les luminaires et nous retrouverons la question¹³⁷ du lien entre la durée de vie des lampes et le type de courant continu ou alternatif.

2.2. Les premières déclinaisons pour les navires militaires

Suite à sa visite de l'exposition de 1878, la Commission dite « *de 1867* » recommande pour l'éclairage intérieur l'usage de la bougie de préférence à l'huile¹³⁸. Malgré son efficacité lumineuse et sa propreté, le pétrole n'est pas retenu pour des raisons de prix. Ce point de vue est confirmé par plusieurs commissions qui arbitrent en défaveur du pétrole, au motif de la « *sécurité générale* ». De ce fait, l'utilisation de l'éclairage à pétrole est interdit dans la marine de guerre¹³⁹. L'éclairage à huile reste donc la référence, souvent avec des lampes à

136 *Ibid.*, p. 245.

137 *Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°11*, Paris, 1904a, p. x.

138 *La marine à l'exposition de 1878*, Tome 1, Gauthier-Villars, J.Hetzel et Cie., Paris, 1879, p. 302

139 *La lumière électrique - Tome 31*, Paris, 1889b, p. 374.

suspension à la Cardan dans l'entrepont. Toutefois, les précautions nécessaires dans les soutes à charbon et à munitions sont très précises et réglementées par ordonnance : les lanternes fonctionnant dans ces parties du bâtiment sont munies de grillages, leur porte d'ouverture est cadénassée aussitôt l'allumage et la livraison à la lampisterie. L'incendie étant un risque majeur pour tous les navires, cela se traduit par des dispositions préventives et curatives. Eviter les points chauds, les flammes et autres étincelles dans les locaux à atmosphère explosive : ce savoir-faire s'inscrit dans le temps long, il existe dès la marine à voile et s'adaptera graduellement au nouveau vecteur d'énergie qu'est l'électricité.

2.2.A. La flotte française

*Le Richelieu*¹⁴⁰ est un cuirassé d'escadre de premier rang, mis en chantier en 1868 et lancé en 1873¹⁴¹. Dernier représentant de l'ancienne flotte cuirassée à carène en bois, il est long de 96 m pour un déplacement de 8 790 Tx. Après son renflouement en 1883 (cf p 32), l'installation électrique comprend 227 lampes EDISON, dont 211 de 8 bougies pour l'éclairage et 16 de 30 bougies pour les signaux et feux de route. L'unique tableau de distribution placé près de la machine répartit ces lampes sur sept circuits :

1. le circuit de jour, destiné à fonctionner de jour et de nuit. Il comprend 68 lampes de 8 bougies placées dans les parties basses du vaisseau,
2. le circuit de nuit éclaire les postes de couchage, les cabines et les carrés. Il comprend 79 lampes de 8 bougies, dont 58 avec des commutateurs individuels.
3. le circuit de combat, avec 16 lampes de 8 bougies placées dans les soutes à munitions.
4. le circuit de machine alimente 26 lampes de 8 bougies, réparties en deux séries commandées par un commutateur placé dans la chambre des machines. La première série de 8 lampes éclaire de jour et de nuit la machine, la ligne d'arbre et la chaufferie. La seconde série de 18 lampes complète l'éclairage lors des visites et des réparations.
5. le circuit de mer comprend 22 lampes de 8 bougies. Il complète l'éclairage de la machine et des chaufferies lorsque le navire prend la mer.
6. le circuit des feux de route alimente 6 lampes de 30 bougies (trois fanaux arrière, deux fanaux avant et un fanal de hune).
7. le circuit des signaux comprend 10 lampes de 30 bougies, installées dans la mature pour les signaux de nuit.

La génératrice est une dynamo GRAMME type ID fournissant 200 ampères sous 52 volts [environ 10kW] à 580 tours/mn. Elle peut alimenter 400 lampes de 8 bougies. Son excitation est en dérivation et le moteur d'entraînement est un moteur MÉGY à grande vitesse muni d'un régulateur de vitesse différentiel (voir annexe 2).

En 1883, le système technique du cuirassé *Richelieu* se caractérise par une puissance produite de 10 kW, une génératrice unique, un tableau unique et sept circuits dédiés.

En 1883, le cuirassé d'escadre *Le Redoutable* prépare une transition de la doctrine navale: sa coque est en acier mais il conserve des mâts et plus de 2200 m² de voilure.

¹⁴⁰ LEDIEU et CADIAT, *Le nouveau matériel naval*, Paris, Vve Charles DUNOD, 1889, p. 502.

¹⁴¹ *op. cit.*, 1879a, p. 35.

Il déplace 8800 Tx pour 95 m de long. Des lampes SWAN¹⁴² de 20 bougies assurent son éclairage électrique . Des moteurs BROTHERHOOD à 350 tours/mn entraînent les quatre génératrices GRAMME type A de 500 becs carrels. Chaque machine alimente un circuit de 51 lampes, les quatre circuits ayant pour dénomination : circuit de rade, circuit de mer, circuit de nuit 1 et 2. Selon la Maison SAUTTER ET LEMMONIER¹⁴³, l'installation est « *un peu de fortune* ». Le cuirassé d'escadre *l'Océan* reçoit ultérieurement des lampes EDISON : la Marine expérimente ainsi du matériel et des fournisseurs en situation réelle afin de garder ouvertes plusieurs alternatives techniques.

En 1883, le système technique du cuirassé *Le Redoutable* se caractérise par une puissance produite de 10 kW, quatre génératrices et au moins quatre circuits dédiés. L'avarie d'une dynamo n'est donc plus critique, l'option prise étant de substituer à une unique machine imposante quatre machines de taille modeste. Cette profusion semble avoir montrée ses limites d'exploitation, l'expérimentation suivante réduit le nombre de génératrices.

Lancé à Lorient en 1885, le cuirassé garde-côte *L'Indomptable*¹⁴⁴ est un navire de 88 m de long pour un déplacement de 7640 Tonnes. Sa construction le rattache aux quatre cuirassés garde-côte de la classe Terrible. La maison SAUTTER ET LEMMONIER l'équipe de deux dynamos GRAMME duplex à enroulement compound. Les machines d'entraînement sont des moteurs pilons à deux cylindres compound et à vitesse lente de 350 t/mn, matériels bien connus des mécaniciens marins. La puissance nominale de chaque machine est de 225 lampes à incandescence de 10 bougies, soit 150 ampères sous 66 volts, c'est à dire environ 10 kW aux bornes.

Louis FIGUIER se livre à une description élogieuse de la génératrice¹⁴⁵.

« *L'ensemble du moteur et de la dynamo n'a pas plus de 1m,50 de hauteur et sa longueur atteint à peine 2m,50. C'est un jouet à côté des machines à vapeur qui occupent à elles seules plus du tiers du bâtiment.* »

Le marin présent sur le dessin joint au commentaire donne l'échelle de la machine .

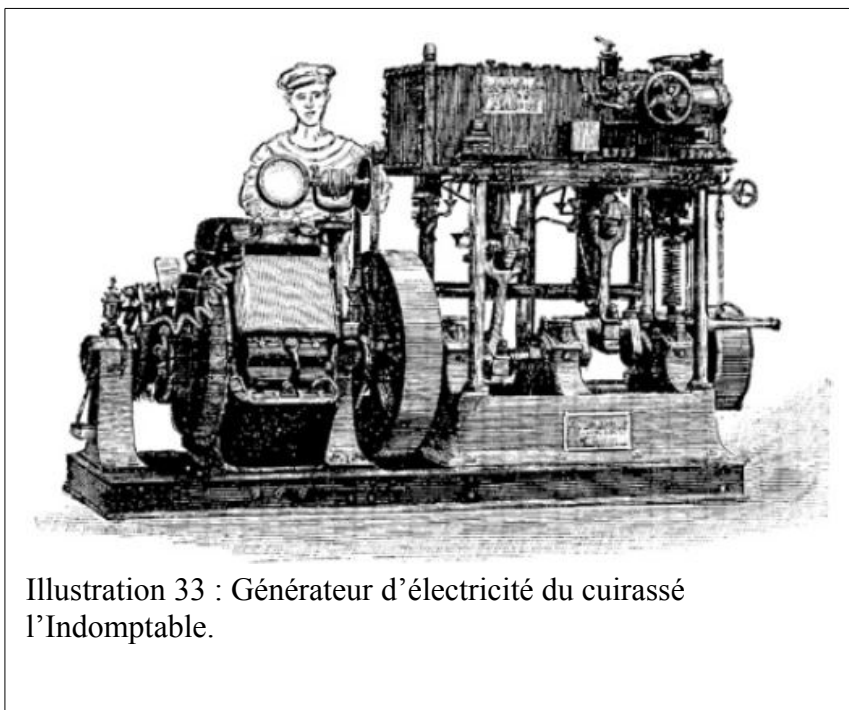


Illustration 33 : Générateur d'électricité du cuirassé l'Indomptable.

Source : Louis FIGUIER, *Les Merveilles de la science ...Supplément aux Bâtiments cuirassés, tome II*, Furne, Jouvot et Cie, 1891, p 90

142 *La Nature* N°505, Paris., 1883b, p. 157-158.

143 Archives de SHM – historique rédigé en 1949

144 LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 505.

145 Louis FIGUIER, *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes, Supplément aux Bâtiments cuirassés, tome II*, Furne, Jouvot et Cie, 1891.

La documentation du constructeur, reprise par les services de renseignements américains¹⁴⁶, annonce un encombrement plus conséquent : L= 3,4m l= 0,8m h= 1,6m et une masse de 3,2 Tonnes

L'unique tableau de distribution est placé dans le même local que les deux génératrices, local au niveau du faux-pont et donc protégé par le blindage général. Ce tableau, qui est aussi fabriqué par la maison SAUTTER ET LEMMONIER, intègre plusieurs matériels aux fonctionnalités spécifiques :

- huit commutateurs rotatifs à trois positions. Un commutateur peut raccorder le pôle positif d'un départ de circuit au pôle positif d'une des deux dynamos ou laisser le circuit hors tension.
- des coupe-circuits fusibles pour les circuits principaux, d'autres coupe-circuits étant positionnés lors de dérivations vers des circuits secondaires,
- deux commutateurs rotatifs pour un ajustement de la tension des projecteurs à arc,
- deux ampèremètres pour mesurer l'intensité délivrée par chaque génératrice,
- deux lampes d'essai qui permettent au mécanicien de se rendre compte de la lumière produite,
- un voltmètre pour mesurer à la demande la tension fournie par une des deux génératrices.

Le système électrique est structuré ici en huit circuits principaux, tous dédiés à l'éclairage, aux signaux et aux projecteurs. Le câblage est bipolaire, sans retour par la coque, chaque circuit comporte deux conducteurs isolés. Mais les commutateurs sont unipolaires, les pôles négatifs étant tous raccordés sur une barre commune.

La présence des deux lampes d'essai donne au mécanicien une indication sur la qualité de l'éclairage obtenu : si nécessaire, il ajuste le fonctionnement de sa machine à vapeur pour obtenir un régime de marche donnant un meilleur éclairage.

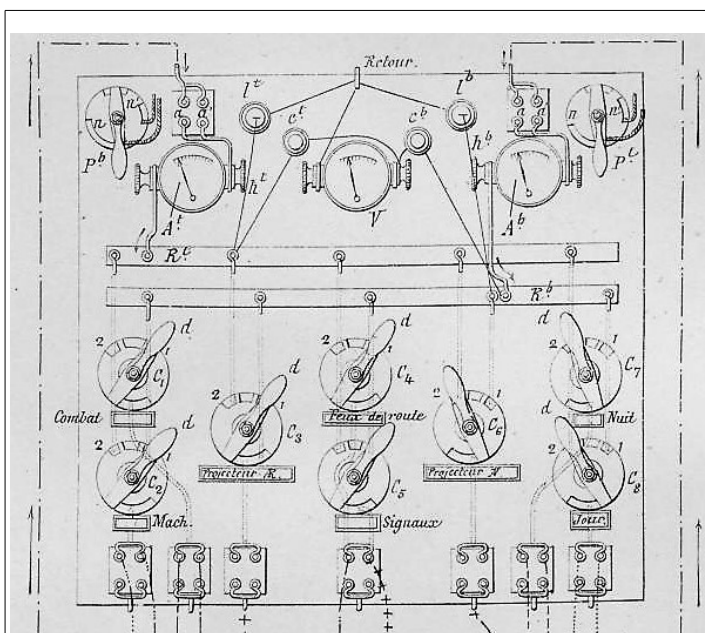


Illustration 34 : Tableau électrique de l'**Indomptable**

Source : LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, planche XXVI

Ce tableau permet un nombre important de configurations, sans toutefois autoriser la mise en parallèle par erreur des deux génératrices. L'électricien répartit la charge électrique entre les deux dynamos à l'aide des mesures fournies par l'ampèremètre de chaque machine et

146 DANA GREENE, *Recent naval progress-The electric lighting of US ships of war*, Washington, Office of naval intelligence, 1887, p. 343.

des commutateurs. Avec de telles avancées, l'installation ne peut plus être qualifiée « de fortune » comme celle du *Redoutable*. Un regard critique observe qu'aucun dispositif de surveillance de l'isolement n'est prévu et le raccordement des génératrices à la coque n'est pas envisagé¹⁴⁷.

En 1885, le système technique du cuirassé *L'Indomptable* se caractérise par une puissance produite de 20 kW, deux génératrices identiques, un tableau unique et huit circuits dédiés. Le local électrique concentre les équipements sensibles du système : cette concentration de matériel est aussi l'abri protégé des compétences d'exploitation. Cela constitue néanmoins un point faible dont l'appréciation est à faire en contexte : la confiance dans la cuirasse relève de la doctrine et la répartition de la propulsion sur des machines localisées dans des compartiments étanches distincts n'est pas d'actualité. Avec ces réserves de lecture, l'évolution incrémentale entre 1873 et 1885 est significative, particulièrement sur la fiabilisation de l'éclairage intérieur par deux génératrices et deux réseaux (Bâbord et Tribord). A cette date, le marin électricien peut éclairer un local par l'une OU l'autre des deux dynamos. De fait, la puissance unitaire des dynamos plafonne les possibilités d'un tel système de distribution et cela restreint donc le nombre de matériels susceptibles d'être embarqués. Cette contrainte forte à la généralisation des auxiliaires électriques à bord ne laisse pas les techniciens sans imagination. Augmenter la puissance unitaire des dynamos est une des réponses envisageables. Multiplier le nombre de dynamos est une autre réponse. Ces deux réponses imposent toutefois un réaménagement des surfaces allouées pour ces machines, or l'espace d'un navire de guerre est très contingenté et très convoité . Une autre option consisterait à éclairer un local par l'une ET l'autre des dynamos, par la mise en parallèle des machines : cela permettrait d'optimiser l'utilisation des génératrices mais demanderait en contre-partie une adaptation de leurs régulations et des tableaux de distribution.

Au gré de l'offre technique et des transferts d'usage vers l'électricité, les pratiques s'adaptent et les dispositions constructives s'uniformisent au fil du temps. L'ouvrage¹⁴⁸ de MARTINENQ, édition de 1901, est un outil précieux pour le constructeur de navire, car il est tout à la fois un cours, un condensé de textes réglementaires et un extrait des catalogues de principaux fournisseurs de matériels. Les 70 pages consacrées à l'électricité ne veulent pas couvrir tout le sujet, mais elles abordent des détails clés pour l'ingénierie¹⁴⁹. Ainsi, l'édition de 1901 nous présente un tableau de distribution du type BRÉGUET qui ne diffère du tableau de 1885 que par le nombre de génératrices (4 au lieu de deux) et le nombre de circuits principaux (15 au lieu de 8). Les fonctionnalités sont identiques : les commutateurs sont unipolaires, les pôles négatifs étant tous raccordés sur une barre commune, la surveillance de l'isolement est absente du tableau.

Un intervalle de 15 ans sépare ces deux équipements qui présentent une forte similitude structurelle et fonctionnelle : les besoins en énergie expliquent la croissance du nombre de génératrices et de départs, sans aucun autre saut incrémental de ce système technique. Les seules modifications porteuses d'un sens « militaire » concernent la répartition des circuits principaux dont certains sont doublés : circuit de jour , de nuit, de mer et de combat. Chaque circuit dédoublé possède maintenant un commutateur et un coupe-circuit fusible positionné sur le tableau principal de distribution. Dans la version antérieure, à titre d'exemple, le circuit de jour avait un unique commutateur et coupe-circuit de tableau, mais il

147 LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 26.

148 Benjamin MARTINENQ, *Aide-mémoire du constructeur de navires*, 1901.

149 Apport précieux quand on connaît l'adage de la profession : « Le diable est dans les détails »

était en fait dédoublé pour donner lieu à deux circuits secondaires , l'un cheminant sur Bâbord et l'autre sur Tribord, chacun ayant un coupe-circuit spécifique fixé sur une cloison. L'évolution apportée par le tableau type BRÉGUET porte donc fondamentalement sur la possibilité de manœuvrer le système de manière centralisée et non pas sur la structure du câblage de distribution.

Les possibilités de manœuvres du système découlent de son architecture : En combien de circuits est-il scindé ? Combien de commutateurs structurent ce système ? Les génératrices sont-elles identiques ? Le régime de marche de certains auxiliaires exige-t-il une configuration particulière ? La réponse à ces questions techniques ne peut se comprendre qu'avec une lecture préalable de la doctrine des différents états du navire (à quai, en route, de jour, de nuit, au combat). Au travers des arrêtés du service à la mer, cette doctrine est souvent implicite, parfois explicite. Entre 1879 et 1901, pour un même type de navire - ici le cuirassé - , plusieurs réponses sont apportées à la question du nombre optimum de circuits principaux. Ces réponses ne sont pas sur le fond très divergentes, mais elles contribuent au bruit de fond général et elles participent à constituer une flotte d'échantillon. Une trame ressort toutefois des diverses options déployées : la doctrine est « évolutive », plus exactement son argumentation rhétorique et qualitative laisse des choix techniques ouverts. En l'absence d'une méthode d'analyse quantitative, le regard porté sur l'architecture des systèmes reste subjectif. L'arbitrage est alors affaire de jugement individuel sans garantie d'une continuité décisionnelle à court terme. Inscrites dans la créativité débridée du moment, ces réponses foisonnantes répondent en fait à plusieurs besoins distincts. L'étude détaillée de ce cheminement heuristique reste toutefois à réaliser.

En 1910, soit 30 ans après les balbutiements de la généralisation de l'éclairage électrique, l'amirauté reste encore prudente face à ces techniques à peine adolescentes. Certes, le commandant et son état-major connaissent le caractère indispensable de cet éclairage pour surveiller toutes les parties du navire. Mais la prudence exige¹⁵⁰ que, tous les six mois, toutes les dynamos soient stoppées et que l'éclairage du bord soit assuré par des lampes à huile et des fanaux à bougie, et ce pendant six heures.

En 1917, l'importance de l'éclairage est pourtant bien identifiée¹⁵¹ à terre avec des préconisations de niveau d'éclairement. « *Des témoins ont signalé à la Commission que dans des cales de construction de navire, la nuit, le nombre d'accidents est toujours hors de proportion avec le petit nombre d'ouvriers qui y sont occupés.* ». Conscientes de cet impact, les flottes militaires accordent une attention particulière à la permanence de l'éclairage à bord.

2.2.B. Quelques flottes étrangères

La marine britannique implante dès 1876 des « foyers électriques d'exploration » sur quelques navires. Le **HMS Minotaur** reçoit une dynamo à courants alternatifs avec 32 pôles et une vitesse de rotation de 400 t/mn. Dédié au projecteur, ce matériel en courant alternatif n'est pas reconduit pour les installations électriques ultérieures, la dynamo GRAMME étant plus performante et compacte que la génératrice de WILDE.

La Royal Navy réalise¹⁵² en 1881 à bord du **HMS Inflexible** sa première installation d'éclairage intérieur à base de lampes à arc et de lampes à incandescence SWAN. La disposition électrique est particulière et restera unique, sans successeur : les 18 lampes SWAN

150 Voir annexe H, arrêté du 28/10/1910 articles 62 et 657

151 *Revue Générale de l'Electricité - Tome I - N°12*, Paris, 1917b, p. 462.

152 *La lumière électrique - Tome 46*, Paris, 1892, p. 131-132.

sont alimentées en série, ce qui impose d'avoir une source électrique d'une tension élevée. En effet, la tension aux bornes de chaque lampe étant de l'ordre de 45 volts, la génératrice fournit donc 800 V en courant continu. Les sources historiques primaires sur cet équipement manquent, mais cette disposition particulière est citée par les auteurs¹⁵³ comme l'exemple rare d'une distribution en série.

Chaque lampe à incandescence est équipée d'un dispositif automatique qui, en cas de défaillance de la lampe, remplace le filament de cette dernière par une résistance ohmique de valeur similaire. Compte tenu de la fragilité des filaments et de leur rupture fréquente, ce dispositif évite que la rupture d'un filament n'interrompe le fonctionnement des 17 autres lampes SWAN. Il s'agit de l'adaptation d'un matériel similaire qui équipe déjà les lampes à arc¹⁵⁴. Il n'y a pas interrupteurs individuels.

L'intérêt de cette disposition est double ; une commande centralisée de l'éclairage et une économie de câblage. En effet, la distribution en série ne nécessite qu'un seul conducteur qui chemine d'une lampe à l'autre, sous forme de guirlande. Une distribution en étoile impose que chaque lampe soit raccordée à la source, *a minima* par un conducteur si le retour se fait par la coque. Le schéma ci-dessous illustre le gain sur la longueur de conducteur installé. Cette disposition présente des inconvénients majeurs de fonctionnalité et de maintenance qui ne compensent pas l'avantage en gain de poids : ceci explique son abandon rapide et définitif.

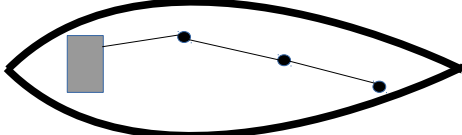
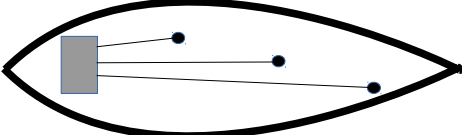
Distribution en série	Distribution en étoile
	
$L = 10 + 10 + 10 = 30\text{m}$	$L = 10 + 20 + 30 = 60\text{m}$

Illustration 35 : Présentation d'une distribution en série et en étoile

Le système du **HMS Inflexible** est une réussite partielle, mais la combinaison de la haute tension et d'un défaut d'isolement à la terre aboutit malheureusement à une électrocution, premier accident mortel dû à l'électricité dans un navire de la Royal Navy. En conséquence, l'amirauté britannique adopte le standard du courant continu de 80 volts avec un circuit de distribution complet à deux conducteurs. Indépendamment du standard de tension, la conception de la distribution des réseaux de la flotte britannique restera marquée par une architecture fondée sur une forme apparentée à la « guirlande » : la distribution principale en boucle.

En 1885, le **HMS Colossus**¹⁵⁵ [cuirassé de 99 m de long, 9 400 tonnes] est équipé de trois dynamos BRUSH entraînées par des moteurs BROTHERHOOD à 380 t/mn. Les lampes à arc ne sont plus employées pour l'éclairage intérieur. Le parc de 191 lampes de 20 bougies et 97 de 10 bougies est alimenté en courant continu sous 80 volts. Les lampes à incandescence sont appréciées pour leur clarté et leur confort visuel. *A contrario*, la température dans le local dynamo est redoutable pour le personnel : 84°C. Enfin, l'argument

¹⁵³ John MABER, *op. cit.*, 1980.

¹⁵⁴ En cas d'extinction de l'arc, une résistance ohmique se substitue au canal conducteur gazeux. Voir chapitre 1 p 43 illustration 19

¹⁵⁵ *Revue Maritime et Coloniale*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1885a, p. 786-787.

économique est en faveur de l'électricité, cette information est partagée auprès des autres flottes¹⁵⁶.

Dès 1891, le système électrique a envahi les navires de guerre, les chiffres n'appellent pas de commentaires : « *Dans un grand vaisseau de combat comme le **HMS Royal Sovereign** [cuirassé de 125 m de long, 14 000 tonnes], il y a environ 800 lampes à incandescence, nécessitant, pour ce système seul, environ 13 km de câbles électriques, équivalent à quelque chose comme 250 km de fil de cuivre de diverses grosseurs, principalement de 9/10 mm de diamètre.* »¹⁵⁷

En 1892¹⁵⁸, quelques 300 navires de la Royal Navy sont éclairés à l'électricité et munis de projecteurs : la première puissance maritime mondiale déploie largement l'électricité dans sa flotte. Dès cette date, le tableau de PORTSMOUTH, objet du chenal d'accès, est le standard de référence de la Royal Navy : les commutateurs de ce tableau sont déjà bipolaires alors que les commutateurs du modèle BRÉGUET, toujours référencés par la Marine Nationale en 1901, sont encore unipolaires.

La marine française n'est pas en reste ; en 1906, le cuirassé **Danton** abrite 1836 lampes à son bord.

La marine américaine est une flotte jeune, traversée par une ambition et de multiples questionnements, tant stratégiques que techniques. Ses réflexions s'alimentent des rapports rédigés par de nombreux attachés militaires dans les ambassades étrangères ainsi que des visites lors des manœuvres navales. En 1882, à la faveur de l'exposition électrique du Crystal Palace à Londres, des officiers défendent la place de l'électricité à bord avec plusieurs arguments : le confort de l'équipage et son impact sur le moral, la réduction des effectifs par la motorisation de l'artillerie, les coûts comparés avec l'éclairage à huile. Des propositions structurelles sur la sécurisation du système sont formalisées : doublement des dynamos, réseau Bâbord / Tribord, passage de câbles sécurisé et câblage mobile de secours. La construction¹⁵⁹ de l'installation de l'**USS Trenton** [vapeur à hélice, coque bois, 77 m de long et 3900 Tx] en 1883 est confiée à la Edison Electric Lighting Compagny, seule entreprise sous-traitante ayant répondu à la consultation sur les sept sociétés sollicitées. Une unique dynamo à excitation shunt¹⁶⁰ débite 120 A sous 110 V [environ 13 kW] et pourvoit en énergie 238 lampes, d'une puissance lumineuse allant de 32 à 10 bougies. Cette réalisation se veut être « *the first man-of-war in the world to be so lighted* ». Elle est surtout une plateforme expérimentale pour l'US Navy qui poursuit très rapidement le développement de l'électrification de sa flotte.

Les spécifications se précisent en 1884 et l'installation de l'**USS Omaha** est confiée à l'entreprise CONSOLIDATED ELECTRIC LIGHT COMPAGNY. Les mises en concurrence successives donnent un retour d'expérience sur quatre fournisseurs et des systèmes différents : cette base de données est utilisée pour établir les fondements d'une doctrine pragmatique, conforme à la culture anglo-saxonne. En 1886, le cloisonnement bureaucratique du Département de la Marine produit toutefois une séparation préjudiciable à la cohérence des équipements des navires : le Bureau des Munitions, qui est en charge des projecteurs, opte pour une dynamo à excitation série, alors que le Bureau de la Navigation, qui est en charge de

156 DANA GREENE, *op. cit.*, 1887, p. 45.

157 *op. cit.*, 1892, p. 131.

158 *Ibid.*, p. 132.

159 DANA GREENE, *op. cit.*, 1887, p. 46.

160 SMITH, *A short history of naval and maritime engineering*, Cambridge, The university press, 1938, p. 231.

l'éclairage à incandescence, retient une dynamo à excitation shunt. Les génératrices sont certes dans le même local, mais elles ne peuvent pas permuter leur récepteur.

Lancé en 1885, l'*USS Chicago* est un croiseur protégé mixte long de 104 m pour 4600 Tx : deux machines à vapeur complètent son gréement en trois-mâts barque. Au point de vue du système électrique, le local abritant les deux dynamos renferme le tableau général avec les treize interrupteurs d'éclairage. Chaque génératrice peut alimenter la moitié des 408 lampes, ce qui est perçu comme un important facteur de sécurité. La vulnérabilité de l'unique local abritant les équipements essentiels n'est pas mentionnée.

2.3. La complexité d'un système électrique à la mer

Un système électrique est une réalisation technique conçue selon son environnement, plus exactement selon la représentation que les concepteurs ont de cet univers. L'US Navy¹⁶¹ liste les principales qualités qu'elle exige d'une installation d'éclairage électrique à bord :

- la compacité, car la place à bord est dédiée prioritairement à l'artillerie,
- la légèreté, car cela impacte la flottabilité et le carburant pour la propulsion,
- la solidité, car le matériel reçoit nombre de vibrations et de chocs
- l'interchangeabilité, car les pièces de rechanges sont restreintes
- la simplicité, car les compétences à bord sont limitées en nombre
- l'économie, car les ressources sont rares et sont arbitrées
- l'efficacité, car tous les moyens sont dédiés au combat.

Cet inventaire est bien évidemment daté et marqué par les contingences perçues. Il constitue un socle que le temps long retient, il s'enrichit au fur et à mesure des écueils rencontrés dans l'exploration des performances et des limites des matériels à la mer. L'intérêt de cette liste réside dans l'expression d'attentes purement fonctionnelles, sans aucune expression de moyens techniques à choisir ou à rejeter. Le vocabulaire décrit des qualités sans y associer une quelconque mesure d'évaluation du résultat obtenu. Ainsi cette liste qui est rédigée en 1888 pour des navires militaires pourrait convenir à un cahier des charges destiné à des avions. Il s'agit sur le fond de la description générale des performances d'un système technique, sa transcription dans le détail relève à la fois de son environnement physique (terre / mer / air / espace, civil / militaire) et du temps court. Ainsi, les exigences de compacité pour une machine à vapeur sont dépendantes des connaissances acquises et des matériaux disponibles : l'exigence de compacité d'une machine à piston n'est pas comparable avec celle que l'on peut attendre d'une turbine à vapeur.

A bord, l'eau de mer est le principal adversaire du matériel. Mais il est aussi nécessaire de protéger l'installation des diverses agressions locales. Ainsi¹⁶², « *les ouvertures de la carcasse du moteur sont entièrement bouchées au moyen de toile métallique, pour s'opposer à l'introduction des rats* ». Ces précautions sont tout à fait incongrues à terre, mais la présence de ces rongeurs à bord n'est pas anecdotique. Il ne s'agit pas d'une croyance ou d'une défiance issue de la marine à voile, mais d'un pragmatisme nourri de l'expérience. En 1914, la marine nationale encourage toujours la chasse aux rats à bord. L'usage¹⁶³ veut que « *le*

161US Navy Naval Intelligence 1888 p180

162 Benjamin MARTINENQ, *op. cit.*, 1901, p. 736.

163 *Bulletin Officiel de la Marine - N°18*, Ministère de la Marine, 1914a, p. 1807.

personnel qui aura procédé à bord à la capture des rats ... bénéficie ... de la double ration de vin ».

Cette pratique réelle reste discrète dans les textes officiels, elle ne fait l'objet que d'une mention sur les 12 années et 196 numéros du Bulletin Officiel de la Marine. Néanmoins, son importance ne doit pas être sous-estimée, les marins savent s'en moquer entre eux.

Les queues de rats de cette carte postale ne sont pas des chandelles, mais bien des trophées de chasse.

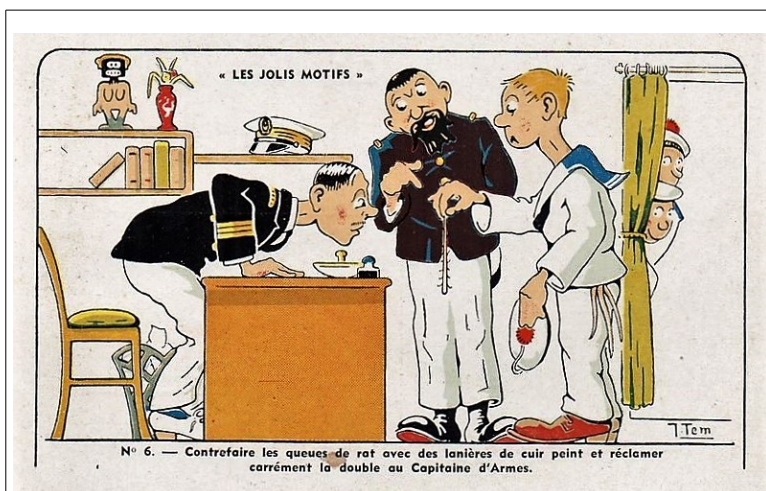


Illustration 36 : La réalité des rongeurs à bord

Collection personnelle

Cette agression locale est bien spécifique au contexte des marins, l'expression de leur critère de solidité est donc très pertinent même s'il est probablement incompris en première lecture par d'autres armes, l'aviation par exemple.

En terme fonctionnel, les équipements doivent avoir un certain degré de protection à l'eau, tout en étant suffisamment refroidi, mais sans avoir une circulation d'air qui permette le passage des rongeurs. Ces exigences sont antinomiques et le cahier des charges du matériel va préciser et hiérarchiser les attentes. Ainsi, les câbles doivent conserver leur isolement après un séjour de plusieurs heures dans un bac d'eau de mer. Certains câbles comprennent des feuillards d'acier afin de résister à des agressions mécaniques : l'échauffement des conducteurs doit rester malgré tout modéré pour ne pas dégrader l'isolant. Pour les boîtes de jonction des câbles, un essai à terre avec une projection d'eau valide le niveau d'étanchéité atteint. Pour qualifier le refroidissement des moteurs, la mesure de température s'effectue *in situ* : cette recette en condition réelle permet aux marins de s'affranchir des biais de calcul et des arguties des fabricants. Cette pratique de recette à bord se met en place au fur et à mesure que les marins deviennent des électriciens aussi professionnels que les techniciens des arsenaux. Alors que ces compétences sont quasi-inexistantes en 1880, le service Torpilles - Electricité peut pleinement assumer cette mission dès 1910 : la complexité du système a trouvé son gestionnaire à bord. Cette mission va s'étoffer, car les multiples usages de l'électricité deviennent permanents et incontournables.

2.3.A. L'augmentation des usages prioritaires

Les usages historiques de l'énergie électrique déterminent le système technique minimum pour assurer le service de base. En 1899, l'ingénieur AUBUSSON calcule qu'il faut pour un cuirassé :

- alimenter six projecteurs, soit 34 kW,
- éclairer les 14 000 m³ du volume du cuirassé. A raison de 4 watts par bougie et d'une demi-bougie par m³, le besoin pour cet usage est de 28 kW.

C'est donc 62 kW (38+24) qui sont requis en base pour les projecteurs, l'éclairage intérieur et extérieur, les signaux et la transmission des ordres. Les usages supplémentaires concernent la ventilation, des treuils, des monte-charges, des cabestans, des servo-moteurs de projecteurs et la manœuvre des tourelles d'artillerie.

Les manœuvres des équipements d'artillerie navale peuvent s'effectuer avec la vapeur, vecteur d'énergie primaire du navire. Mais au tournant du XX^e siècle, le constat économique est nettement en faveur de l'électricité, fluide d'énergie secondaire souple et maniable. Ce développement de la transmission de la force par l'électricité consomme moins de charbon que la transmission de puissance par la vapeur¹⁶⁴. A cette vision comptable s'ajoute la suppression des effets indésirables des usages diffus de la vapeur : l'échauffement des locaux traversés par les tuyaux et l'échappement libre en sortie des appareils non munis d'un retour de la vapeur détendue.

Ces usages émergents bouleversent la taille des installations, les ordres de grandeurs changent significativement. Ainsi, le service d'une seule tourelle de 305 demande environ 40 kW. Pour un cuirassé avec quatre tourelles, les besoins de l'artillerie principale sont, hors foisonnement et artillerie secondaire, de 160 kW : les usages initiaux ne sont plus prépondérants en volume mais il reste toutefois un besoin fondamental du bâtiment. Ce phénomène est commun à toutes les flottes : en 1906, la Royal Navy dote ses nouveaux Dreadnought (artillerie principale de cinq tourelles de 305 mm) avec des génératrices d'une puissance nominale de 410 kW alors que les besoins en éclairage sont stables, de l'ordre de 70kW.

2.3.A.a. La ventilation

La question de la ventilation des navires est probablement apparue dès que les navires ont été pontés. Il ne s'agit pas d'un simple point de confort, mais d'une importante question d'hygiène car la conservation des vivres nécessaires à l'équipage est en partie dépendante d'une aération correcte de la cambuse. La navigation dans les mers chaudes amplifie les besoins, ce point est dramatiquement mentionné dans les comptes-rendus des traversées du commerce triangulaire au XVII^{ième} siècle.

Pour les bâtiments militaires, le problème s'intensifie avec les coques fer, véritable capteur solaire sous les tropiques. En 1864¹⁶⁵, le jeune ingénieur du Génie maritime Emile BERTIN imagine d'aérer les navires en organisant la circulation d'air à l'aide de la température des fumées des chaudières. Il ouvre à l'avant des navires de larges manches de prise d'air extérieur, conduit cet air dans les différents locaux à ventiler et dirige ce flux dans une enveloppe métallique qui entoure la cheminée : la chaleur de la cheminée produit un tirage qui assure la circulation de l'air vicié du navire. La ventilation intérieure ne dépend plus de la vitesse du navire, du régime des vents et de l'orientation des manches à air. Ce dispositif est appliqué pour les transports de chevaux de la métropole en Asie du Sud-Est, puis aux navires-hôpitaux. La mortalité baisse de 75 %, le système est efficace et répond aux besoins.

Cette invention reçoit le prix PLUMEY en 1873, mais ce dispositif arrive un peu tard, car les navires sont rapidement cloisonnés. L'aération centralisée et continue de l'ensemble du navire est remplacée par des ventilations locales indépendantes. Dès lors, des moteurs à

¹⁶⁴ *Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°13*, Paris, 1904b, p. 199.

¹⁶⁵ TOGARI, *Louis-Emile BERTIN, son rôle dans la création de la marine japonaise*, Paris, Charles LAVAUZELLE & Cie, 1935, p. 7.

vapeur ou des moteurs électriques assurent cette ventilation mécanique. Quelques années plus tard¹⁶⁶, la maison SAUTTER, LEMONNIER & CIE reçoit une médaille d'or lors de l'exposition de 1878 pour un « ventilateur mû par l'électricité », matériel dont le fabricant préconise l'emploi à bord des navires possédant des dynamos génératrices de courant.

La ventilation¹⁶⁷ d'un navire de guerre doit répondre à des besoins distincts : l'aération des locaux du personnel, l'alimentation en comburant des chaudières, la ventilation des diverses salles des machines, la ventilation -voire le refroidissement- des soutes de produits inflammables ou explosifs. Les locaux destinés aux marins demandent une aération basée essentiellement sur des approches d'hygiène et de climats rencontrés lors des missions du bâtiment, obtenue par extraction centrale ou locale, selon le type d'hébergement. L'alimentation en air de la combustion des chaudières se fait par insufflation d'air frais ; les volumes d'air sont très importants et ils contribuent largement à la ventilation nécessaire aux chauffeurs. Les différentes machines thermiques qui utilisent la vapeur du bord dégradent l'atmosphère des locaux qui les abritent : cet air vicié est extrait afin de rendre ces locaux vivables pour les marins. Enfin, les soutes à charbon peuvent générer des gaz inflammables qui sont extraits par un système du type BERTIN et évacués avec précaution, loin des escarbilles des cheminées.

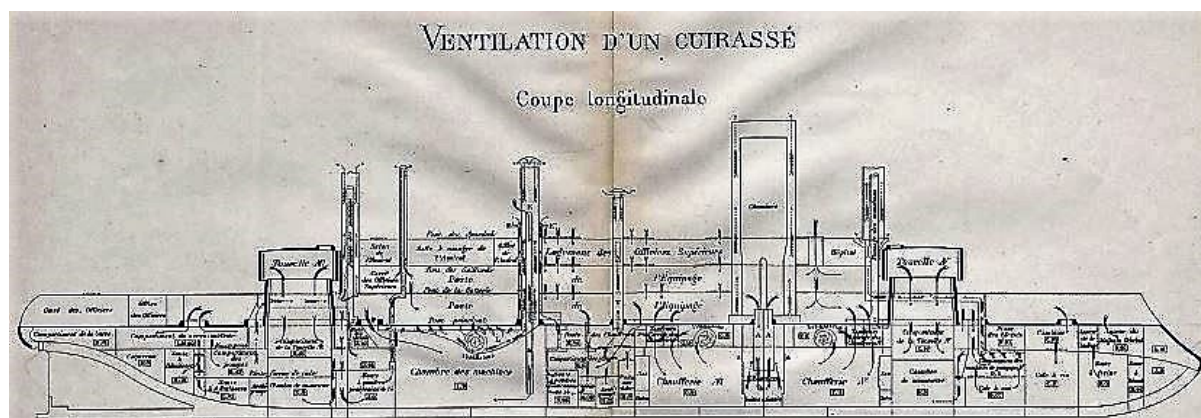


Illustration 37 : La ventilation d'un cuirassé

Source : Alphonse CRONEAU, *Construction pratique des navires de guerre-ATLAS*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894, Planche VII

Pour terminer ce survol de la ventilation, il faut s'attarder brièvement sur le cas des soutes à munitions. Le dispositif associe l'arrivée d'air frais et le dégagement d'air chaud, avec des soins particuliers pour éviter l'introduction de corps étrangers et, en cas d'incendie, la propagation de flammes. Dès 1888, l'air frais doit refroidir les soutes à munition : cela est obtenu par la détente d'air préalablement comprimé par un moteur. Ce dispositif permet de ne pas dépasser la température de 20°C dans les soutes. Le risque avec les explosifs est tel que des ventilateurs à bras sont envisagés comme moyen extrême en cas de besoin.

Cette présentation synthétique¹⁶⁸ pointe les différentes solutions mises en œuvre pour assurer la fonction « ventilation ». Les multiples circuits de circulation d'air requièrent, pour la plupart, une ventilation mécanique dont l'électricité peut facilement assurer la motorisation.

¹⁶⁶ *Ventilation, Sautter Lemonnier & Cie*, SHD, 177CG2_Carton 01, 1878, p. 1.

¹⁶⁷ Alphonse CRONEAU, *Construction pratique des navires de guerre-Tome 2*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894, p. 274.

¹⁶⁸ Une description plus détaillée devrait prendre mentionner les contraintes des cloisons étanches, mais cela n'est pas significatif pour le développement des usages électriques. En effet, d'autres canalisations traverses aussi le dispositif des cloisons étanches du navire.

Machine imposante, le ventilateur ci-contre mesure environ 2 m. Il assure une circulation d'air de 10 000 m³/h pour une distribution collective ou pour une chaufferie. Ce ventilateur absorbe 20 à 30 A sous 80 Volts, soit près de 2500 W.

En 1894, un cuirassé comporte trois à quatre machines de ce type dont la consommation cumulée est de l'ordre de 10 kW, soit l'équivalent d'une génératrice embarquée en 1873.

De petites machines sont implantées localement, parfois encastrées dans les cloisons. Les ailettes du ventilateur ont un diamètre de 30 cm et le moteur absorbe 1,5 A sous 80 Volts, soit 120 W ou l'équivalent de trois lampes à incandescence.

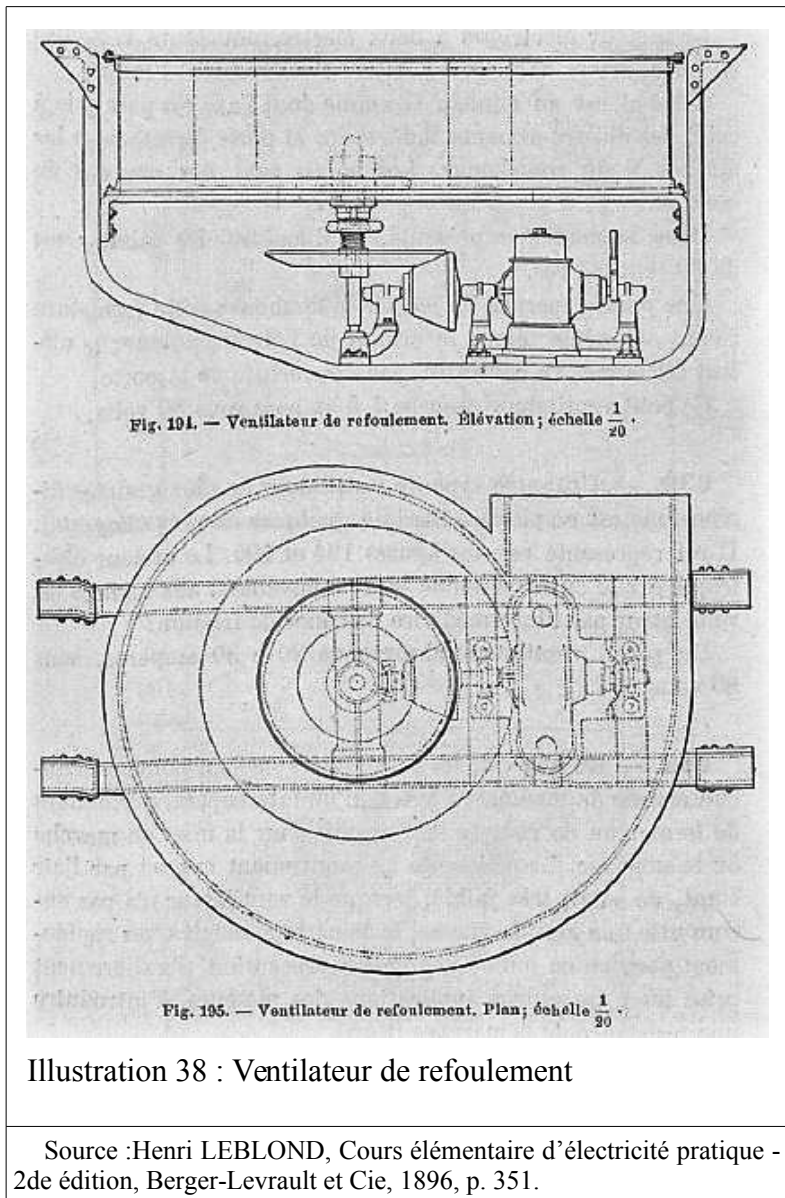


Illustration 38 : Ventilateur de refoulement

Source :Henri LEBLOND, Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 351.

Ces ventilateurs ne sont pas munis d'interrupteurs, leur mise en service ou leur arrêt s'effectue de manière centralisée sur un tableau de distribution.

En 1915, le constructeur GENERAL ELECTRIC indique avoir installé 60 petits ventilateurs¹⁶⁹ dans un cuirassé de l'US Navy, indépendamment des autres besoins de ventilation pour les machines.

¹⁶⁹ General Electric Review, New-York, 1915a, p. 518.

2.3.A.b. Les aides à la manœuvre : gouvernail, guindeau et treuil

L'extinction de la marine militaire à voile entraîne dans son sillage de nombreux appareils mus par la force humaine. Si les gabiers disparaissent, de nombreuses tâches de manutention persistent et sont indépendantes du mode de propulsion : le mouillage, l'amarrage et le levage sont des activités que les matelots manœuvriers assument. Les dimensions et les masses des navires à coque fer ne correspondent plus à l'échelle de la force humaine, le recours à la puissance mécanique est incontournable sur la plupart des navires de guerre.

La manœuvre du safran n'échappe pas à cette montée en puissance. La force exercée sur la traditionnelle barre à roue des grands voiliers était déjà astucieusement démultipliée par des jeux de poulies de renvoi afin d'en rendre la manœuvre possible par l'homme de barre. Ces dispositions mécaniques sont réadaptées au contexte des lourds bâtiments à coque fer et plusieurs équipements voient le jour. Leur principe commun se fonde sur la dissociation entre le mouvement de la barre à roue et la force appliquée à l'axe du safran.

La commande à distance du gouvernail est un des services les plus importants du bord. Cette manœuvre s'effectue de préférence sur la passerelle mais elle doit pouvoir se réaliser aussi du blockhaus de commandement. Une circulaire ministérielle du 16 février 1893 demande deux transmissions indépendantes du gouvernail. Dans le blockhaus du cuirassé **Dupuy de Lôme**, les efforts pour manœuvrer le volant sont très importants, jusqu'à 125 kg¹⁷⁰. Une assistance mécanique est indispensable.

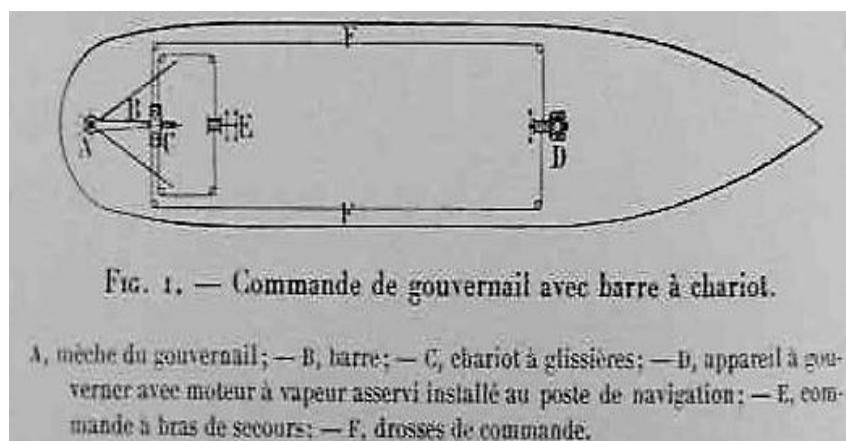


Illustration 39 : Commande à distance du gouvernail avec un moteur à vapeur

Source : A. FOILLARD, La commande électrique des gouvernails, Paris, Le Génie Civil, 1916, p. 4

Ainsi, pour un navire de 50 m de long, l'homme de barre est éloigné du gouvernail d'environ 10m. La transmission de son action sur la barre de roue vers la poupe du navire se fait par des chaînes placées dans des fourreaux de guidage et de protection. Ce simple frottement consomme une part importante de l'énergie de l'homme de barre. Dans un premier temps, très logiquement, la vapeur est le vecteur d'énergie que l'on fait agir au plus près de la barre à roue.

¹⁷⁰ GAYDE, *Cours pratique de construction navale*, Paris, Challamel, 1895, p. 341.

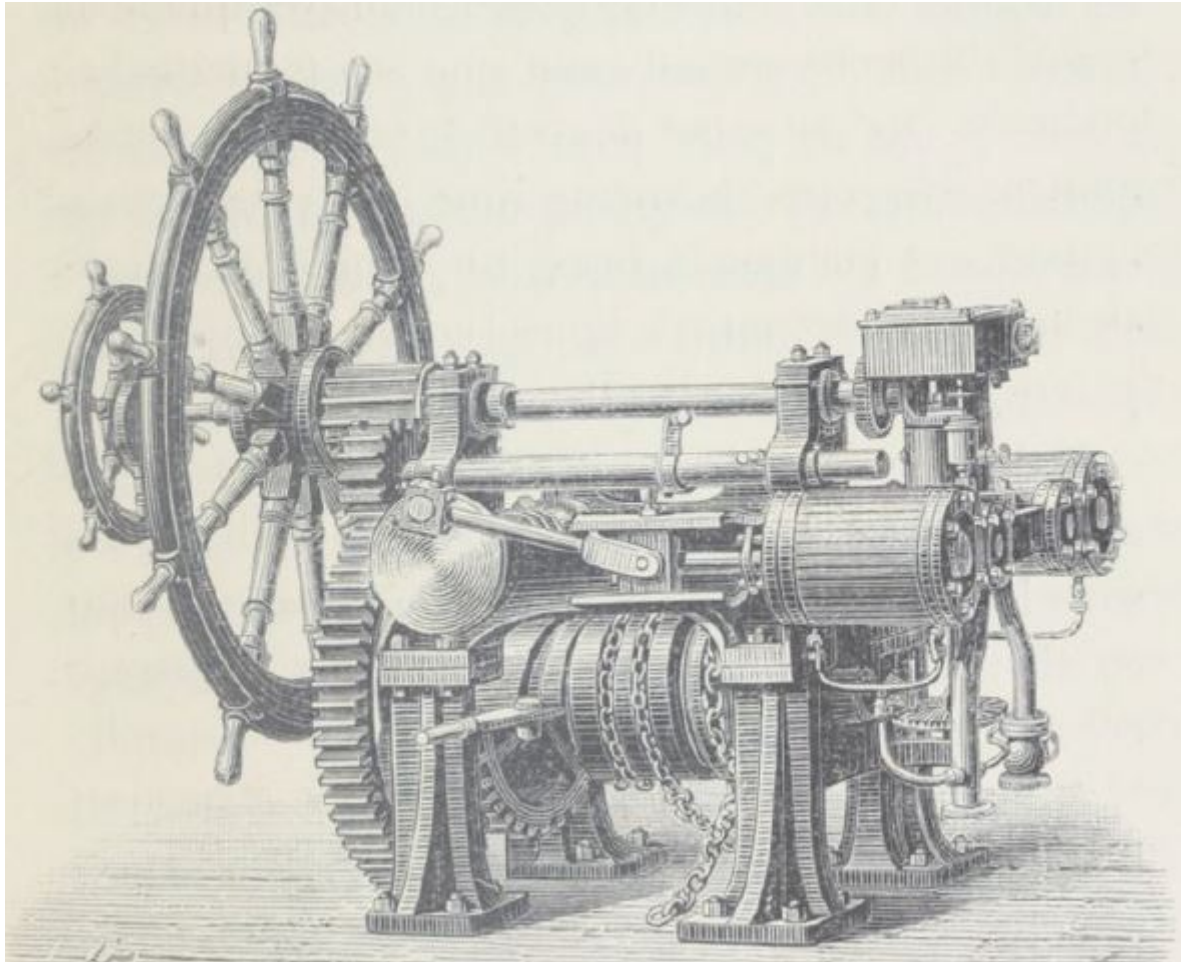


Illustration 40 : Commande locale du gouvernail avec un moteur à vapeur

Source: Maurice DEMOULIN, *Les paquebots à grande vitesse et les navires à vapeur*, Paris, Librairie Hachette, 1887, p. 71.

Une alternative consiste à agir au plus près du gouvernail, en commandant à distance la force motrice de la vapeur. Le secteur de barre, dispositif hérité de la marine à voile, est simplement mis en mouvement par un ou deux pistons, à simple ou double effet selon le cas. Des câbles en acier vont de la barre aux tiroirs d'admission et d'échappement des pistons.

Cette configuration pose plusieurs problèmes, les deux principaux étant les longues canalisations de vapeur des chaudières jusqu'au secteur de barre et les qualités élastiques de la vapeur. Les canalisations de vapeur cheminent dans différents locaux qui bénéficient ainsi involontairement d'un chauffage intempestif, souvent excessif: l'habitabilité de ces postes est une difficulté. Le cheminement de cette vapeur doit aussi être protégé des tirs ennemis. Enfin, le débit de vapeur dans ces canalisations est ponctuel, uniquement lors de changement de cap : une circulation permanente de la vapeur dans une boucle lui conserve une température apte aux manœuvres. Une autre difficulté provient de l'élasticité du gaz vapeur qui introduit une certaine souplesse dans les réactions de barre.

Tout en conservant le recours à la vapeur comme énergie primaire, la transmission de force peut être faite par un autre fluide en substitution à la vapeur chaude. Les longues canalisations de vapeur sont remplacées par des conduites de fluide, sans effet secondaire dans les locaux traversés. Le secteur de barre pivote par l'action de pistons hydrauliques alimentés par des canalisations mises sous une pression statique par un accumulateur.

En 1896, l'US Navy¹⁷¹ procède à la recette d'un garde-côte « tout pneumatique », le monitor *USS Terror*. Deux vérins simple effet ayant leur tige de piston commune sont placés horizontalement en vis à vis, l'extrémité du gouvernail étant fixée au milieu du dispositif. Les deux pistons sont sous pression permanente et le mouvement s'obtient par une opération simultanée inverse sur les deux chambres de piston : lorsque la pression augmente sur un piston, elle baisse symétriquement sur l'autre. La position du safran est donc stable, quelque soit l'angle de barre demandé. Selon les essais réalisés en septembre 1897, le passage de Bâbord toute à Tribord toute est obtenu en six secondes, soit nettement mieux que les 20 à 30 secondes admises¹⁷² par CRONEAU pour « renverser la barre ». Bien que novateur et ayant confirmé sa faisabilité avec des essais prometteurs, ce dispositif n'a toutefois pas fait école.

L'eau a été le premier fluide incompressible mis en œuvre pour ce type de système hydraulique, que ce soit pour le mouvement des safrans ou celui des tourelles d'artillerie. De fréquentes avaries¹⁷³ sont imputables aux garnitures, à l'origine de défaut d'étanchéité. L'emploi d'un mélange d'eau et de glycérine est indispensable dans les périodes froides. Néanmoins, la Royal Navy a touché les limites de ce dispositif lors de sa campagne dans les mers froides début 1900, l'eau gelant dans les canalisations et bloquant son artillerie.

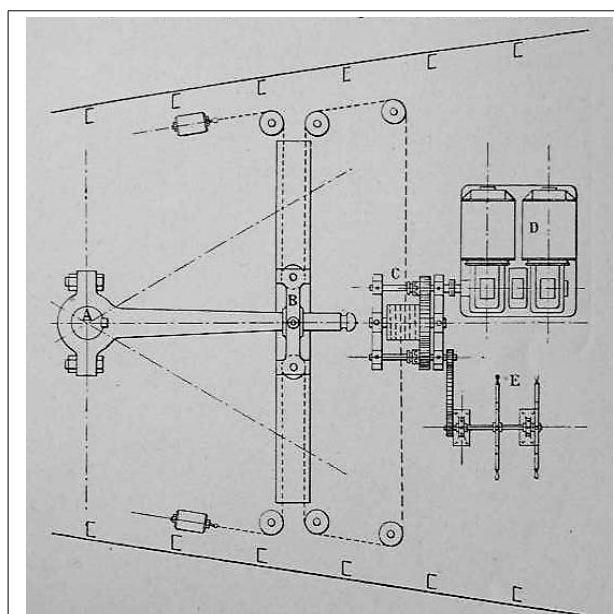


Fig. 10. — Barre à chariot à commande électrique.

A, mèche du gouvernail ; — B, chariot d'entraînement de la barre ; — C, tambour d'enroulement des drosses ; — D, équipement électro-mécanique à deux moteurs et train différentiel ; — E, roues à bras de la commande de secours.

Illustration 41 : Commande électrique du gouvernail

Source : A. FOILLARD, *La commande électrique des gouvernails*, Paris, Le Génie Civil, 1916, p. 13

Le recours à la puissance électrique pour le déplacement direct du safran se réalise par une transmission rigide utilisant des vis sans fin et des roues tangentes. Ce type de mécanisme peut recevoir des servo-moteurs électriques rotatifs, mais le dispositif de commande à distance requiert des câbles électriques de fortes sections. Cet inconvénient pénalise une commande tout électrique, difficulté qui sera surmontée avec l'expérience acquise pour le télépointage des tourelles d'artillerie.

L'encombrement du dispositif est inférieur à celui d'un système à vapeur, avantage toujours apprécié à bord.

La manœuvre de secours est locale, au plus près de la mèche du safran.

171 Louis FATOU, *Appareils de manoeuvre à l'air comprimé à bord du monitor américain TERROR*, Paris, Revue maritime, 1897, p. 175.

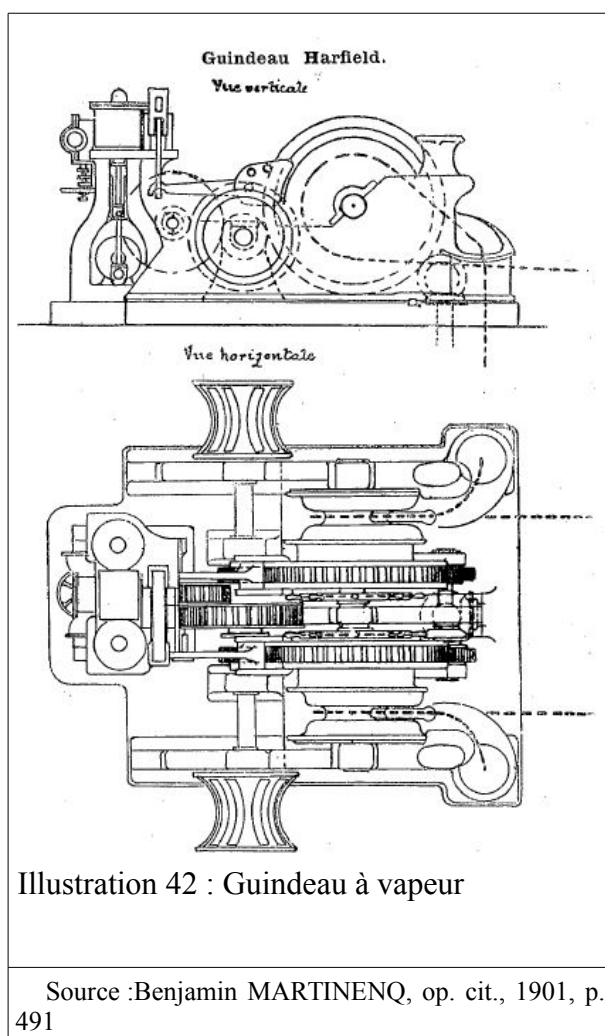
172 Alphonse CRONEAU, *op. cit.*, 1894, p. 390.

173 *Revue maritime*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1896a, p. 510.

Une utilisation intermédiaire de l'énergie électrique consiste à associer un moteur à courant continu à la pompe hydraulique au plus près du servomoteur de gouvernail. Les canalisations hydrauliques sont réduites et la commande de l'ensemble ne dépend que de câbles électriques pour actionner le servomoteur. Il est d'ailleurs possible de multiplier le nombre de point de commande, ce qui est une exigence de la Marine (trois postes à l'extérieur et deux postes à l'intérieur, hors manœuvre à bras). Un tel dispositif est réalisé avec succès¹⁷⁴ sur le bâtiment *La marseillaise* en 1901.

La demande de points multiples pour commander le gouvernail est un prémisses à la dissociation commande/actionneur. Cette organisation technique sera abordée dans le paragraphe suivant, intitulé « La logistique interne de navigation ».

Les manœuvres de pont consistent à déplacer des matériels lourds de manière contrôlée. Il ne s'agit pas de laisser retomber brutalement une embarcation sur le pont ou d'endommager un matériel lors de son transfert dans une cale. Ces treuils d'une capacité restreinte de charge ne requièrent que quelques hommes pour leur manœuvre avec un système de démultiplication par poulies. Les treuils de charge reçoivent une motorisation vapeur, rapidement concurrencée par les moteurs électriques de plus faible encombrement.



Les opérations de mouillage, de relevage des ancres et de leurs chaînes ainsi que le virage des amarres exigent de très forts couples et une puissance conséquente : la vapeur y garde un rôle prépondérant jusqu'au début du XX^{ème} siècle. Le guindeau est un appareil à axe horizontal dédié au relevage des ancres.

Le guindeau HARFIELD est un modèle très répandu et a la particularité d'avoir ses deux pistons à vapeur verticaux. Le cuirassé russe *Pierre Le Grand* en est équipé en 1877. Les performances¹⁷⁵ du guindeau sont satisfaisantes, il remonte 6 à 10 m de chaîne à la minute. Les valeurs de référence sont de 6 m/mn pour le dérapage et de 12 m/mn pour le relevage.

174 VUILLERME, *Note au sujet d'un servo-moteur hydro-électrique*, Mémorial du Génie Maritime, 1901, p. 184.

175 *Revue Maritime et Coloniale*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1877b, p. 126.

Les treuils électriques sont plus compacts que leurs prédécesseurs. Le boîtier de commande est accolé au treuil, mais les rhéostats des moteurs sont parfois placés sous le pont.

La variation de vitesse du treuil peut être obtenue par un système d'engrenage et d'embrayage, configuration mécanique identique à celle des dispositifs à vapeur.

L'intérêt des treuils électriques consiste dans la possibilité supplémentaire de faire varier électriquement leur vitesse.

La vitesse de levage du treuil ci contre varie selon la charge : de 70m/mn pour 1 T à 15 m/mn pour 10T.

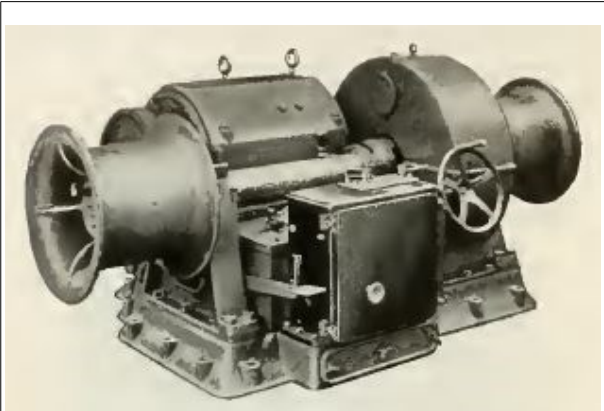


Illustration 43 : Guindeau électrique

Source : General Electric Review, New-York, 1915, p. 518.

A l'intérieur du navire, selon le nombre de ponts et l'organisation des flux de matériels, des monte-charges facilitent la circulation et l'efficacité générale. L'exploitation des chaufferies engendre une importante consommation de charbon que les chauffeurs déplacent manuellement des différentes soutes vers les chaudières. La combustion de ce charbon donne des résidus et des escarbilles dont l'accumulation nuit au rendement thermique. Des moteurs électriques assurent l'expulsion d'escarbilles, soulageant ainsi les ouvriers-chauffeurs de tâches particulièrement pénibles.

2.3.A.c. L'assistance aux fonctions de navigation

L'association d'électroaimants et de dispositifs mécaniques les plus divers offre une profusion d'équipements électro-mécaniques dont l'installation est relativement simple : un boîtier de commande, quelques conducteurs et un mécanisme actionné par un ensemble électromécanique. Le sujet de cette thèse exclut les équipements dits « Courants faibles » pour mieux cerner la problématique de la diffusion des « courants forts » dans les flottes. Ces deux sujets ont néanmoins quelques points communs qu'il serait regrettable de passer sous silence. Dans ce paragraphe, sans mener une étude de la multitude de ces petits matériels électromécaniques, certains d'entre eux sont présentés car à la fin du XIX^e siècle, la frontière conceptuelle entre la commande à distance et la transmission de signal n'a pas de sens.

Ainsi, en 1889, le gouvernail électrique, système WASLIBURN¹⁷⁶, est un ensemble qui corrige la position du gouvernail si la trajectoire du navire s'éloigne d'un cap assigné. La capture de l'écart est électrique, mais l'action sur le gouvernail est pneumatique par l'intermédiaire d'électro-vannes. Le dispositif électrique se réduit à deux contacts sur lesquels vient buter l'aiguille aimantée d'une boussole. Pour éviter une perturbation électromagnétique fâcheuse sur l'aiguille de la boussole, les conducteurs électriques sont doublés. Le mécanisme se décrirait aujourd'hui plutôt comme un pilote automatique, la force agissant sur le safran n'étant pas électrique. Le vocable de gouvernail électrique semble donc exagéré, mais le contexte du XIX^e siècle est friand de nouveautés et la dérive lexicale donne un écho commercial favorable au système.

Cet exemple souligne la confusion qui règne à l'époque entre la machine et sa commande : lorsque que l'interrupteur de commande est intégré à l'appareil, il n'y a pas d'ambiguïté. Mais lorsque l'interrupteur de manœuvre n'est plus à proximité immédiate du mécanisme, certains auteurs parlent de télécommande. La commande à distance de mise en marche ou d'arrêt d'un matériel reste toutefois une opération simple qui se réalise avec deux options de câblage :

- l'interrupteur de manœuvre est parcouru par le courant de l'appareil à commander. Dans le cas de fortes intensités ou de distances significatives entre l'interrupteur et l'appareil, cette option impose de fortes sections de câbles pour obtenir un fonctionnement satisfaisant.
- l'interrupteur de commande agit sur un relais positionné à proximité de l'appareil à commander. Le conducteur de commande est alors de faible section.

L'option 1 est retenue lors des premières installations, faute de dispositifs de relais. Dès 1885, l'option 2 se généralise car elle permet des économies de conducteurs et de matière, donc de coût de construction, d'encombrement et de poids embarqué. En s'appuyant sur cette dissociation entre circuit de puissance et circuit de commande, de très nombreux dispositifs dits « automatiques » voient le jour.

¹⁷⁶ LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 483.

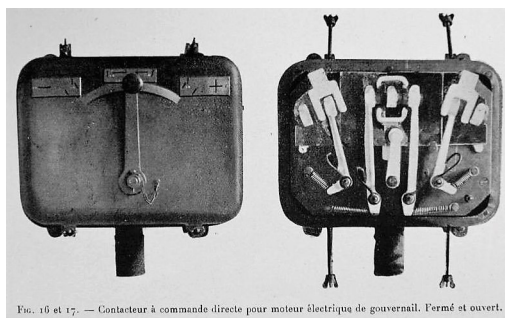


Fig. 16 et 17. — Contacteur à commande directe pour moteur électrique de gouvernail. Fermé et ouvert.

Illustration 44 : Manipulateur de gouvernail

Source : A. FOILLARD, La commande électrique des gouvernails, Paris, Le Génie Civil, 1916, p. 19

Ces dispositifs sont des associations de mécanismes mécaniques, de contacts électriques et d'électroaimants plongeurs. Cela permet de stopper des appareils dans des positions pré définies ou d'obtenir des déplacements d'une position à une autre : le fonctionnement est par saut, par état discret sans aucune disposition de continuité du mouvement.

Les dispositifs évoqués ci-dessus ont une filiation technique avec les réseaux intérieurs de sonneries et de transmetteurs d'ordre. Très en vogue dans les habitations bourgeoises, les sonnettes électriques remplacent les clochettes dans l'organisation du personnel de maison. Les sonnettes trouvent leur place à bord de tous les navires, assurant ainsi de manière sommaire des communications internes. Les transmetteurs d'ordre de la flotte sont des ensembles nettement plus étoffés et beaucoup plus fiables que leurs cousins historiques des maisons bourgeoises.

Entre la passerelle et les machines, une communication fiable est essentielle et le tube acoustique connaît des limites. Le transmetteur d'ordre construit par la société britannique CHADBURNS est une référence souvent copiée, mais rarement dépassée. Ce dispositif mécanique assure une communication bi-directionnelle par chaîne entre les deux locaux, avec une « mémorisation » des informations transmises. Le mécanisme initial est commercialisé dès 1865.

L'essai sur *Le Richelieu* d'un transmetteur électrique n'est pas concluant et aucune substitution n'aboutit jusqu'en 1914¹⁷⁷. Le produit de GENERAL ELECTRIC semble être une meilleure réponse en 1921.

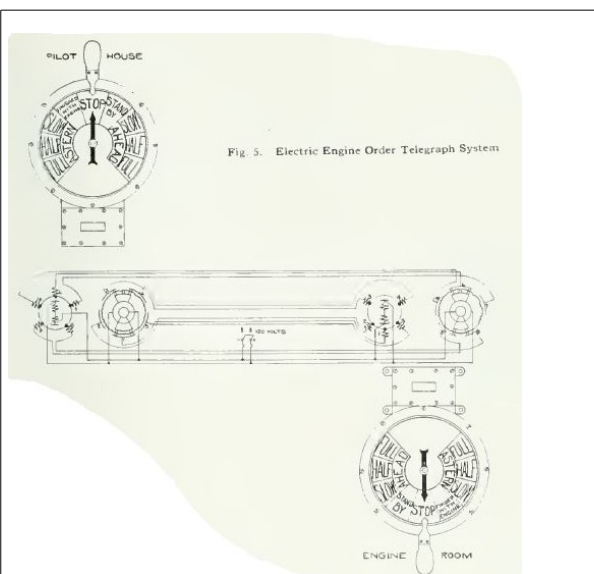


Illustration 45 : Chadburn électrique

Source : General Electric Review, Vol 24,1921, p. 193.

La navigation utilise le traditionnel compas magnétique pour diriger le navire. Depuis la généralisation des coques fer, la présence massive de matériaux ferromagnétiques à bord perturbe les indications du compas embarqué. Cette question primordiale pour tout navire fait l'objet de propositions multiples, certaines réalisations se fondent sur la modification du

177 MAUGER, *La sécurité dans la navigation*, Paris, Armée et marine, 1914, p. 46.

matériel pour obtenir l’affichage d’une valeur dite vraie. Pour corriger ces déviations intempestives, les compas intègrent alors des pièces métalliques déplaçables, ce qui permet de compenser dans une certaine mesure les effets indésirables constatés. D’autres approches recommandent de ne pas modifier le compas et de faire confiance aux corrections apportées *in situ* par le commandant.

En 1878¹⁷⁸, M. BISSON propose de construire une boussole électrique : il s’agit d’une boussole éloignée des masses métalliques du bord, placée en haut d’un mât et qui communique électriquement ses indications à un récepteur placé sur le pont. En terme actuel, il s’agit d’un répéteur de boussole, concept qui sera largement repris par la suite.

En novembre 1889¹⁷⁹, la maison DUMOULIN-FROMENT construit pour la Marine un gyroscope muni d’un électromoteur. Ce matériel est commandé par le capitaine KREBS en accord avec l’ingénieur du Génie Maritime Gustave ZÉDÉ, spécialiste de la sous marine. Cet appareil est utilisé avec succès sur le sous-marin *Gymnote* pour sa navigation en immersion.

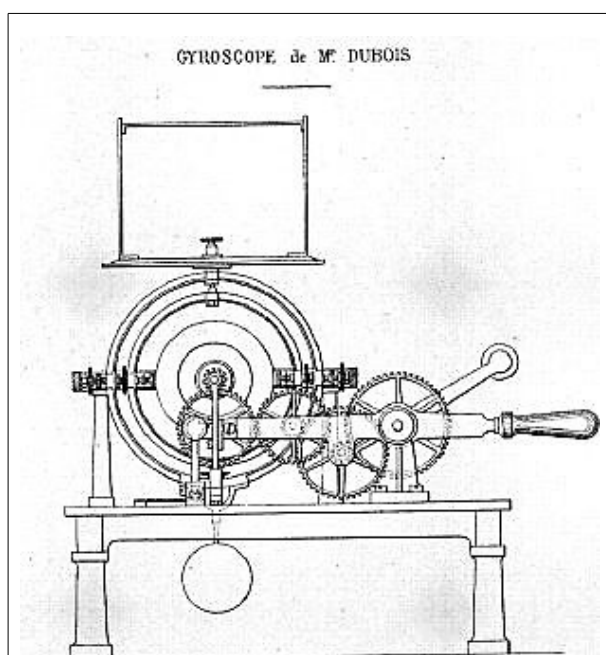


Illustration 46 : Gyroscope de relèvement

Source : *La marine à l'exposition de 1878, Atlas*, Gauthier-Villars, J.Hetzel et Cie., Paris, 1879, Pl 101

Lors de la même exposition universelle de 1878, soit 27 ans après les travaux de FOUCAULT, M. DUBOIS, examinateur de la Marine, fait construire un gyroscope de marine destiné à faire des relevements de route.

Le mouvement est initié par une manivelle, le gyroscope tourne à 125 t/mn pendant 12 à 15 mn. La précision annoncée des relevés est du demi-degré.

Quelques années plus tard, ce concept sera enrichi et électrifié avec succès par l’américain SPERRY.

Un autre phénomène brouille l’aiguille aimantée du compas. Comme l’a démontré OERSTED en 1820, la circulation d’un courant électrique dans un conducteur produit un champ magnétique. Celui-ci interfère avec le champ magnétique terrestre et est donc susceptible de perturber la principale référence du pilote : son compas. La prolifération des câbles à bord et le régime aléatoire de marche des machines électro-magnétiques embarquées dégradent fortement la bonne interprétation du champ magnétique terrestre vu par une boussole.

Cette défiance relative face au compas stimule la créativité des techniciens. Le compas gyroscopique SPERRY est un système technique qui intègre mécanique et électricité, sans

¹⁷⁸ *La marine à l'exposition de 1878, Tome 2*, Gauthier-Villars, J.Hetzel et Cie., Paris, 1879c, p. 279.

¹⁷⁹ *Scéance de l'académie des sciences*, Journal Officiel., Paris, 1890a, p. 4712.

référence au magnétisme terrestre. D'une part, l'électricité fournit au gyroscope l'énergie nécessaire à sa rotation rapide : cette source électrique est essentielle et sa disponibilité doit être excellente, faute de quoi la navigation serait dégradée. D'autre part, l'électricité transmet l'information de cap à des répéteurs distants.

SPERRY est un spécialiste de l'implantation des gyroscopes sur les navires : il s'agit de gyroscopes passifs ou actifs qui stabilisent le bateau face aux effets liés au roulis, au tangage et au lacet.

Dans une communication en 1910, SPERRY présente les caractéristiques de son compas gyroscopique : le gyroscope tourne à 4400 t/mn et indique le nord géographique 34 mn après son lancement.

A cette vitesse, la force disponible sur l'aiguille indicatrice est 6600 fois plus importante que celle d'une boussole aimantée : cette information peut être captée sans difficulté et transmise à des répéteurs répartis dans le navire, aux tourelles par exemple.

L'encombrement de ce matériel est comparable à un compas de route.

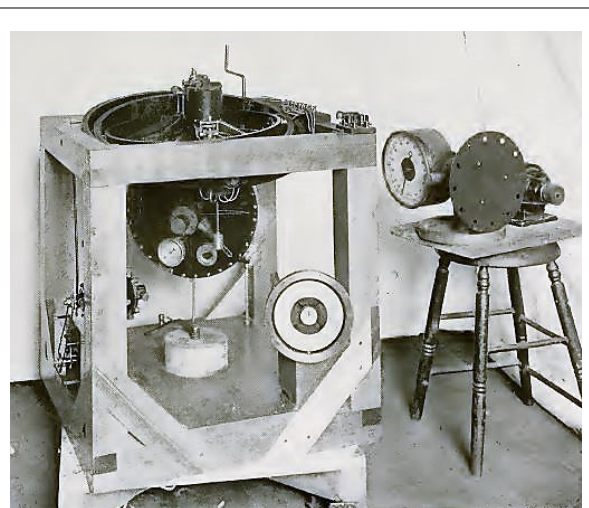


Illustration 47 : Gyroscopie SPERRY

Source : Elmer SPERRY, The gyroscope for marine purposes, New-York, Society of naval architects and marine engineers, 1910, Pl 59.

Le dispositif de SPERRY s'inspire partiellement de l'appareil du Dr ANSCHUTZ¹⁸⁰ dont le volant tourne à 20 000 t/mn. Ces deux matériels étant très similaires, l'attribution de l'antériorité à l'un des deux ingénieurs est sans intérêt pour notre étude. Par contre, le compas gyroscopique et ses répéteurs de cap nécessitent le recours à du courant alternatif triphasé pour synchroniser les différents équipements. Ce matériel clé de la navigation impose donc le courant alternatif dans les locaux où il s'implante.

La navigation à l'estime est certes un art, mais cette pratique se fonde autant que possible sur les éléments chiffrés que sont le cap et la vitesse du navire. Connu dès 1550 et issu de la marine à voile, le loch est un dispositif simple. Il comprend un flotteur lâché dans le sillage du bateau et un dévidoir de cordage portant des nœuds équidistants sur toute sa longueur. Le flotteur joue le rôle d'une ancre flottante fixe et le décompte des nœuds filés en 30 secondes donne une estimation¹⁸¹ de la vitesse du navire. Le flotteur est remplacé par une hélice et un compte-tours des torsions du câble se substitue au décompte¹⁸² des nœuds filés.

La rencontre de dispositif traditionnel avec l'électricité donne lieu au loch électrique. Dans un premier temps, l'évolution se limite à un simple saut incrémental technique, tout en

¹⁸⁰ *Navigazette* n° 1165, Paris, 1911a.

¹⁸¹ En 1773, l'ingénieur du Génie Maritime Borda a apporté une contribution essentielle à la connaissance de la position des navires par le loch.

¹⁸² LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 252.

conservant le principe du « poisson tracté » et du loch à hélice. Dans un second temps, une petite roue à godets remplace le poisson tracté.

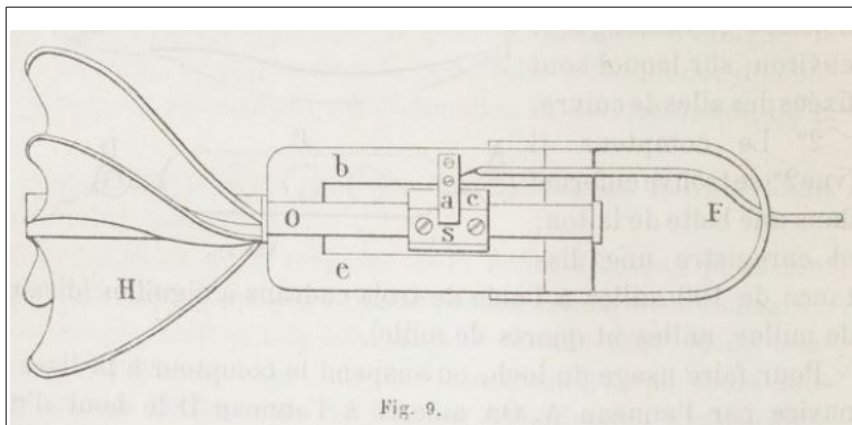


Illustration 48 : Loch électrique 1875

Source : LEDIEU et CADIAT, op. cit., 1889, p. 222.

En 1875, l'officier LE GOARANT DE TROMELIN adapte le loch à hélice d'un contact rotatif alimenté par un seul conducteur, le retour de signal s'effectuant par la coque.

Le nombre d'impulsions indique la vitesse du navire.

En 1846, l'irlandais ROBINSON construit un anémomètre comprenant quatre coupelles en rotation autour d'un axe vertical. S'inspirant de ce capteur, l'officier FLEURIAIS adapte le dispositif pour mesurer la vitesse de l'eau. Le mécanisme est immergé et l'axe de rotation de la roue est horizontal. Après expérience, la vitesse de rotation du moulinet est admise comme simplement proportionnelle à la vitesse de l'eau à l'extrémité des pales. Le commandant FLEURIAIS émet toutefois une réserve, d'une parfaite exactitude : « *L'exactitude de la loi de proportionnalité est très difficile à affirmer; en tous cas, les écarts, s'ils existent, paraissent d'un ordre qui n'intéresse pas la navigation.* »

L'axe du moulinet en bronze présente deux secteurs, l'un en cuivre, l'autre en ébonite. Sur cet axe frotte une lame de laiton. A chaque tour du moulinet, la lame passe alternativement sur le secteur métallique et sur le secteur isolant : une pile transforme ce signal en choc sur un timbre, dont la cadence est une image de la vitesse du navire.

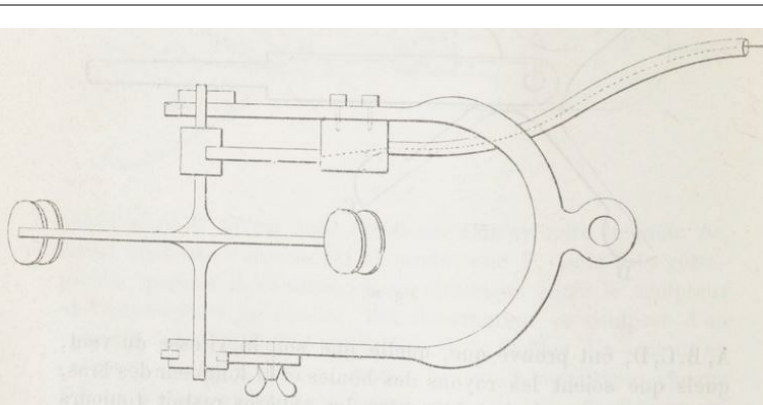


Illustration 49 : Loch électrique à moulinet

Source : LEDIEU et CADIAT, op. cit., 1889, p. 224.

En 1897, ce dispositif est largement adopté dans la flotte. Dans son cours à l'école supérieure de maistrance, le professeur CALLOU fait état du loch FLEURIAIS imaginé par celui qui est devenu depuis contre-amiral.

2.3.A.d. Les armes

Ce paragraphe ne traite pas des équipements électriques dédiés à la manœuvre des tourelles. Ces matériels de pointage, véritables systèmes techniques en eux-mêmes, sont présentés dans le chapitre 4.

Néanmoins, cet usage est déterminant dans les grands navires. Construit en France en 1904, le cuirassé russe **Césarevitch** [120 m de long et de 12.000 Tx] est un bâtiment typique de l'époque¹⁸³ et du matériel installé. Des génératrices sont spécialisées pour l'artillerie, c'est-à-dire qu'elles ne fournissent aucun autre service du bord. Tournant par intermittence elles sont d'un poids inférieur, à puissance égale, à celui des dynamos d'éclairage. Une tourelle de gros calibre, qui roule sur un train de galets à sa base, se prolonge jusqu'au fond du navire par un piston plongeur dans un cylindre à faible volume d'eau. Pour la mise en rotation, une pompe électrique refoule de l'eau sous pression dans ce cylindre, l'ensemble de la tourelle se trouve soulevé ce qui facilite le travail des moteurs électriques. Les tourelles sont équilibrées par rapport à leur axe de rotation : deux moteurs de 25 chevaux [soit 2 fois 18,5 kW] suffisent à entraîner tangentiellement une tourelle de 300 mm d'une masse de 250 tonnes. Les deux tourelles de 300 mm du cuirassé représentent donc un équipement d'environ 70kW.

Lancé en 1903, un cuirassé allemand comparable, le **Preussen**¹⁸⁴ [122 m de long et 13.200 Tx] est équipé par le fabricant Siemens de quatre turbo-dynamos de 65 kW chacune. Cette importante puissance de production est indispensable à la manœuvre de ses tourelles blindées.

Indépendamment du mouvement des canons, des monte-charges alternatifs et des norias alimentent les pièces d'artillerie en obus et cartouches. Ce flux est d'autant plus rapide que la cadence de tir est élevée, plusieurs coups à la minute, selon le calibre du canon. Pour un canon de 14 mm, chaque cage emporte six cartouches. L'approvisionnement d'un canon en continu s'obtient par un dispositif associant un tambour avec des câbles de levage, des bennes et un treuil mu par un moteur électrique. Des contacts de fin de course facilitent la coordination de l'ensemble et réduisent les erreurs de manipulation. Pour une noria, le moteur n'a qu'un sens de rotation alors que pour un monte-charge le moteur tourne alternativement dans les deux sens. Dans ce dernier cas, les balais du collecteur sont remplacés par des charbons. Le moteur consomme¹⁸⁵ entre 10 et 15 A sous 70 Volts, soit environ 1kW .

Dans la flotte française, les compresseurs d'air pour torpilles restent jusqu'en 1911 entraînés par des moteurs à vapeur. De son côté, l'USNavy équipe en 1906¹⁸⁶ le cuirassé **USS Connecticut** [140 m de long et 16 000 Tx] de deux compresseurs d'air pour ses quatre tubes lance-torpilles. Alimenté en 125 Volts, le moteur à excitation shunt consomme 53 A , soit environ 60 kW.

En toute logique, les systèmes d'armes du bord deviennent les principaux demandeurs d'énergie électrique.

183 SVIET, *L'électricité dans la marine militaire, les services de l'artillerie*, Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°22, 1904, p. 338.

184 Victor KRAMMBRER, *Danger du courant électrique et moyens de les éviter (fin)*, Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°14, 1905, p. 230.

185 Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1899, p. 352.

186 Julius MARTIN, *Electrical installations of the US NAVY*, Annapolis, The US Naval institute, 1907, p. 257.

2.3.A.e. L'habitabilité et le confort de l'équipage

Le titre de ce paragraphe ressemble à un anachronisme, mais ce jugement doit être modulé en tenant compte du contexte et de la flotte concernée.

S'il est exact que l'armée de mer française porte une certaine attention aux conditions d'hygiène de l'équipage, cette approche se focalise sur la densité des hamacs dans les postes. Le but est d'allouer l'espace aux matériels militaires et de minimiser les locaux de vie sans avoir d'effets négatifs sur l'hygiène collective. Le plan ci-dessous montrant l'imbrication des hamacs entre eux se passe de commentaires.

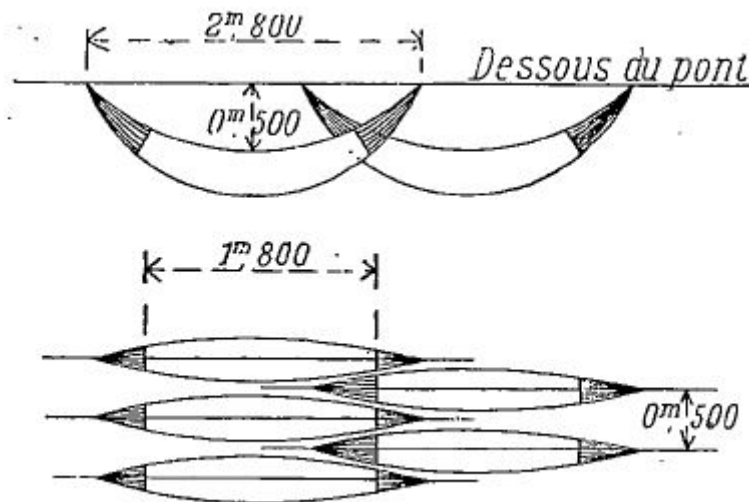


Illustration 50 : Optimisation de l'espace de vie

Source : Benjamin MARTINENQ, op. cit., 1901, p. 331

De fait, l'électrification réduit le nombre de matelots, la mécanisation remplaçant la main d'œuvre et la force humaine nécessaires auparavant. Ceci peut bénéficier dans une certaine mesure à l'équipage qui, moins nombreux, peut avoir un meilleur hébergement et voir ainsi ses conditions de vie à bord s'améliorer. De son côté, le logement des officiers bénéficie d'éclairage individualisé, parfois avec des luminaires similaires à ceux équipant des appartements. L'expérience des combats amènera des modèles plus robustes et mieux adaptés au contexte.

Les mécanisations citées dans les paragraphes précédents montrent la substitution des machines aux manœuvres physiques confiées aux matelots. Mais la vie quotidienne à bord comprend d'autres tâches manuelles répétitives qui mobilisent du temps et du personnel : la confection des repas peut gagner en efficacité avec l'assistance d'appareils électriques.

L'état-major de l'US Navy porte un réel intérêt à ses marins, cette approche est culturelle et s'ancre dans le long terme. Cela se traduit très concrètement par des équipements de cuisine collective à bord. Dès 1907, le manuel de référence des matériels du bord comprend au moins deux machines emblématiques : un épluche-légumes et un lave-vaisselle, tous deux entraînés par un moteur électrique.

L'ordre de grandeur de l'équipage d'un cuirassé est d'environ 1000 hommes. La préparation de légumes relève d'une corvée, au sens d'une tâche affectée de manière cyclique à bord à une partie de l'équipage. Il va de soit qu'il y a là un gain de productivité facilement accessible, si le machinisme est à la hauteur. *A contrario*, lorsqu'un matériel de cuisine est en panne, les conséquences en sont assez pénalisantes et cela est pris au sérieux par les officiers. La lecture des archives du croiseur *Emile BERTIN* en apporte un témoignage dans un paragraphe ultérieur.

Le dispositif se compose d'un réservoir cylindrique fixe dont le fond tournant est constitué d'une plaque ondulée. Le mouvement de la laque de base entraîne les légumes qui frottent alors contre la paroi abrasive du réservoir. Après un certain temps, la peau des pommes de terre est recueillie par un écoulement d'eau en partie basse. Les légumes sont préparés pour leur cuisson, quelques reprises manuelles d'épluchage pouvant toutefois être utiles.

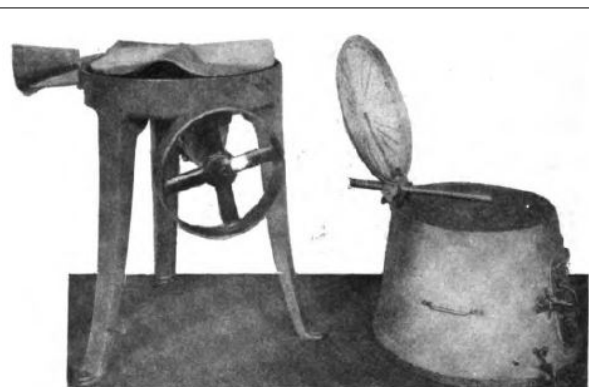


FIG. 196.—Parts of Potato Peeler.

Illustration 51 : Eplucheuse à légumes

Source : Julius MARTIN, *Electrical installations of the US NAVY*, Annapolis, The US Naval institute, 1907, p. 346.

Le moteur de l'éplucheuse consomme environ 750 Watts et tourne à 1425 t/mn, une démultiplication par engrenage étant placée dans le support.

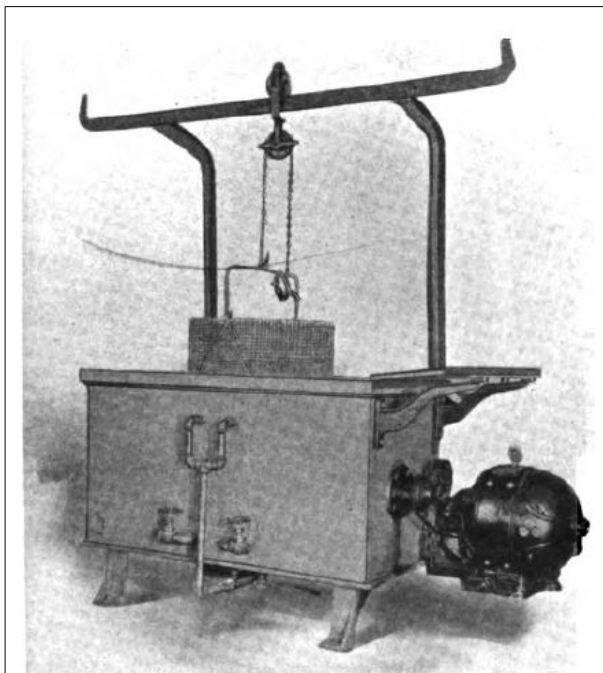


Illustration 52 : Lave-vaisselle

Source : Julius MARTIN, *Electrical installations of the US NAVY*, Annapolis, The US Naval institute, 1907, p. 345.

Le lave-vaisselle comprend deux bacs, un pour le lavage et un pour le rinçage. La vaisselle et les couverts sont disposés dans un panier qui est immergé dans le bac de lavage. Ce bac contient un produit lessiviel et est rempli d'eau chaude permettant d'y mettre les mains si nécessaire. Des hélices placées dans le fond du bac brassent l'eau savonneuse, ce qui lave les objets. Une fois ce lavage terminé, le panier est extrait et placé dans le bac suivant pour un rinçage. Ce dernier bac contient une eau propre et quasiment bouillante. Après trois immersions dans ce bac, le panier est extrait et la vaisselle est propre.

L'eau est chauffée par un soutirage du circuit de vapeur du bord. Le moteur électrique pour brasser l'eau est alimenté selon le standard US Navy en 125 Volts et consomme environ 500 Watts.

L'environnement de ce matériel est particulièrement agressif et la photographie disponible ne permet pas d'apprécier l'état de la machine après plusieurs mois d'utilisation intensive.

Diverses autres activités de soutien reçoivent l'appui de la motorisation électrique. Les ateliers de mécanique comportent des tours d'usinage et d'autres machines-outils. Chaque machine est autonome avec son propre moteur, configuration beaucoup plus souple que la distribution de mouvement par un système de courroie volante en plafond. Ces machines d'établi apportent une meilleure efficacité et sécurité aux mécaniciens, tout en ne demandant qu'une puissance modeste de l'ordre de quelques kW.

La perceuse électrique¹⁸⁷ est un outillage portatif qui est très utile dans l'univers entièrement métallique d'un navire. Les réparations et autres adaptations de matériels demandent souvent de solides fixations sur les cloisons : les premières perceuses électriques répondent à ce besoin, se substituant aux chignoles et autres vilebrequins à main. Ces perceuses se décomposent en deux éléments reliés par un flexible : le moteur est dans un coffret posé au sol et le mandrin porteur du forêt de perçage est entraîné par l'arbre flexible sous gaine. Le moteur, alimenté sous 70 Volts, consomme de 10 à 15 A [environ 1 kW] et tourne à 2000 t/mn.

187 Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 348.

2.3.B. Le câblage, canalisations principales et secondaires

2.3.B.a. Quelques généralités sur le câblage.

L'ensemble des connexions entre les divers composants du système électrique constitue le câblage. Comme pour tout autre équipement, le choix des canalisations et la pose des câbles dans les divers locaux participent à la fiabilité globale du système. Si l'on

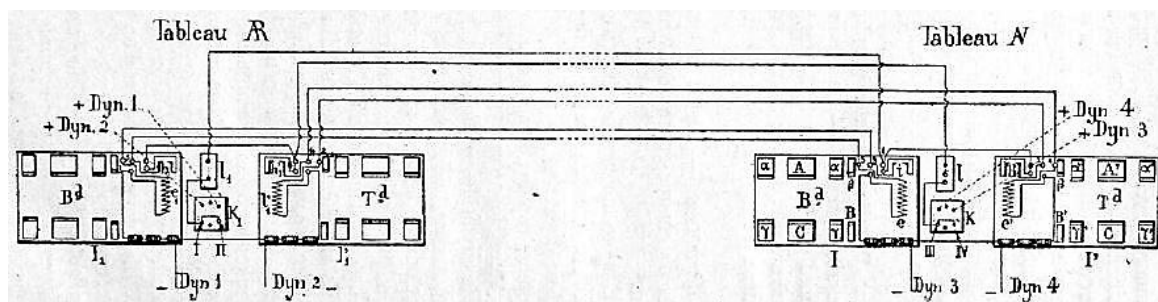


Illustration 53 : Sécurité reliant les tableaux de répartition du **Jauréguiberry**

considère le système technique comme un entrelacs d'objets, alors les conducteurs et les canalisations en sont les fils, l'armature, la trame et le squelette du système. Les génératrices, les tableaux de répartition, les moteurs, les luminaires, les projecteurs et autres appareils forment les nœuds de ce tissage. Sans pousser plus loin la métaphore, la structure du câblage d'une installation mérite notre attention car c'est une grandeur essentielle du système. A travers ce faisceau de fils et ses nœuds, il est possible de comprendre les finalités poursuivies lors de la conception et la réalisation d'un système électrique.

En effet, le câblage d'un système électrique lui confère certaines propriétés de robustesse, de souplesse d'exploitation, de sécurité d'alimentation et de sûreté de fonctionnement. Ces concepts récents n'apparaissent pas dans les arguments déployés au XIX^e siècle pour justifier les choix techniques. Néanmoins, certaines explications contiennent des éléments de rhétorique qui sont les prémices de travaux ultérieurs¹⁸⁸. Un certain bon sens, largement partagé entre les hommes de terrain et les concepteurs, préexiste : une chaîne se brise à son maillon le plus faible. De manière pragmatique, alors que les canalisations sont des objets techniques inertes « de servitude », elles font l'objet d'attentions afin de maximiser autant que possible les services rendus par les objets techniques essentiels. Ces derniers sont eux placés au cœur du système, pour ne pas dire aux nœuds du réseau.

2.3.B.b. Des écarts entre le câblage à terre et sur un navire

Pour les installations électriques à terre, la pose des conduits électriques fait l'objet de dispositions précises avec quelques variantes selon le pays concerné. Parmi ce savoir-faire, les questions soulevées par les réseaux aériens en ville et en campagne sont sans intérêt pour les navires. Par contre, l'expérience acquise dans les installations intérieures et dans la pose de câbles souterrains est susceptible d'un transfert de connaissance vers la construction navale. Faute d'antécédents pertinents, le milieu maritime est en recherche des bonnes pratiques internationales¹⁸⁹. Ainsi en 1883, la Revue Maritime et Coloniale publie quelques dispositions prises pour prévenir les incendies dus à l'éclairage électrique : les articles sont des traductions de textes du Franklin Institute de Philadelphie et de la Société des ingénieurs télégraphistes et électriciens de Londres. Malheureusement, le contenu des recommandations s'avère

188 La recherche opérationnelle formalisera ces approches dans les années 1950.

189 Le moment venu, la construction aéronautique procédera de même en s'inspirant des pratiques maritimes.

largement inadapté, car « *les machines doivent être dans un lieu sec* » et « *il faut veiller à ce que les fils ne soient pas dans le voisinage de corps métalliques pouvant établir un contact avec le sol* » : le contexte des navires à coque fer est donc très spécifique.

Néanmoins, la question de l'échauffement des fils peut être une référence commune : « *La température des conducteurs ne doit jamais dépasser 150 °F (65°C)* ». Cette valeur aboutit au calcul des « *bouchons de sûreté* » et au choix des fils fusibles, même si la température des chaufferies et des salles des machines atteint ou dépasse cet seuil. Il est remarquable que cet aspect thermique des installations traverse le temps long et qu'il est périodiquement réexaminé. Nous verrons ultérieurement qu'en 1927, par exemple, la question des échauffements et des fils fusibles trouvera d'autres réponses, plus précises mais néanmoins toujours sujettes à remise en cause.

Les systèmes électriques terrestres ont le bénéfice de l'antériorité et de la taille par rapport aux petites installations embarquées. Cette antériorité s'est développée à terre dans un vide juridique qui s'est progressivement comblé. Les principales décisions sont prises par les municipalités, telle la Ville de Paris qui entend cadrer l'éclairage public, la sécurité dans les théâtres et la distribution aux usagers. La question de la sécurité des travailleurs face aux équipements électriques fait l'objet d'un décret en juillet 1907, qui s'intéresse de fait aux tensions supérieures à 600 Volts pour le continu et 150 Volts pour l'alternatif. Le contenu de ce décret n'a pas de réelle consistance technique. Par contre, le service électrique de l'Association Alsaciennes des Propriétaires d'Appareils à Vapeur rédige dès 1906¹⁹⁰ des documents très complets, à la fois prescriptifs et quantitatifs. Pour la communauté des électriciens, cela constitue une source de références partagées. Au-delà du texte et de la lettre, c'est surtout un esprit et un mode de raisonnement industriel qu'il convient d'adapter au contexte militaire et marin

Le domaine du câblage à bord d'un navire est donc un territoire à explorer, à organiser puis à réglementer. À bord d'un navire militaire, un consensus de bon sens fait l'unanimité. Les circuits essentiels doivent se trouver sous la protection du blindage, dans la mesure du possible. Cette disposition est jugée plus importante que la facilité d'accès pour une réparation. Ceci posé, de nombreuses déclinaisons existent. A défaut d'une protection par le blindage, le parcours des circuits sera sous la ligne de flottaison, zone jugée moins accessible au tir direct de l'artillerie adverse. Afin de limiter les parcours au-dessus de la ligne de flottaison, les circuits de dérivation issus des câbles principaux ont un cheminement vertical afin d'en réduire l'exposition au feu ennemi. Une approche complémentaire porte sur les installations que l'on peut qualifier de secours ou de détresse, dont l'usage est à préserver lors d'un naufrage imminent. Il s'agit des équipements de secours dédiés à la TSF qui sont placés sur un pont en partie haute afin de retarder leur atteinte par les voies d'eau dans la coque. Un générateur indépendant ou une batterie d'accumulateurs sont indispensables pour les ultimes communications.

2.3.B.c. Le câble, un objet technique à protéger de son environnement

Un câble électrique alimente souvent plusieurs appareils le long de son parcours. Il est le siège d'une chute de tension proportionnelle, entre autres, à sa longueur, sa section et au courant transité. Au long de son parcours, après chaque raccordement d'appareil sur un conducteur, le courant diminue et la chute de tension n'est plus aussi importante qu'auparavant : la section du conducteur pourrait alors être réduite. Fort de ce constat très

190 CREMEL, *Aide-mémoire de poche de l'électricien*, Paris, 1910, p. 739.

théorique, certains auteurs¹⁹¹ ont imaginé des câbles coniques : la section du conducteur est plus faible à son extrémité qu'à son origine. L'argumentation est séduisante à la lecture, car l'idée est mentionnée dans des cours avec force de justification mathématique. Un tel matériel est toutefois resté au stade du concept, sa réalisation en tréfilerie étant la première difficulté pratique. Cette anecdote est certes révélatrice des dérives entre concept et réalisation, mais elle marque surtout l'importance accordée à la recherche d'optimisation économique des ouvrages. Les câbles coniques auraient permis une économie de matière noble, le cuivre, et une optimisation des chutes de tension. Le volet économique reste présent dans les adaptations incrémentales, au moins dans les réseaux dits « à trois fils » et dans les canalisations principales en boucle de la Royal Navy.

L'installation du *Richelieu* est une précieuse source d'enseignements sur le comportement du matériel en mer. En 1879, de sérieuses anomalies sont rapportées avec les projecteurs extérieurs. Ainsi, les isolants en caoutchouc ne résistent pas aux échauffements. Les isolants en ivoire se fendillent et se brisent, mais des rondelles en carton vernis les remplacent avantageusement. Les conducteurs sont exposés à la pluie et lorsque le temps est humide ainsi que les chaussures des hommes, « *on éprouve infailliblement des commotions ... plus ... ou moins violentes ...en manœuvrant l'appareil.* » Ces premiers pas de l'électricité trouvent des remèdes, de tels défauts d'isolement des câbles ne sont plus rapportés.

En 1887, l'US Navy fait un retour d'expérience très détaillé des difficultés rencontrées avec l'électrification de son premier navire, l'*USS Trenton*. Le plus grand adversaire du câblage d'un navire est l'eau de mer qui dégrade rapidement les métaux et corrompt nombre de matériaux. Un compromis est à trouver entre la protection des attaques de l'ennemi et la nécessité des réparations. Les conduits ne doivent jamais être inaccessibles, ils doivent toujours être bien en vue lorsque c'est possible, ils doivent être peints et mastiqués, afin de les rendre aussi étanches que possible. L'identification des circuits n'est pas exigée dans un premier temps : le besoin n'est pas impératif et les règles professionnelles ne sont pas établies.

Les circuits de dérivation sont posés dans une petite moulure à deux rainures qui est simplement vissée contre les cloisons : l'eau s'infiltrerait facilement derrière les moulures. Les fils plus fins ne sont pas étamés et après leur corrosion par l'eau, une poudre verdâtre conserve la forme du fil. Mauvaise conductrice, cette matière s'échauffe au passage du courant électrique, ce qui met le feu à la moulure en bois. Ce phénomène se produit avec un courant trop faible pour que les bouchons de sécurité du circuit [les fusibles] n'agissent. Parfois, la moulure de bois n'est que noircie et carbonisée.

L'auteur du rapport en tire trois préconisations : (1) d'avoir tous les fils étamés ; (2) d'avoir la meilleure isolation qui peut être obtenue sur le marché et (3) d'avoir les moulures, les lattes, et les luminaires aussi étanches qu'ils peuvent l'être. Ces dispositions seront un invariant de toutes les flottes, militaires ou non.

Le cahier des charges des conducteurs se formalise au fur et à mesure de la pratique. La structure des premiers câbles comprend une couche de fil de coton, puis du caoutchouc, puis d'une tresse de jute et enfin une gaine en plomb. *Ce dernier protège l'isolant des frottements, des attaques de la vermine et des effets nuisibles de la chaleur ou de l'eau.* Un constat s'impose : *au fil du temps l'eau salée pourrit le fil de coton ou le tressage de jute, le meilleur isolant semble être le caoutchouc.* Mais ce matériau est encore impropre car, *sans la gaine de plomb et sous l'effet alterné de l'air sec et de l'humidité, le caoutchouc se fend et se*

191 R. V. PICOU, *La distribution de l'électricité*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890, p. 73.

détache du cuivre. Les inconvénients du gainage en plomb sont bien identifiés : coût important, pureté nécessaire pour avoir un matériau souple, pose avec un rayon de courbure limité, difficulté de manipulation pour faire cheminer le câble. Malgré les réserves ci-dessus, un conduit électrique sous gaine plomb est réputé le mieux adapté aux navires militaires. Le critère du poids n'est pas mentionné, aspect non négligeable pourtant.

En 1894, le cours des ingénieurs du Génie Maritime¹⁹² aborde les risques d'incendie associés aux fils posés sous baguettes. Les résultats d'expériences sur un fil de cuivre d'une section de 1 mm² placé dans une plinthe en bois recouverte d'une plaquette sont sans appel: avec un courant de 40 A, le bois est chaud au toucher et la gutta-percha ramollit. Un court-circuit carbonise le bois avec une fumée abondante et la gutta-percha s'enflamme. Pour prévenir de tels échauffements, l'auteur recommande de ne pas dépasser le seuil de 2,5_A/mm². Il dimensionne le fusible à 5 A pour ce type de conducteur, mais il souligne que cette protection est inefficace pour des échauffements dus à des « *contacts mals établis* ». Il insiste sur le danger de jeter de l'eau sur des baguettes en bois déjà enflammées, car l'eau augmenterait la conductibilité du bois contribuant ainsi à l'incendie au lieu de l'éteindre.

En 1896, les réserves sur l'usage de la gutta-percha sont explicites¹⁹³ : « *Bien que la gutta-percha soit le meilleur des isolants, elle présente le grave défaut, pour les conducteurs qui ne sont pas constamment plongés dans l'eau, de devenir cassante et de s'effriter au moindre choc. ... Les conducteurs isolés à la gutta-percha doivent être impitoyablement proscrits d'une canalisation destinée à la lumière électrique...* ». L'isolement d'un câble est soit faible (inadapté dans les locaux humides), soit moyen (convient lorsque l'humidité et la chaleur ne sont pas excessives), soit fort (résiste parfaitement à une immersion complète). L'isolement moyen est obtenu par une ou deux couches de caoutchouc vulcanisé sur le cuivre étamé, puis un enroulement de un à deux rubans de toile caoutchoutée.

La protection mécanique des isolants est adaptée au contexte de pose. Le conducteur isolé peut être recouvert d'une armature en fer ou d'acier (feuillard ou fil tressé) ou quelque fois placé dans un conduit de fer, de plomb ou de cuivre.

192 Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime, Paris, Bernard et Cie, 1894b, p. 125.
193 Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1896, p. 286.

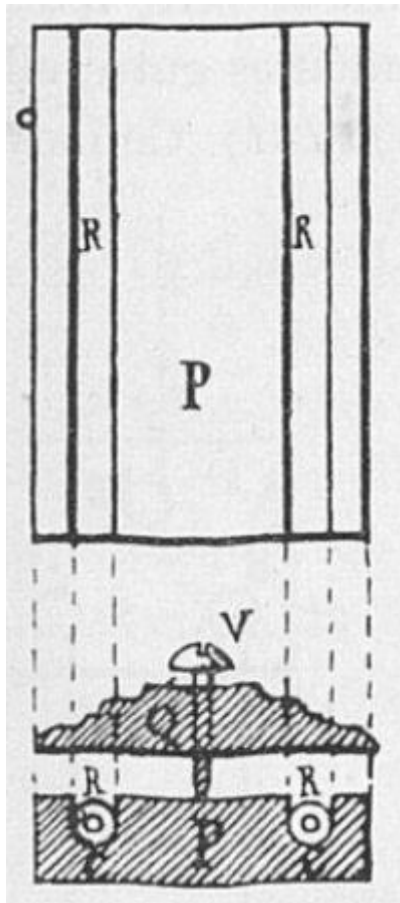


Illustration 54 : Baguette en bois

Source :Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 287.

Dans les locaux secs et peu exposés, les conducteurs isolés sont protégés sous des moulures en bois, appelées bois rainés. Ces moulures ne concernent que les installations intérieures. Il existe différents profils de moulures, pouvant accueillir jusqu'à cinq conducteurs isolés.

La rainure R de la moulure est adaptée à la section du conducteur C, la même moulure pouvant abriter des conducteurs de différentes sections.

Une planchette Q vient obturer la canalisation en bois P, la vis V fixant la planchette sur le socle. Le couvercle est orné de moulures, choix esthétique sans intérêt fonctionnel.

Ces canalisations en bois sont source de multiples difficultés. La pose en apparent sur les cloisons est relativement encombrante, surtout lorsque plusieurs canalisations empruntent le même cheminement. Les changements de direction à angle vif peuvent endommager l'isolant dans la rainure. La vis est parfois remplacée par un clou, et la fixation du couvercle peut blesser l'isolant. Les couvercles se fendillent.

Une protection complémentaire de peinture améliore la résistance à l'humidité et à la condensation des moulures, mais elle apporte un produit inflammable supplémentaire.

De l'autre côté de l'Atlantique, l'US Navy¹⁹⁴ avait adopté dans un second temps la pratique d'installer tous les câbles dans les conduits. Ces conduits rendaient délicates les interventions sur des défauts et des court-circuits. La mauvaise étanchéité des conduits était aussi en cause, ces derniers se remplissant d'eau avec la condensation. A partir de 1917, cette pose est remplacée par un câblage recouvert et blindé par une tresse en acier ou blindé seul. D'autre part, pour réaliser des traversées de cloisons étanches, il est plus facile faire des joints étanches sur des câbles que sur des conduits.

2.3.B.d. Le câble, sa protection contre les surintensités.

L'effet Joule chauffe un conducteur lorsque celui-ci est parcouru par un courant. Ce phénomène, simple dans son expression, s'avère complexe dans ses déclinaisons. Pour les canalisations réparties dans le navire, cette élévation de température est une contrainte et elle peut déclencher un incendie ou des émanations de gaz toxiques. L'appréciation de la limite tolérable est fluctuante, selon les auteurs et les expériences qui leur sont rapportées. Ainsi en

¹⁹⁴ McDOWELL, *Fundamentals of naval service - Electricity in the navy*, Philadelphia, J.B. LIPPINCOTT, 1917, p. 443.

1896, LEBLOND fixe 100°C¹⁹⁵ comme étant « *la température qui détruit à terme l'isolement du caoutchouc* ». En 1927, d'autres experts ramènent cette valeur à 75°C, mais le lien entre vieillissement et température reste flou.

LEBLOND préconise que l'échauffement des conducteurs doit être au plus de 15 à 20°C, mais « *à bord des navires, il ne faudra pas dépasser 10 à 12 °C* ». Afin d'éviter à ses lecteurs de fastidieux calculs avec nombre de paramètres, son ouvrage contient des tableaux à deux entrées. Connaissant la section du conducteur (par incréments de 5 mm²) et le courant transité (par plages de 10 ou 20 A), l'intersection de la ligne et de la colonne donne la chute de potentiel par km de câble et l'élévation de température. Cet abaque est indépendante des exigences de la Marine, à charge pour le lecteur de trouver dans le tableau une configuration des trois paramètres section / longueur / transit qui réponde aux attentes réglementaires exprimées en chute de tension (1 à 2 V selon que la canalisation est principale ou secondaire) et d'élévation maximum de température (12 °C). Une règle de trois permet de faire les interpolations nécessaires. L'exemple donné dans l'ouvrage aboutit à une densité de courant de 0,6 A/mm², valeur faible qui est cohérente avec une tension de génératrice de 80 V. Quelques subtilités de second ordre sont proposées, en particulier avec les dynamos à régulation hyper compound et la neutralisation partielle de la chute de tension.

Pour éviter la circulation involontaire d'un courant inadapté, les installations comprennent des brise-circuits, des coupe-circuits à fils fusibles. Les fils fusibles sont définis en premier lieu par leur diamètre et, suivant la longueur du fil fusible, l'intensité de fusion. Ce paramètre supplémentaire ne facilite pas la réalisation du coupe circuit. En effet, un fil fusible de 1 mm de diamètre fond à 28,4 A si sa longueur est de 2 cm mais il fond à 40 A pour une longueur de 1 cm. Enfin, le remplacement des fils fusibles qui n'ont pas fondu est recommandé car « *l'oxydation altère à la longue leurs contacts [dans le porte fusible]* »

La règle posée par LEBLOND en 1896 consiste à placer un fusible d'un ampérage double de celui des appareils alimentés par le câble. Une canalisation alimentant un équipement appelant 20 A reçoit un fusible de 40 A. Cette règle ne fait aucune référence à la section du conducteur, ni au type d'équipement raccordé : un moteur de treuil peut avoir des appels transitoires de puissance plus importants que des luminaires.

MINEL¹⁹⁶ retient une autre approche qui compose implicitement le respect de l'échauffement et la chute de tension à l'extrémité de la canalisation : il propose ainsi en 1904 « *d'adopter une intensité d'environ de 2 A/mm² de cuivre nu ... et de ne pas dépasser le chiffre de 3 A/mm²* ».

2.3.B.e. Le choix d'un câble bipolaire, une étape vers une exploitation efficiente

En 1899, les cours du Génie Maritime expliquent le choix du système de distribution en dérivation et l'alimentation sous potentiel constant : cette alimentation garantit l'indépendance mutuelle des divers appareils du bord. En clair, le fonctionnement d'un équipement n'influence pas le régime de service d'un autre matériel. L'utilisation de la coque comme conducteur de retour est rejetée aux motifs que la conductibilité de la coque, avec tous ses joints rivetés, est imparfaite et que les conséquences d'une dénudation fortuite d'un conducteur sont très dangereuses. De fait, l'économie du conducteur de retour est une vision à court terme qui aboutit à une installation rapidement inexploitable.

¹⁹⁵ Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1896, p. 297.

¹⁹⁶ P. MINEL, *Electricité appliquée à la marine*, Gauthier-Villars et fils, 1904, p. 166.

Dès 1880, la Marine retient donc le principe d'une distribution électrique avec des conducteurs à deux pôles isolés. L'illustration ci-dessous est un exemple de ce premier type de distribution, une seule génératrice fournissant l'énergie du navire à quatre ensembles de lampes réparties sur trois circuits principaux et un circuit secondaire. Cette représentation évoque une arborescence, le circuit secondaire étant une ramification d'un circuit principal. L'analogie appartient au vocabulaire du métier d'électricien, elle a traversé le temps long de l'histoire sans altération. Cette figure est une représentation fonctionnelle à visée multiple :

- elle donne à comprendre l'arborescence et indique la grappe qui est rattachée à la ramification S1,
- elle indique une codification et des repères pour le nom des branches,
- elle détaille la nature des trois commutateurs C1, C2 et C3 qui sont des interrupteurs unipolaires placés sur le conducteur A (Aller ?) , probablement positif
- la plaque R (Retour ?) reçoit les trois conducteurs négatifs des circuits S1, S2 et S3.

Ce dessin permet simplement de comprendre l'effet de la manœuvre des commutateurs. Par contre, il n'y a aucune indication de section des différents conducteurs, ni de fusibles.

Ce schéma n'identifie pas le cloisonnement du bord (AV et AR, Bd et Td) et ne renseigne pas sur les différents locaux concernés par l'éclairage. Il s'agit d'une représentation fonctionnelle à visée pédagogique et non pas d'un plan d'exécution pour un chantier naval. Les règles de codification du dessin technique sont quasi-inexistantes et chacun procède selon ses habitudes.

On peut observer sur le schéma que les connexions entre conducteurs sont identifiées avec la lettre d comme dérivation. Le sens électrique est trivial, néanmoins dans la réalisation concrète, le vocabulaire désigne cette connexion sous le terme de greffe. S'agissant d'une arborescence du réseau, on peut y voir une certaine continuité culturelle entre la vision fonctionnelle du bureau d'étude et la bifurcation physique des câbles dans le navire. Mais il est aussi possible de comparer la pratique de la torsion des fils par l'ouvrier avec la ligature effectuée par l'arboriculteur entre le greffon et le porte-greffe.

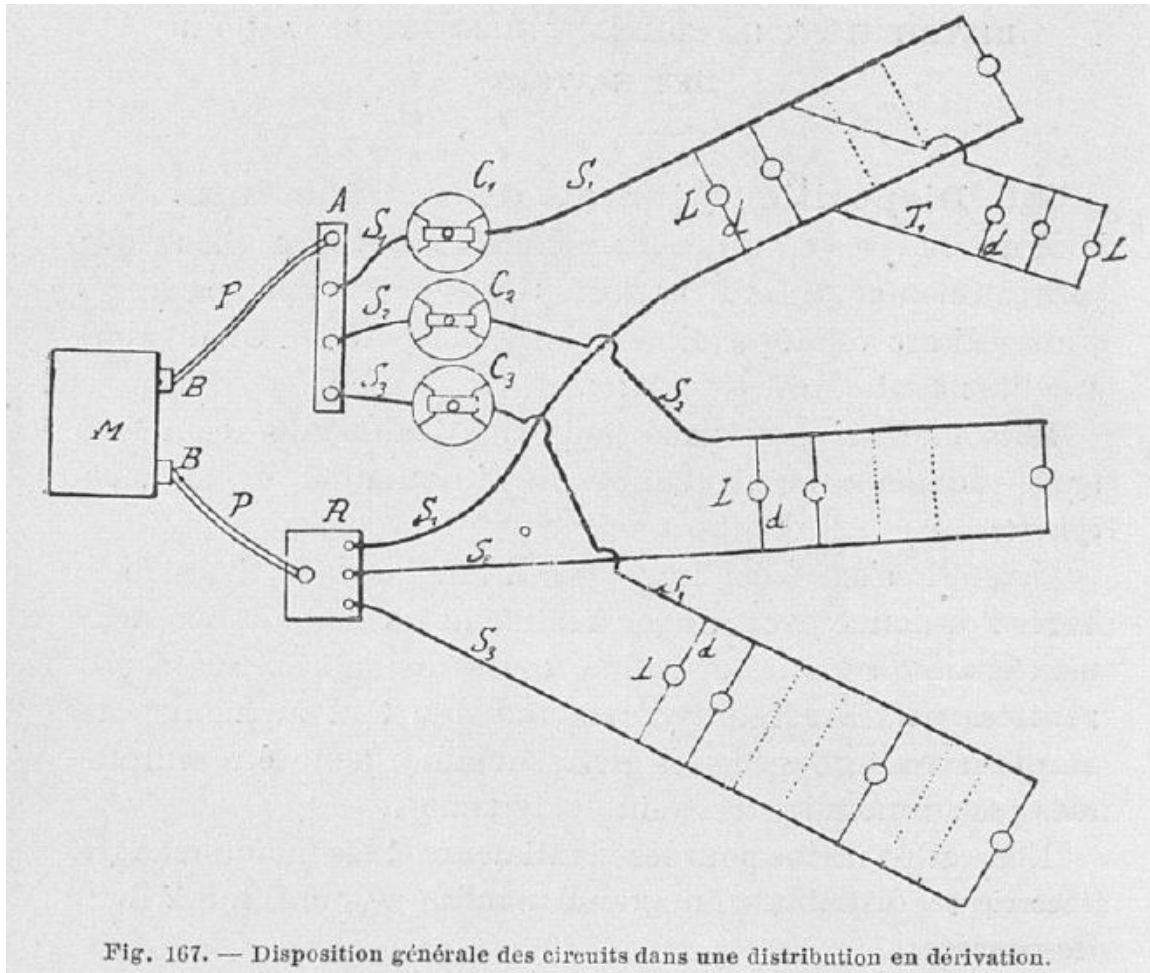


Illustration 55 : Distribution en arborescence

Source : Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1899, p. 334.

Si le schéma ci-dessus n'utilise pas la coque métallique comme circuit de retour, il ne comporte pas pour autant d'interrupteur bipolaire. Tout panne négative va être difficile à localiser puisque l'ensemble des conducteurs négatifs est en connexion permanente. La recherche d'un tel défaut est longue, elle demande de nombreux démontages et des arrêts d'appareils. Avec une telle installation, il est certain que les marin-électriciens préfèrent être confrontés à une panne positive plutôt qu'à une panne négative. Ceci explique l'humour propre au métier tel qu'on peut le découvrir sur la carte postale introductive du chapitre 3.

2.3.B.f. La pose de câble, un geste qui participe à l'architecture technique

La pose des canalisations consiste à extraire d'un rouleau de câble fabriqué en usine une longueur correspondant à la configuration rencontrée. Dans certaines situations, l'ouvrier raccorde des tronçons de câble entre eux afin de s'adapter à une difficulté de chantier ou pour utiliser la totalité du rouleau et éviter ainsi les chutes inutiles de câble. Cette pratique est tout à fait admise et elle est même enseignée afin que les règles de l'art soient bien partagées dans le métier.

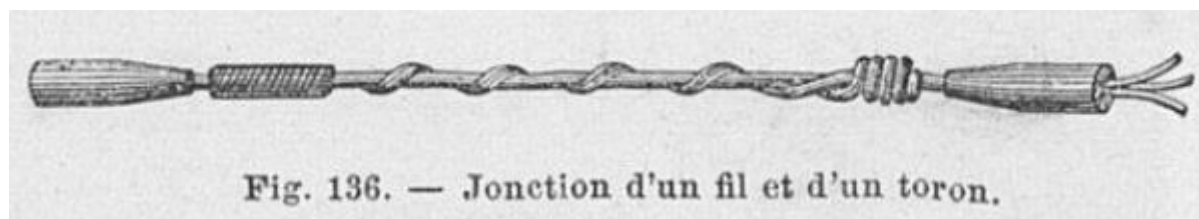


Illustration 56 : Epissure et règles de l'art

Source : Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 290.

Pour des électriciens marins, la pratique des épissures est culturelle. Dans le cas des jonctions électriques, la qualité du contact électrique l'emporte sur la robustesse mécanique. L'illustration ci-dessus décrit la connexion entre deux canalisations de nature et de sections différentes, ce qui interroge sur le choix de la protection contre les surintensités. Cette jonction avec une réduction de section du conducteur est encore dans la filiation conceptuelle du câble conique. Pour finaliser ce geste technique, l'ouvrier électricien isole l'ensemble à l'aide de chatterton chaud liquide, d'une bandelette de caoutchouc vulcanisé, d'une bande de toile caoutchoutée, puis recouvre l'ensemble de chatterton. La réalisation de cette jonction est chronophage et présente des risques d'imperfection.

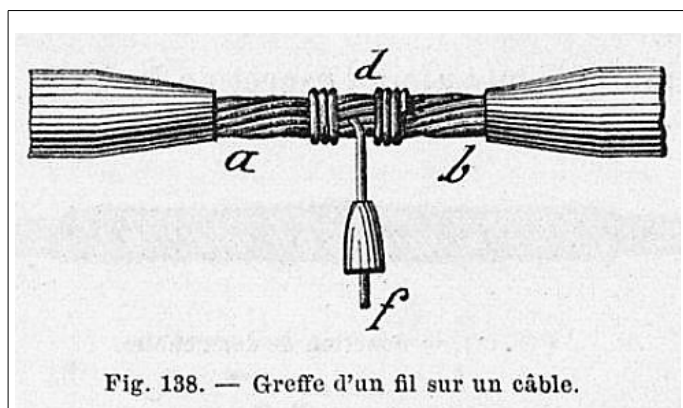


Illustration 57 : Greffe de fil sur un câble

Source : Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 292.

Dans certaines configurations, l'alimentation d'un appareil est réalisée en raccordant un fil de petite section sur une canalisation principale, ici avec sept fils toronnés.

Il n'y a pas d'interruption mécanique de la canalisation principale.

La technique d'imbrication des fils est très soignée et l'isolation finale se fait comme précédemment.

L'emploi du terme « greffe » est du registre agricole, ce qui s'entend bien car la structure de ce type de système de distribution est souvent qualifiée d'arborescente. Certains auteurs parlent aussi de « suture » pour ce type de branchement. Le serrage des fils reste un savoir-faire de l'ouvrier, mais la qualité de son travail ne peut pas résister aux dégradations

dans la durée. En effet, le cuivre est un matériau mou qui se déforme et ne garde pas d'élasticité : les contacts électriques se détériorent inévitablement.

La pratique des jonctions reste longtemps référencée et enseignée : en 1918, le Manuel du Marin électricien¹⁹⁷ consacre sept paragraphes sur deux pages aux jonctions et à l'art de la greffe. La description des gestes a laissé la place à l'inventaire des conditions nécessaires pour réaliser une intervention correcte. Le travail est réalisé par un électricien et son aide qui utilisent les outils suivants : pince plate, pince coupante, lime fine, lime grosse, lime demi ronde, étai à griffes, étain, résine, fer à souder et fourneau à charbon de bois. Un tel travail n'est pas compatible avec des conditions de mer formée ou une situation d'avarie au combat. En 1921, les particularités¹⁹⁸ d'une jonction de conducteurs à sept fils sont expliquées. L'électricité artisanale doit céder le pas à une électricité plus industrialisée, sans pour autant renoncer à ses précieux tours de main, gage de son adaptabilité en toute circonstance. Faire avec les moyens du bord reste un des fondamentaux du métier et de son savoir-faire dans la gestion du système technique.

A terme, les boîtes de jonction vont se substituer à ces avatars du matelotage et de l'arboriculture. Les connexions ne seront plus artisanales, mais fondées sur des dispositifs aux dimensions calibrées et ajustées. Après le premier conflit mondial, ces boîtes apportent un contact électrique par serrage mécanique d'écrou, une étanchéité par joint et donc un meilleur isolement.

Dès 1907, l'US Navy référence des boîtes de jonctions pour raccorder directement des câbles qui ne sont pas protégés par des conduits métalliques. Des joints coniques assurent l'étanchéité du passage des câbles dans le dispositif. A l'intérieur de ce dernier, des dominos en porcelaine connectent les conducteurs. Une peinture isolante à base de mica recouvre l'intérieur de la boîte de jonction.



FIG. 37.—Feeder junction box for molding.

Illustration 58 : Boîte de jonction

Source : Julius MARTIN, *op. cit.*, 1907, p. 112.

Progressivement, cette technologie mécanique s'impose aux électriciens et dès la construction d'un navire, les boîtes contiennent des emplacements vides en vue des évolutions ultérieures. En 1931, l'instruction technique N° II.VII.C des Constructions Navales formalise ce type d'exigence parmi d'autres : les boîtes de jonction sont devenues la règle, les jonctions volantes seront désormais les exceptions à la règle.

¹⁹⁷ Manuel du marin électricien - EDITION PROVISOIRE, 1918, p. 104.

¹⁹⁸ Manuel du matelot électricien -PREMIERE EDITION, France, Marine Nationale, 1921a, p. 84.

2.3.C. Le tableau électrique : de répartition ou de distribution ?

Cette question peut apparaître au premier abord comme purement formelle, les mots répartition et distribution étant quasiment des synonymes. Il est nécessaire de poser sans plus attendre une convention sur le sens qui sera attribué à ces deux termes dans la présentation à suivre. En effet, face à la profusion des tableaux électriques dans les navires, l'approche par les finalités fonctionnelles est un moyen d'échapper à un inventaire technique d'objets et d'entrer dans une histoire de la technique par le sens et l'usage. La signification de ces deux termes a d'ailleurs évolué durant le temps long, sur les années 1880 à 1935 d'une part, et sur la période contemporaine d'autre part. Selon que l'on soit statisticien, commerçant ou électricien, notre compréhension première de ces mots s'accompagne d'une connotation professionnelle inévitable. Il convient donc d'accepter la polysémie des termes pour essayer d'en comprendre le sens symbolique partagé par les électriciens en contexte.

Tout d'abord, un tableau électrique est une plaque où plusieurs câbles aboutissent et sur laquelle des connexions s'établissent de manière transitoire par des dispositifs de manœuvre. Dit autrement, un tableau électrique est le lieu où le câblage du système gagne des degrés de liberté sans recourir à des outils de montage ou de démontage. L'électricien manœuvre les équipements du tableau et il exploite ainsi le système technique pour en optimiser l'efficacité structurelle. Lorsque les ressources des manœuvres sont épuisées, l'électricien intervient alors sur le câblage du système avec un outillage pour faire ou défaire des connexions fixes : il modifie l'ossature du réseau.

Après ces préambules, nous pouvons convenir qu'un tableau de répartition est une plaque qui raccorde des génératrices au système. De même, un tableau de distribution est une plaque qui raccorde des appareils récepteurs et leurs canalisations au système. L'énergie produite est en premier lieu répartie afin d'être transportée pour être distribuée au plus près des usages finaux. Les tableaux appartiennent au module central du schéma du système présenté dans l'introduction.

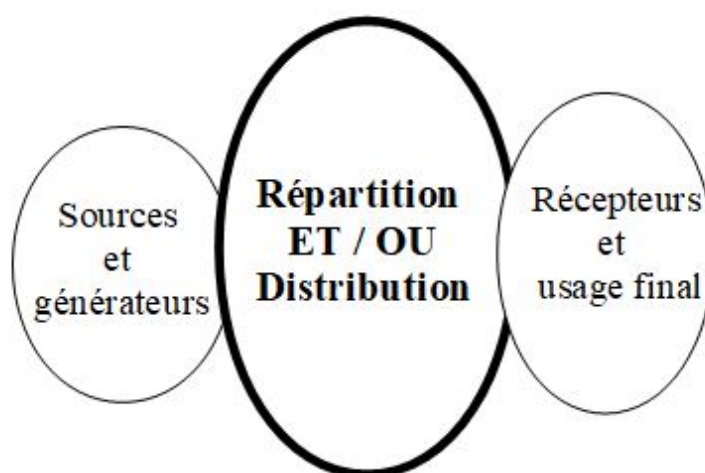


Illustration 59 : Schéma des fonctionnalités de Répartition et de Distribution

Selon la taille du système, un seul tableau peut intégrer toutes les fonctionnalités de répartition et de distribution : c'est le cas des navires modestes équipés d'une seule génératrice et de quelques appareils. *A contrario*, un bâtiment de 15 000 Tx embarque un

système très sophistiqué avec plusieurs tableaux de répartition pour ses quatre génératrices et de nombreux tableaux de distribution principaux et secondaires. Certains tableaux secondaires peuvent être dédiés à un usage unique, l'éclairage d'un secteur ou une tourelle d'artillerie, par exemple.

Ces deux conventions seront notre outil de navigation dans les multiples tableaux qui sont installés dans les flottes entre 1880 et 1935. Sur cette période, pour deux cuirassés comparables en tonnage, toutes choses égales par ailleurs, la puissance des génératrices passe de 10 à 2040¹⁹⁹ kW : la structure du réseau du dernier navire est devenue plus complexe car l'effet de taille est incontournable. Mais le facteur clé de cette complexité croissante est l'expression de nouvelles exigences fonctionnelles, plus affinées et plus subtiles. Les exemples de tableaux ci-dessous sont une grille de lecture et un décryptage des principaux incréments de la période. Ces exemples ne recouvrent pas la diversité des réalisations mais ils sont porteurs d'options d'architecture du système, options qui seront ou non pérennes. Ces évolutions forment un processus cumulatif, imprévisible dans son déroulé, avec parfois des culs de sac, mais c'est un mouvement qui, sur le temps long, livre une configuration stabilisée.

¹⁹⁹ Il s'agit du SMS König, lancé en 1914 (source : MABER, John. *Electrical supply in warships, a brief history*. MoD, 1980, Table II)

2.3.C.a. Configuration d'un tableau type de la période initiale 1880 /1885.

Le cuirassé garde côte *Caïman* est lancé en 1883. Ce navire de 85 m de long déplace 7640 Tx et son artillerie principale comprend deux tourelles. Le tableau est établi sur le même principe que celui de *l'Indomptable*, tableau déjà présenté dans les pages précédentes.

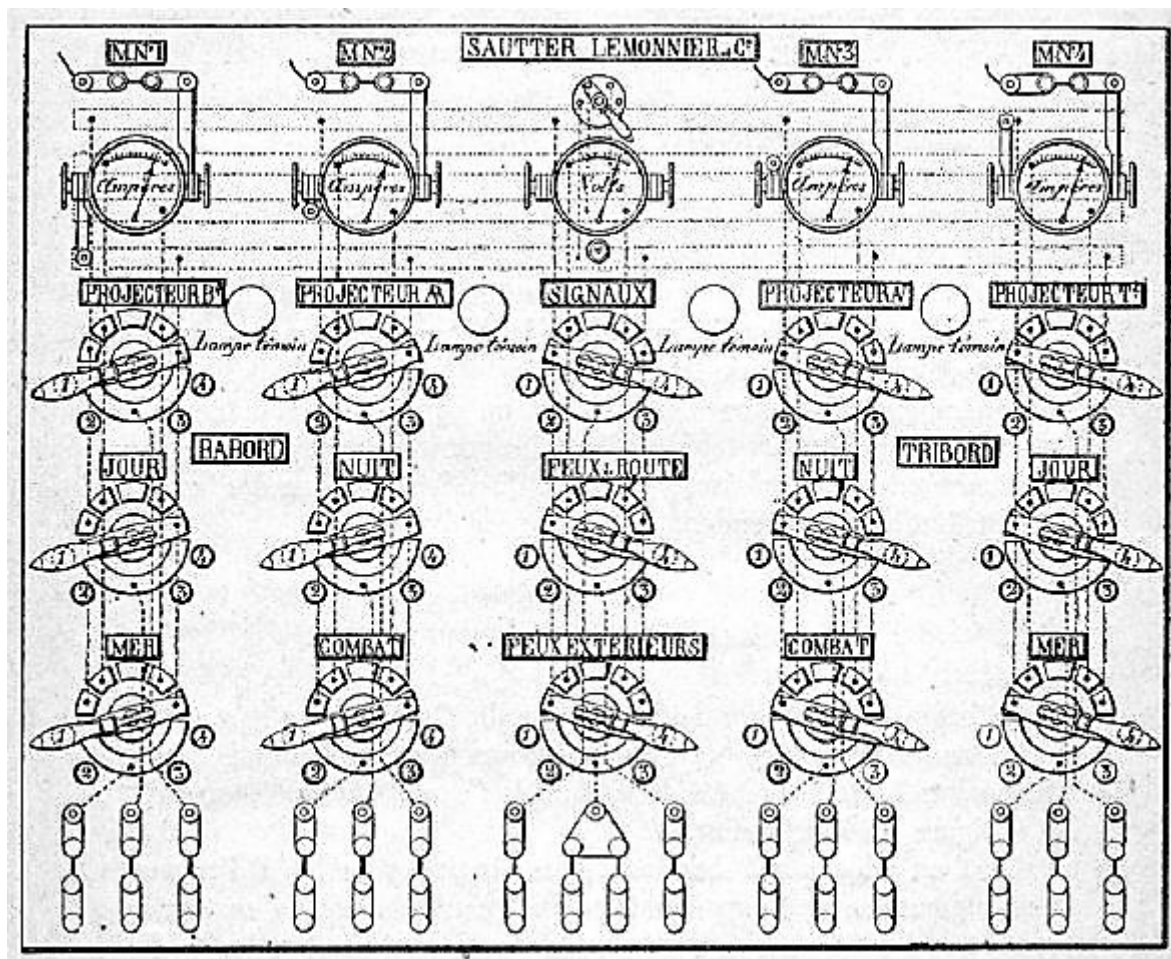
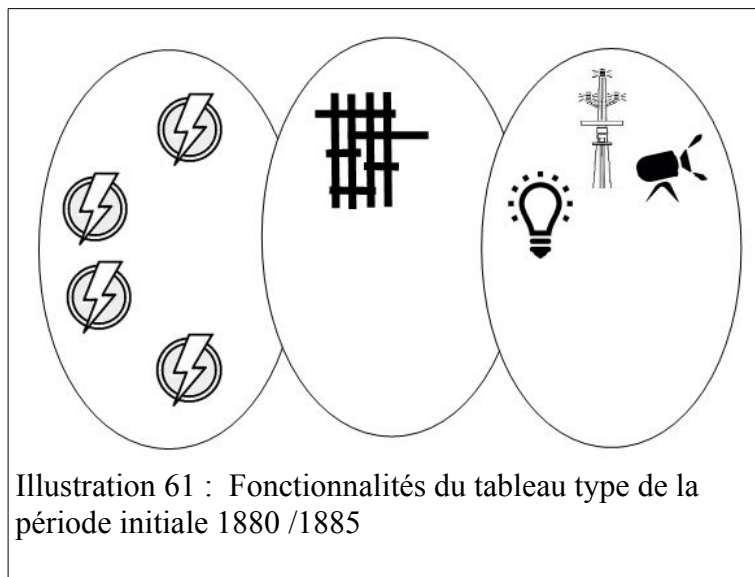


Illustration 60 : Tableau type de la période initiale 1880 /1885

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 20.

Le *Caïman* est équipé par la Maison SAUTTER, LEMONNIER & CIE. Nœud central du système, ce tableau est le moyen de contrôle des génératrices grâce aux appareils intégrés en partie haute du panneau : un ampèremètre équipe en dur chaque dynamo et le voltmètre est orientable à volonté sur une des génératrices. Ces instruments de contrôle de la production électrique sont des fonctionnalités que l'on retrouve souvent sur les tableaux de répartition, car ces mesures sont nécessaires à l'optimisation du parc des génératrices.



Tous les différents circuits aboutissent à un tableau unique, dit de distribution.

Les quatre dynamos sont raccordées directement au tableau. Les 15 départs sont connectés à des commutateurs à cinq positions : un plot de repos et quatre plots pour chacune des dynamos.

La mise en parallèle des dynamos n'est pas prévue.

Les usages se limitent aux feux auxiliaires, aux quatre projecteurs et à l'éclairage intérieur. Le tableau comporte 15 commutateurs unipolaires qui alimentent des canalisations principales munies d'un fusible.

Chacun des quatre projecteurs peut être raccordés sur une dynamo, schéma d'alimentation similaire aux premiers équipements des projecteurs monophotes.

Huit commutateurs assurent la commande centralisée de l'éclairage intérieur. Ces commutateurs contrôlent la mise en service des huit canalisations principales avec une parfaite symétrie spatiale : quatre pour bâbord et quatre pour tribord. Le canevas fonctionnel des circuits retient une trame complémentaire : Jour / Nuit / Mer / Combat. *In fine*, toutes les lampes sont ensuite « greffées » soit directement sur la canalisation, soit par l'intermédiaire de conducteurs secondaires. Point majeur pour la sûreté de l'éclairage des locaux clés, certains compartiments possèdent des lampes qui sont prises sur un circuit, d'autres sur un second circuit et même sur un troisième. Ainsi, l'arrêt inopiné d'une génératrice ou une avarie d'un câble ne devrait pas plonger dans l'obscurité ce compartiment.

Toutefois, cette redondance pêche par l'unicité du conducteur de retour, car lorsque plusieurs circuits aboutissent dans un même compartiment, ils suivent le même chemin et le retour se fait alors par un conducteur commun.

2.3.C.b. Configuration d'un tableau type 1890

Le croiseur cuirassé *Dupuy-de-Lôme* est lancé en 1890. Ce navire de 114 m de long déplace 6400 Tx et son artillerie principale comprend entre autres deux canons de 194 mm.

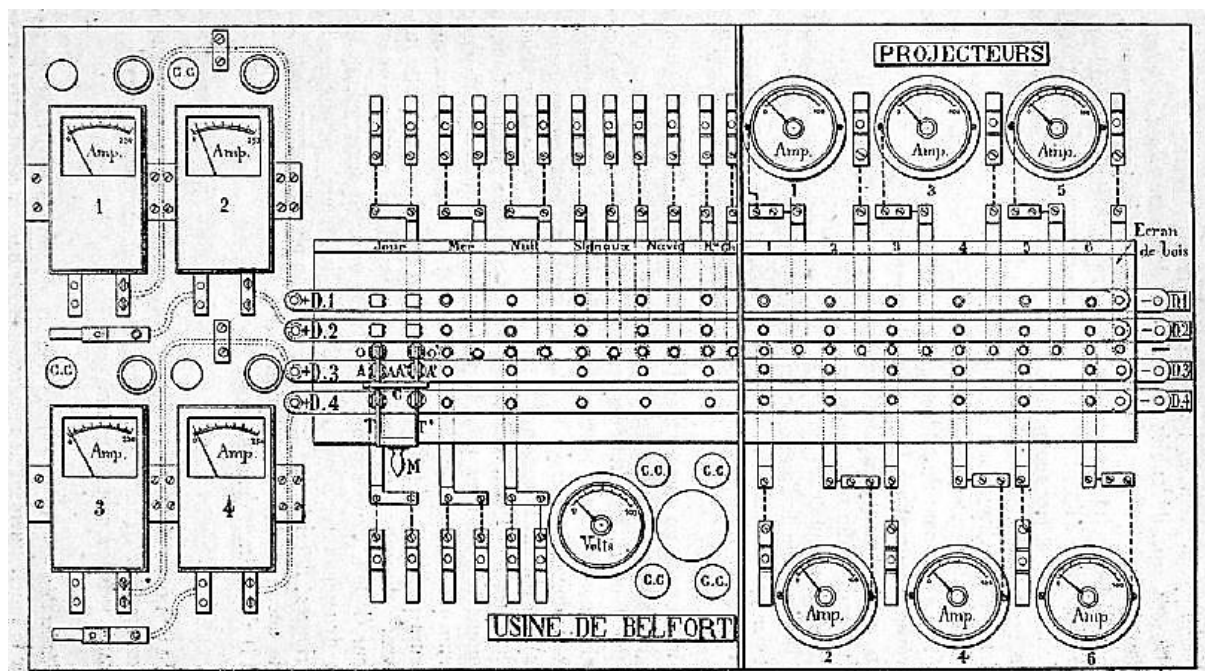


Illustration 62 : Tableau type 1890

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 23.

Le *Dupuy-de-Lôme* est équipé par l'USINE DE BELFORT. Les commutateurs sont à curseurs mobiles, dans une logique matricielle de positionnement assez similaire à celle du tableau de la Royal Navy – modèle de PORTSMOUTH.

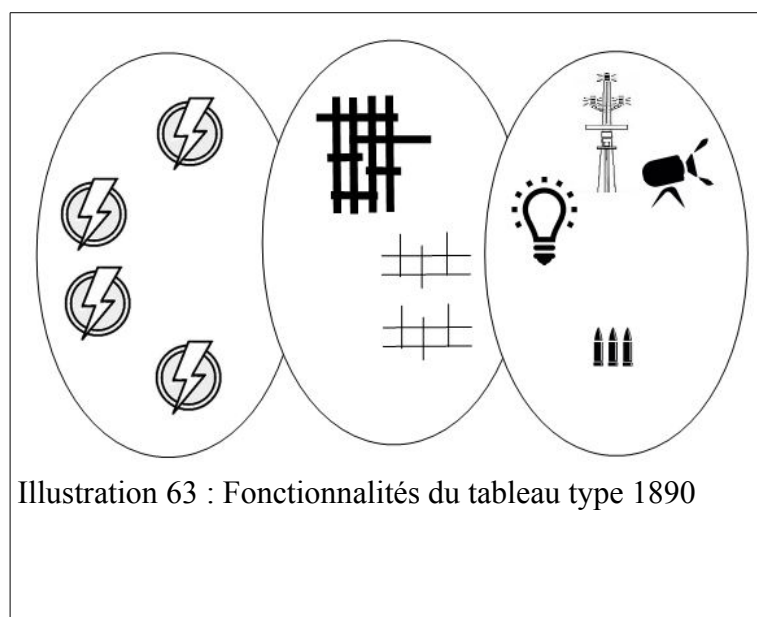


Illustration 63 : Fonctionnalités du tableau type 1890

Tous les différents circuits aboutissent à un tableau unique, dit de distribution. Les quatre dynamos sont placées dans deux locaux distincts.

Les 12 départs reçoivent l'énergie par des commutateurs à quatre positions pour chacune des dynamos.

Le réseau est complété par des tableaux secondaires.

La mise en parallèle des dynamos n'est pas prévue.

Par rapport à l'année 1883 et aux tableaux du *Caïman* ou de *l'Indomptable*, le système électrique de ce bâtiment intègre plusieurs évolutions :

- les dynamos sont réparties en deux groupes distincts afin de se prémunir d'une avarie majeure, toujours possible dans un local partagé (tir ennemi, rupture d'une conduite de vapeur, ...)
- tous les commutateurs sont bipolaires, les matériels n'ont pas de connexions électriques fixes sur le pôle négatif, les défauts d'isolement sont ainsi localisés plus efficacement.
- les usages s'amplifient, avec deux monte-charges pour les munitions.
- les circuits de signaux et navigation se limitent à deux au lieu de trois précédemment.
- l'éclairage intérieur est desservi par trois commutateurs Jour / Mer / Nuit avec dédoublement en canalisations principales bâbord et tribord en sortie du tableau. Ces câbles aboutissent à l'avant et à l'arrière dans quatre tableaux secondaires Jour / Mer sous le pont cuirassé et dans quatre tableaux secondaires Nuit sur le pont cuirassé.
- l'unique tableau de distribution reçoit des appareils de mesure qui renseignent l'électricien sur l'état de charge du matériel. Chaque dynamo a un ampèremètre, et chacun des six départs de projecteurs possède aussi son ampèremètre. Un voltmètre est orientable à volonté sur une des génératrices.

L'existence de deux locaux dynamos séparés et les fonctionnalités de ce tableau central améliorent la fiabilité générale. Concernant l'éclairage, il est maintenant possible de fractionner le système grâce à trois départs principaux et huit tableaux secondaires.

Néanmoins, l'unicité du tableau de distribution reste un talon d'Achille.

Une tentative est faite avec le cuirassé *Marceau* en 1887 d'aller plus loin dans le doublement du système en créant deux tableaux de distributions identiques, l'un à l'avant avec deux dynamos, l'autre à l'arrière avec les deux autres dynamos. L'objectif était de pouvoir se servir de l'un ou l'autre des tableaux pour alimenter un appareil quelconque avec n'importe quelle génératrice. Cela nécessite des liaisons entre les deux tableaux, source d'une grande complexité et d'un risque important de manœuvres inadaptées. En particulier, la mise en parallèle involontaires de dynamos amène des avaries. Ce doublement à l'identique de tableau est abandonné rapidement.

2.3.C.c. Configuration d'un tableau de répartition et des tableaux de distribution.

Le croiseur protégé *D'Assas* est lancé en 1896. Ce navire de 96 m de long déplace 3900 Tx et son artillerie principale comprend entre autres six canons de 164 mm.

Le *D'Assas* est équipé par la Maison BRÉGUET qui fournit le tableau principal de Répartition et les deux tableaux secondaires de distribution dédiés aux Projecteurs et à l'éclairage par Incandescence. Ce code de lettres (**R P I**) est repris dans le schéma ci-dessous.

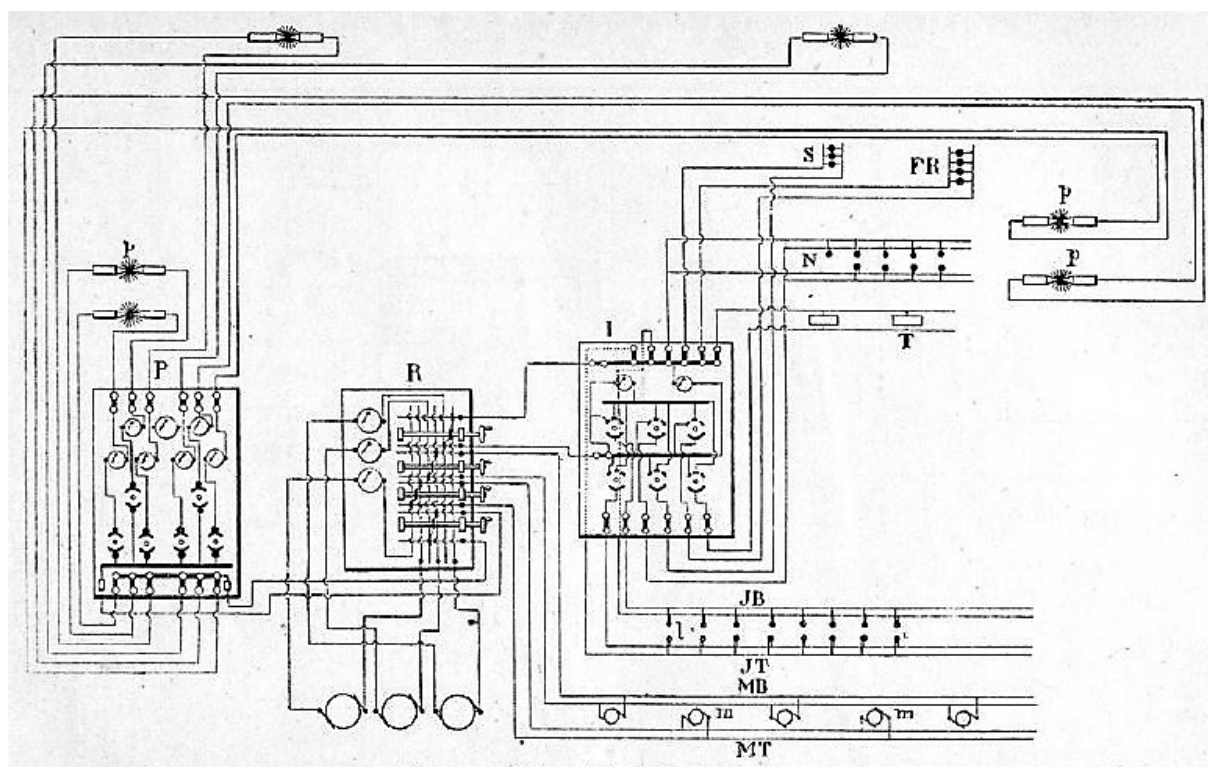


Illustration 64 : Tableau de répartition et plusieurs tableaux de distribution

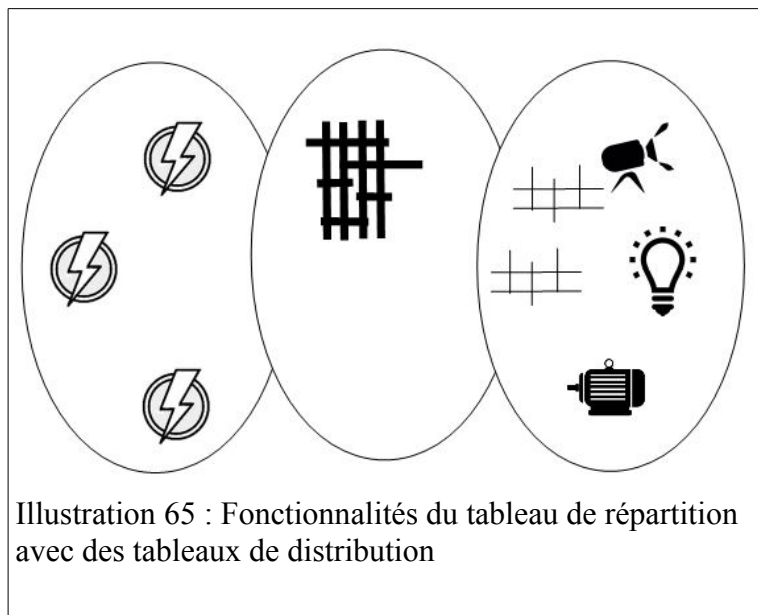
Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 37.

Cette dissociation des fonctions entre plusieurs tableaux a plusieurs causes, toutes imbriquées. Les appareils deviennent plus variés et plus nombreux, l'arrivée massive des monte-charges et des ventilateurs en est un exemple. Leur commande sur un seul panneau exigerait une place importante, il est dès lors plus facile de morceler ce tableau dans le navire. En effet, le regroupement d'appareils répondant au même besoin simplifie l'exploitation car leurs caractéristiques sont proches. Ainsi l'appareillage se spécialise pour mieux répondre aux particularités des charges. Les arcs produits par les interrupteurs des projecteurs sont parfois violents, ce qui impose de renforcer les contacts du matériel et donc la taille du tableau pour l'adapter à ces équipements.

Focalisé sur les trois génératrices, le tableau de répartition suit leur production à l'aide de trois ampèremètres. Les circuits principaux bipolaires alimentent directement les moteurs et les deux tableaux de distribution. Près des soutes, des commutateurs bipolaires commandent le sens de manœuvre des monte-charges. Les six treuils à escarbilles sont « greffés » sur ces circuits moteurs. Pour faciliter l'utilisation des treuils sur le pont, un éclairage extérieur du gaillard d'avant est rajouté sur le circuit des moteurs.

Le tableau d'éclairage par incandescence commande l'éclairage proprement dit et des fonctions rattachées : les feux de navigation, les signaux et les transmetteurs d'ordres. Cet usage, bien qu'extrêmement sensible, n'est plus un consommateur prépondérant qui justifierait un tableau particulier. La règle de l'alimentation par les deux bords, Tribord et Bâbord, est acquise pour l'éclairage. D'autre part, l'éclairage intérieur ne connaît plus que deux régimes, Jour et Nuit. Cet affinage des besoins simplifie les tableaux. Le commutateur des circuits est à trois positions, ce qui permet de mesurer à la demande l'intensité dans un circuit.

Le tableau des projecteurs comprend six ampèremètres (un par projecteur) et un voltmètre. Les interrupteurs sont conçus pour résister aux arcs de coupures, ce matériel n'est plus interchangeable avec celui d'autres tableaux.



Les génératrices aboutissent au tableau répartition qui ainsi peut gérer l'équilibre du système.

Les départs vers les tableaux de distribution se font par des commutateurs bipolaires.

Les tableaux de distribution sont dédiés à une fonction : projecteur et incandescence. Des appareils de mesure confortent les manœuvres.

La mise en parallèle des dynamos n'est pas prévue.

La structure du système devient plus lisible car les fonctions principales sont regroupées dans des tableaux dédiés. Toutefois, ce découpage strict connaît des entorses, tel l'éclairage des treuils sur le gaillard avant.

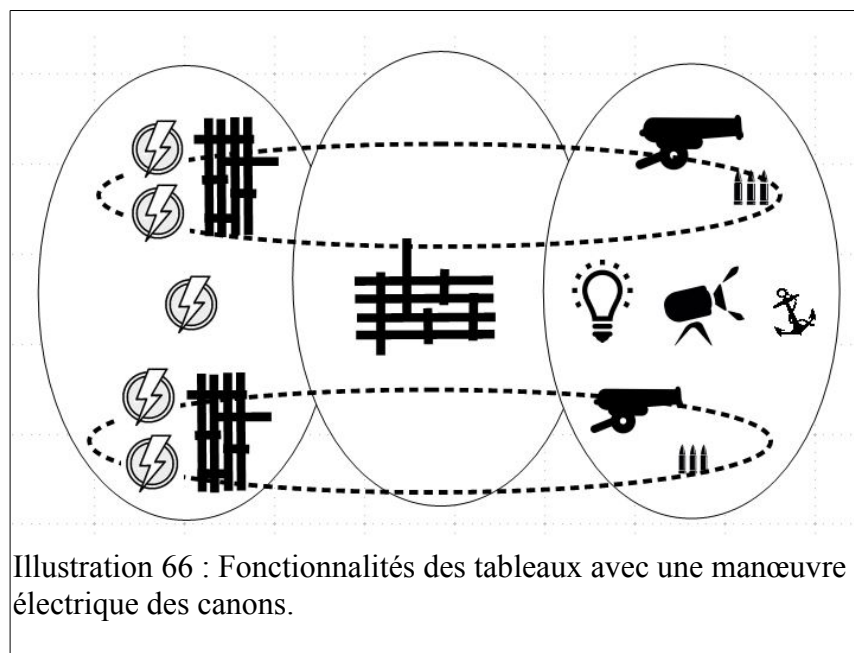
Le nombre croissant d'usage oblige à décentraliser les tableaux dans le navire à la fois pour simplifier les commandes et pour améliorer le service rendu. Les tableaux de distribution se multiplient en se spécialisant par usage. A la différence des interventions sur des tableaux secondaires de la configuration précédente, les manœuvres dans les tableaux de distribution se font à l'aide d'appareils de mesure : la décentralisation des commandes est accompagnée des moyens pour contrôler son action sur le système.

2.3.C.d. Configuration des tableaux en présence de manœuvre électrique des canons.

Le cuirassé d'escadre *Jauréguiberry* est lancé en 1893. C'est un navire long de 112 m et d'un déplacement de 11 800 Tx. Ce navire est conçu dans ce qu'il est convenu d'appeler la flotte d'échantillons, ultime étape de recherche qui précède l'arrivée de navires dotés d'une puissante artillerie uniforme en calibre, type Dreadnought de la Royal Navy. L'artillerie principale du *Jauréguiberry* comprend entre autre deux canons de 305 mm : la masse d'un canon est de 45 Tonnes et chaque obus pèse environ 300 kg. Sur ce cuirassé, l'assistance des moteurs électriques est requise pour l'orientation des tourelles et pour les monte-charges.

Cette phase d'adaptation incrémentale est l'occasion d'une importante créativité technologique pour le pointage de l'artillerie, plus particulièrement pour ses aspects électrotechniques. En effet, le service de la grosse artillerie exige une très grande puissance, mais pendant une ou deux heures seulement, suivies en temps normal d'un repos de plusieurs jours. Ce besoin intense est ponctuel, alors que les besoins d'éclairage du bord sont modérés et permanents. Une réponse adaptée consiste à séparer ces deux services en régime normal tout en autorisant en mode dégradé un secours mutuel très restreint.

Les installations hors artillerie sont réalisées sans évolution particulière. Par contre, les génératrices dédiées à l'artillerie sont regroupées par paires, un groupe à l'avant AV et un groupe à l'arrière AR. Chaque groupe de deux génératrices est entraîné par un seul moteur à vapeur de type horizontal. Ces dynamos sont décrites en annexe et dans le chapitre consacré à l'apport de l'électricité pour l'artillerie navale.



Ce schéma montre les sous-systèmes dédiés à l'artillerie à côté du système classique.

En pratique, les sous-systèmes peuvent se connecter entre eux dans un mode dégradé.

Cette imbrication entre sous-systèmes n'est pas une option technologique pérenne, elle annonce un saut technologique.

Le système électrique du cuirassé est représenté de manière simplifiée en faisant ressortir les sous-systèmes dédiés à l'artillerie. Chaque sous-ensemble est lui-même enchevêtré, les caractéristiques des moteurs étant le miroir des possibilités des génératrices. Et, spécificité ultime, les tableaux électriques de l'artillerie sont adaptés aux câblages et aux manœuvres de ces matériels.

Le standard des dynamos en 80 Volts plafonne les performances du système pour l'artillerie. Face au besoin de disposer de fortes puissances pour assurer le mouvement rapide des tourelles, les industriels proposent de contourner cet écueil selon une alternative :

- raccorder deux dynamos unitaires en tension et obtenir $80+80=160$ Volts, mais le recours au 160 Volts ne concerne que les moteurs de tourelles.
- rester en 80 Volts en couplant ces dynamos en parallèle en grâce à une régulation adaptée.

La configuration du système électrique du **Jauréguiberry** refuse le couplage en parallèle des dynamos. De fait, cela conduit à de multiples sous-systèmes îlotés sans redondance, mais aussi sans mode commun. Le parc de production comprend les quatre dynamos de l'artillerie et les quatre dynamos du service général, l'économie globale de moyens n'est pas le facteur prépondérant de l'ingénierie.

Ce tableau de répartition gère la configuration du groupe électrogène et des deux dynamos associées.

Les connexions entre des génératrices sont modifiables avec des outils. Les deux commutateurs du tableau sont à quatre positions. Leur manœuvre permet d'alimenter trois départs distincts d'artillerie, l'un en 160V et les deux autres en 80 V.

En cas d'avarie d'une dynamo, il est possible d'alimenter tous les récepteurs en 80 V, soit d'une dynamo locale, soit en provenance de l'autre groupe électrogène.

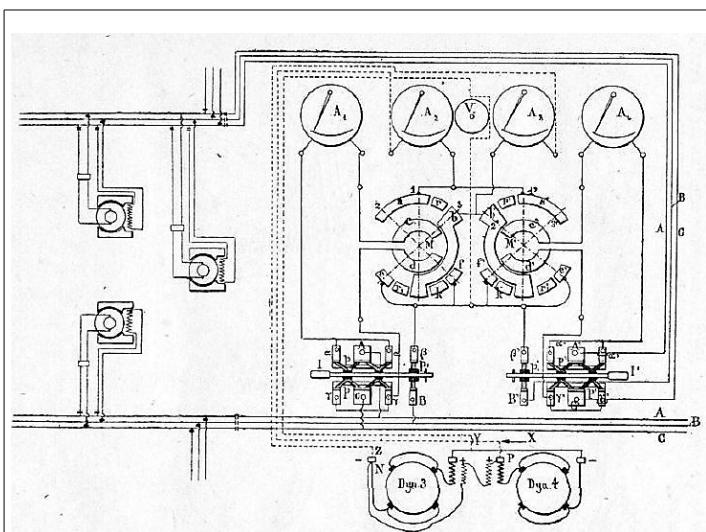


Illustration 67 : Tableau de répartition pour l'artillerie du **Jauréguiberry**

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 86.

Enfin, comme la raison d'être d'un navire est le service d'artillerie, les groupes électrogènes s'assurent mutuellement un secours : l'artillerie AV peut être alimentée par le groupe électrogène AR et réciproquement. Des verrouillages électromagnétiques empêchent des couplages entre AV et AR, au prix d'une complexité de relaying. Les liaisons AV / AR cheminent sur Tribord et Bâbord.

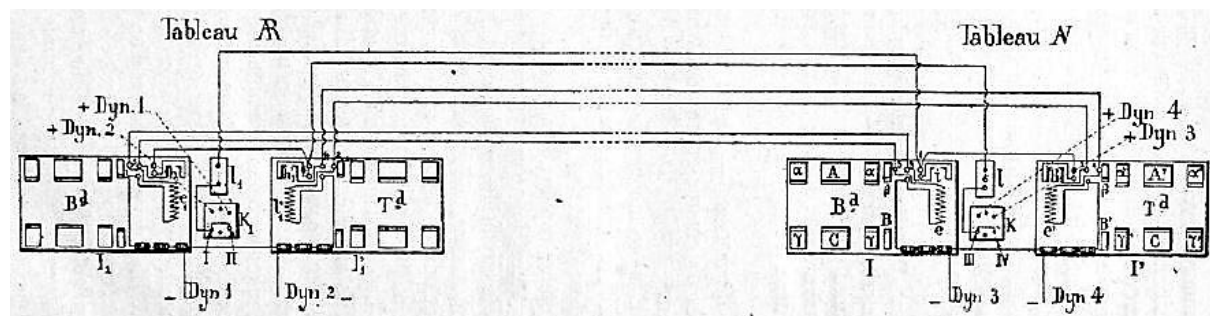


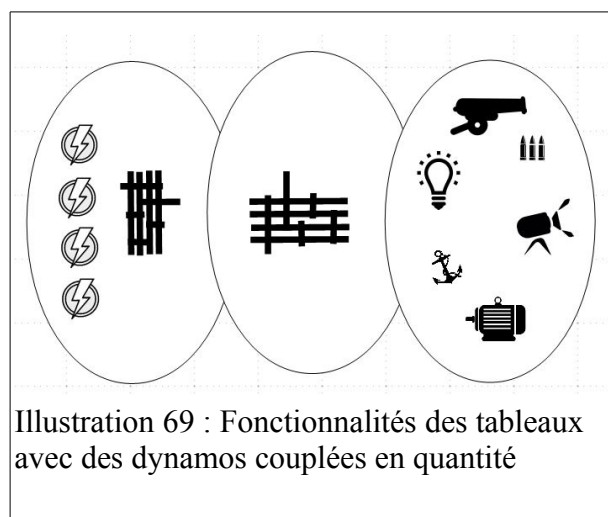
Illustration 68 : Sécurité reliant les tableaux de répartition du Jauréguiberry

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 89.

2.3.C.e. Configuration des tableaux avec un parc de dynamos couplées en quantité.

L'exploitation des groupes électrogènes du *Jauréguiberry* s'avère complexe du fait du double fonctionnement d'appareils en 80 ou 160 V. Le suivi de l'isolement des canalisations à trois fils est difficile. Enfin, la séparation complète entre les systèmes d'éclairage et d'artillerie impose un nombre important de dynamos, chaque sous système ayant ses propres génératrices de rechange. Une approche nouvelle consiste à opter pour un mode de distribution simple, uniforme pour tous les services en couplant les dynamos en quantité. Il s'agit de mettre en parallèle un nombre variable de génératrices suivant les besoins de puissance, sans distinction du genre d'appareils alimentés. Tous les appareils sont donc au même voltage.

Le cuirassé *Bouvet* est contemporain au *Jauréguiberry*. Lancé en 1895, ce navire de 122 m de long déplace 12 200 Tx. Les artilleries principales de ces deux bâtiments sont comparables, l'écart entre leurs architectures électriques est un choix qui n'est pas contraint par la classe du cuirassé.



Le cuirassé *Bouvet* reçoit un système conçu selon ce principe : le couplage en quantité des dynamos s'effectue sur un unique tableau de répartition qui alimente ensuite un réseau de câbles et de tableaux sur lequel les récepteurs sont raccordés.

Cette centralisation des opérations de couplage limite le nombre et la dispersion des automatismes.

La fiabilité du système repose en partie sur l'architecture du réseau de distribution.

Les quatre dynamos indépendantes sont connectées à l'unique tableau de répartition. Chaque dynamo est entraînée par un moteur à vapeur et leurs parties électriques sont indépendantes : une avarie sur une dynamo n'affecte pas une autre dynamo. Cette affirmation est à moduler, car les quatre génératrices sont implantées en partie centrale du navire, groupées deux par deux et séparées par une cloison étanche. Le tableau de répartition est dans un local connexe indépendant.

La proximité géographique des quatre machines facilite les opérations d'exploitation. Les dynamos ont une excitation du mode compound avec une faible correction en série et une part prépondérante en dérivation : cela autorise un ajustement des tensions, critère impératif pour la mise en parallèle. Le tableau de répartition est de fourniture SAUTTER HARLÉ, sa présentation est particulièrement lisible. En partie centrale, les quatre dynamos ont un appareillage parfaitement symétrique, les dynamos des numéros impairs étant sur tribord, les numéros pairs étant sur bâbord.

Les organes de coupure de chaque dynamo sont bipolaires et une dynamo se raccorde au réseau par deux interrupteurs en série, F sur le pôle Positif et G sur le pôle Négatif. L'interrupteur F comprend un mécanisme à ressort et un électroaimant différentiel dont la

disposition empêche la fermeture des contacts si la tension aux bornes n'est pas proche de zéro : cet interrupteur est un automatisme de couplage. L'interrupteur G est un dispositif qui sépare la dynamo du réseau si cette dernière ne produit plus assez de puissance ou se comporte en récepteur. Cette protection électromécanique est un disjoncteur automatique à retour de puissance. Une connexion des inducteurs complète le dispositif. Lorsque les génératrices couplées débitent chacune 400 Ampères, le couplage d'une dynamo supplémentaire peut être nécessaire.

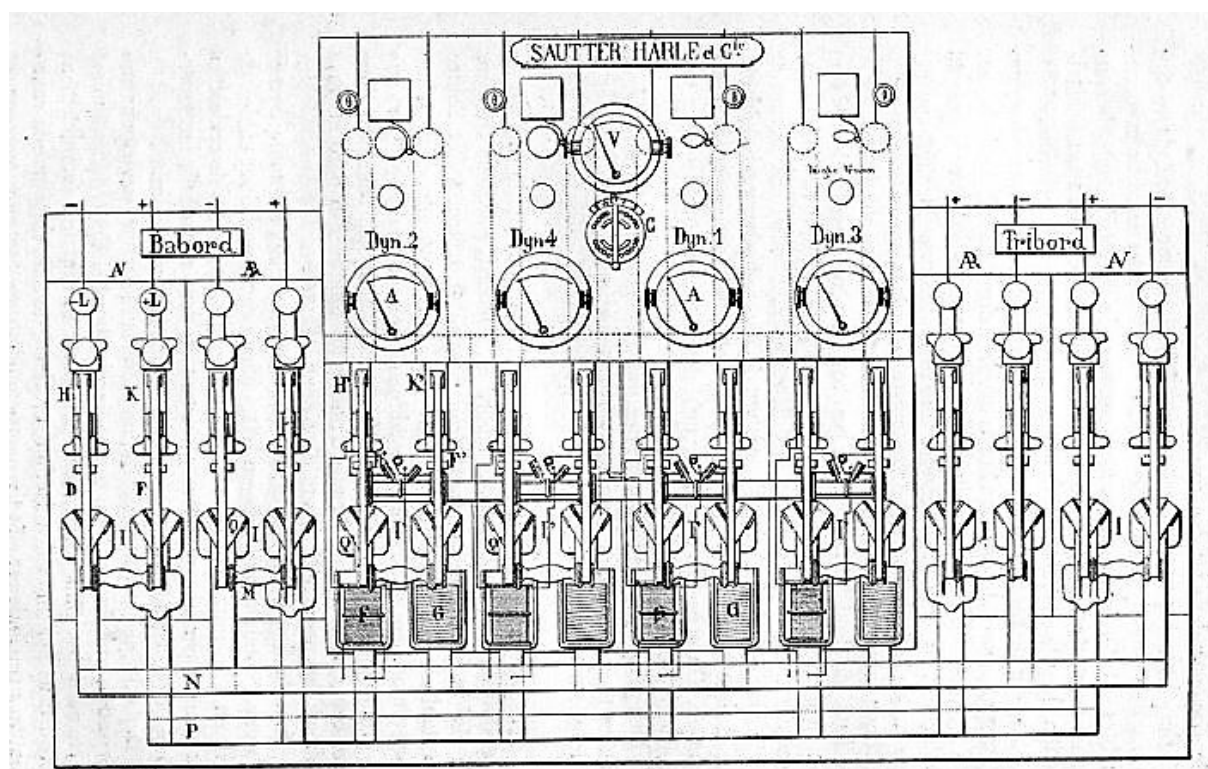


Illustration 70 : Tableau de répartition du **Bouvet**

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 103.

L'énergie disponible sur les barres horizontales N et P alimente les quatre départs principaux du bord, parfaitement symétriques : Tribord AV et AR, Bâbord AV et AR. Ces quatre canalisations principales constituent la colonne vertébrale du squelette qui répartit le courant à bord. L'appareillage de chaque départ comprend deux interrupteurs monopolaires.

Les canalisations sont réalisées avec deux câbles armés de 326 ou 156 mm² de section, selon la destination AR ou AV. Ces canalisations aboutissent les unes au tableau extrême de l'AV, les autres au tableau extrême de l'AR : on peut donc considérer que la canalisation principale forme un circuit unique à Tribord et à Bâbord, longeant le bâtiment d'un bout à l'autre. Néanmoins, ce circuit unique reste exploité en quatre tronçons séparés, sans connexion permanente aux extrémités.

S'appuyant sur cette « colonne vertébrale », dans chaque tranche verticale, une dérivation est prise sur les câbles principaux. Cette dérivation est une « greffe » avec reconstitution de l'isolant du câble par vulcanisation, l'objectif étant que la canalisation principale reste étanche sur toute sa longueur. Chaque dérivation aboutit à un coupe-circuit étanche, puis à un tableau secondaire. Dans une même tranche, une canalisation de traverse permet la connexion entre les deux tableaux secondaires de la tranche. Les 18 tableaux secondaires sont équipés de commutateurs bipolaires à deux directions afin d'être alimentés

soit sur la canalisation principale tribord ou sur la canalisation principale bâbord. Issus des tableaux secondaires, 16 tableaux tertiaires finalisent cette distribution à l'architecture arborescente.

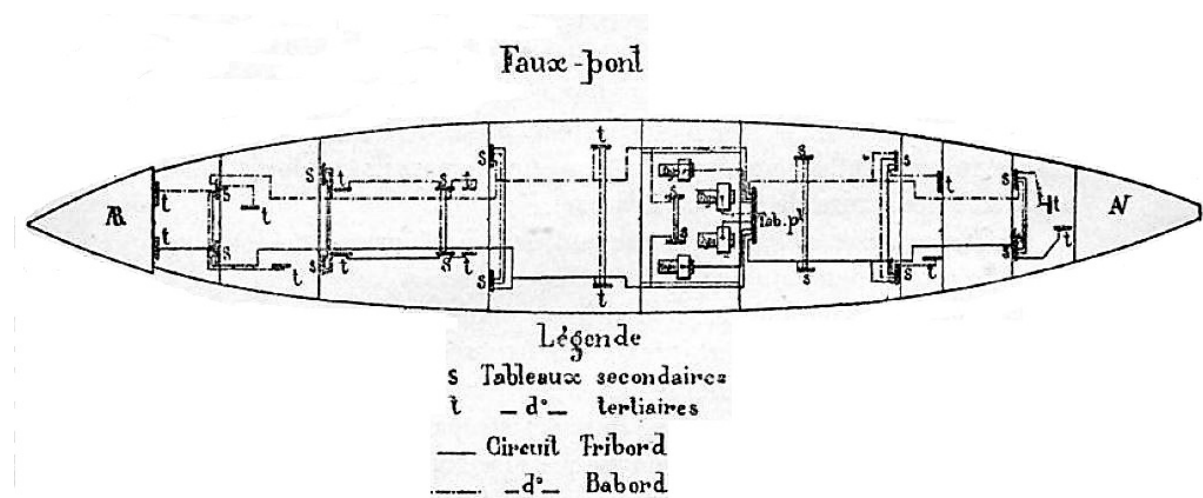


Illustration 71 : Tableaux de distribution du **Bouvet**

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 105.

Ce système technique marque un palier dans la conception imbriquée de ces trois composants :

- les génératrices sont optimisées en nombre et elles constituent un groupe électro-générateur aux performances fiabilisées. Le niveau d'automatisation assiste les marins sans amener une complexité inadaptée aux situations d'avarie.
- la distribution de l'énergie est lisible, calquée sur la structure du bâtiment et sur la nécessité de maintenir les fonctionnalités vitales après la perte d'un compartiment. La parfaite symétrie du réseau en sécurise l'exploitation. La commutation entre bords se fait sans coupure, qualité de service essentielle pour certains appareils tel que le gyrocompas ultérieurement.
- les usages ont accès à une source électrique fiabilisée par les dispositions précédentes. Selon le cas, les équipements électriques sont doublés ou non. Ainsi, les pompes d'assèchement qui contribuent à la lutte contre l'incendie sont multiples. Par contre, certains équipement de confort et d'habitabilité ne bénéficient pas d'une redondance.

L'architecture de ce palier présente toutefois quelques faiblesses, la localisation des génératrices dans un même compartiment, fut-il séparé par une cloison étanche, et le tableau de répartition unique. Un autre mode commun concerne l'unicité de la source d'énergie primaire, la vapeur. Cette fragilité a participé au naufrage de navires²⁰⁰ qui, ayant perdu leur production de vapeur, n'avaient plus d'énergie pour combattre un incendie ou une voie d'eau. Un groupe électrogène diesel est mis en œuvre sur les navires ultérieurs, tel l'*Emile BERTIN*.

Enfin, cette architecture centralisée est parfaitement compatible avec des génératrices à courant alternatif : elle en facilitera l'accès.

²⁰⁰ Ce sera le cas du *HMS Royal Oak*, coulé en 1939 par une torpille alors qu'il était au mouillage à Scapa Flow.

2.3.C.f. Configuration en boucle - type Royal Navy en 1907.

Outre Manche, les pratiques diffèrent ou présentent un décalage temporel. Concernant le fonctionnement en parallèle de dynamos, l'Amirauté²⁰¹ attend 1904 pour installer des tableaux permettant ce type de couplage. Les électriciens sont formés à ces gestes spécifiques dans le site d'instruction du *H.M.S Vernon*. Le tableau britannique est fonctionnellement similaire à l'équipement français, il comprend trois dispositifs par machine : un pour coupler la machine, un pour la protéger des retours de puissance et un pour égaliser les tensions entre machines.

Alors que sur le continent le réseau électrique est conçu avec une vision arborescente, le réseau britannique se distingue par une structure en boucle ou en anneau (« ring »). La Royal Navy lance en 1907 le croiseur cuirassé *HMS Invincible*, long de 171 m et déplaçant 17500 Tx. Ce navire est le premier à recevoir un système de distribution principal en boucle. Afin de permettre une augmentation de la puissance installée, son réseau est alimenté en courant continu sous 230 Volts.

Le système est basé sur des générateurs shunt qui alimentent un ensemble de barres omnibus situé à une extrémité de la boucle du circuit principal. Cette canalisation en boucle fait le tour du navire, de l'AV à l'AR en passant sur Tribord et Bâbord. Les circuits de dérivation sont raccordés sur la boucle par l'intermédiaire de disjoncteurs de dérivation à commande électrique situés dans le même compartiment étanche que les récepteurs concernés. Le réseau bouclé principal et les commandes des circuits de dérivation sont étanches permettant ainsi le fonctionnement même en cas de submersion partielle du système. Les disjoncteurs de dérivation sont également étanches et les connexions au réseau bouclé principal sont faites dans des boîtes de jonction surmoulées.

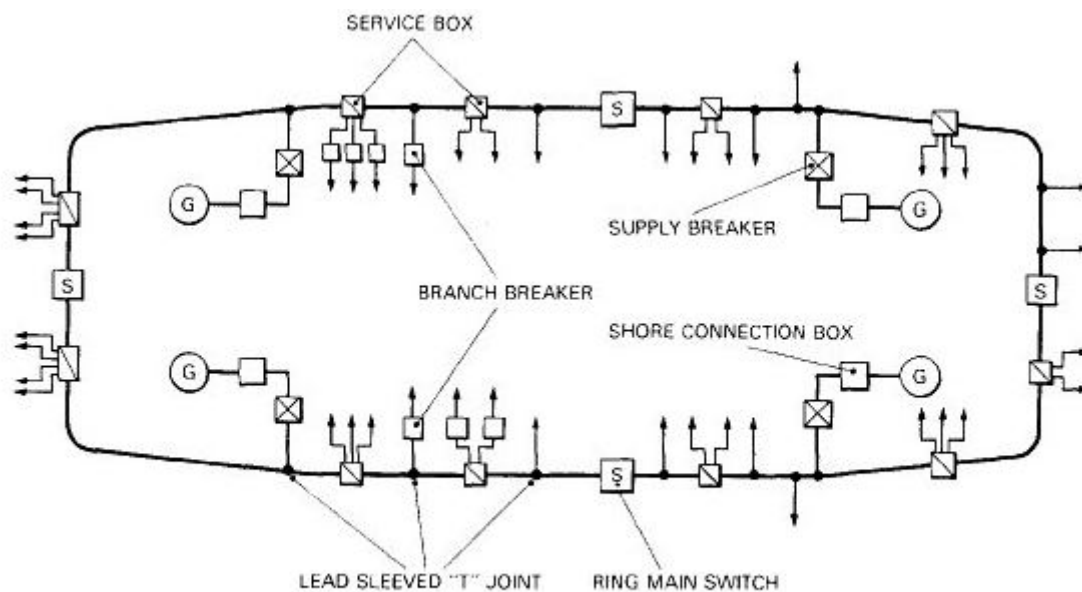


FIG. 6—RING MAIN SYSTEM—H.M.S. 'ORION' 1912

Illustration 72 : Exemple d'un système en boucle de la Royal Navy

Source : John MABER, *op. cit.*, 1980, p. 11.

²⁰¹ *op. cit.*, 1907a, p. 152.

Les disjoncteurs d'alimentation et les disjoncteurs de dérivation sont commandés à partir du tableau principal. Divisé en sections par des boîtes étanches, le réseau bouclé principal peut être sectionné : cependant, l'intervention sur les boîtes de sectionnement est une opération longue qui ne peut être entreprise que lors d'une maintenance, mais pas lors d'une situation de combat.

Cette forme élémentaire de réseau bouclé augmente sensiblement l'intégrité du système de distribution, puisque chaque départ de distribution est raccordé à l'alimentation des barres omnibus dans les deux directions. Cette configuration, typiquement britannique²⁰², fait école sur les autres navires de la Royal Navy. Elle est interdite dans la flotte française, eu égard à la complexité des protections qui doivent être bi directionnelles.

²⁰² Les installations intérieures des habitations britanniques ont toujours cette particularité, d'où l'existence d'interrupteur et de fusible sur les socles des prises murales de courant

2.3.D. Le niveau de tension et la taille des navires

Après quelques expérimentations, la Marine opte dans un premier temps pour une tension de 70 Volts sur les navires. Les lampes à arc n'ont besoin que de 43 Volts pour fonctionner, toute tension supérieure entraîne la mise en série d'une résistance, source de déperdition inutile d'énergie : alors que les capacités des génératrices sont très limitées, cet argument plaide pour conserver des tensions basses, proche de 60 Volts. En 1890²⁰³, la tension de 80 Volts est réglementée pour l'alimentation des projecteurs, cette disposition est similaire à celle retenue dans la plupart des autres marines. Mais cette valeur relativement basse limite la distance entre la génératrice et un moteur de grande puissance, même si un conducteur de forte section relie les deux équipements éloignés.

L'instruction de l'Inspection générale du génie maritime, en date du 10 avril 1895, sur l'établissement des installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie à bord des bâtiments, confirme le standard de 80 Volts en acceptant en contrepartie des câbles de fortes sections. De fait, la génératrice de référence débite 400 A sous 80 Volts, soit 32 kW : les navires importants sont pourvus de trois à quatre dynamos de ce type qui, dans certains cas, peuvent être « pôles à pôles associées en quantité ». Cette association en quantité de génératrices à courant continu diffère la décision de passage à un palier de tension supérieure, de 125 Volts ou plus.

Face à une augmentation des usages dans une installation électrique étendue, la production d'énergie peut :

- rester en tension basse sous la condition de proximité pour éviter les chutes de potentiel dans la distribution. L'association en quantité de dynamos assure un volume de production.
- être centralisée avec une machine puissante et avoir un niveau supérieur de tension. Les chutes de potentiel dans le réseau du bord sont acceptables.

Mais la production n'est pas le facteur prépondérant au choix de la valeur de tension dans l'installation d'un navire : la décision découle d'un arbitrage entre plusieurs facteurs du système, pris dans sa globalité. Certains composants, tels que les projecteurs, sont moins énergivores à des tensions de 60 V. *A contrario*, les puissants moteurs de tourelles fonctionnent mieux sous 250 V. D'autre part, pour un réseau de distribution existant à longueur et section des conducteurs inchangées, lorsque l'on double la tension d'exploitation, la dissipation d'énergie perdue par ce réseau est divisée par quatre. En terme pragmatique, c'est autant d'échauffements évités mais aussi une moindre consommation de vapeur et donc de charbon prélevé dans les soutes.

Le niveau de tension est aussi un facteur de risque pour tous les marins et plus particulièrement pour les marins électriciens qui travaillent dans des locaux où des conducteurs non isolés sont sous tension. La protection de cette population très exposée se fonde sur des accidents, des expériences et des avis d'expert.

203 Edouard AUBUSSON, *Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime*, Paris, Librairie Maritime, 1899, p. 353.

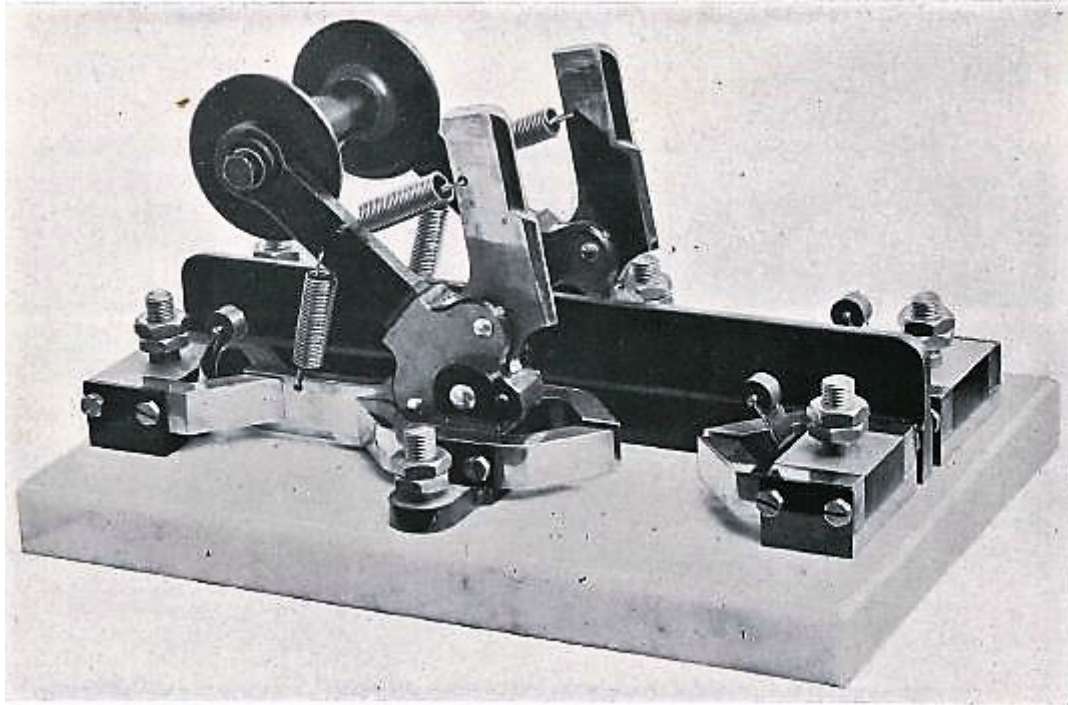


Illustration 73 : Interrupteur à couteaux

Source : SHD Châtelleraut, Catalogue du matériel électrique à bord, Cote 929 51 277., Paris, Marine Nationale, 1905, p. 34

En 1904, dans un long article de quatre pages²⁰⁴, un électricien spécialiste des installations industrielles rédige une synthèse bibliographique du sujet et compare les diverses approches existantes afin d'éviter les dangers d'une électrocution. Cet article révèle en creux l'état des connaissances sur ce phénomène laissé en friche : la fée électricité répand ses bienfaits dans les pays occidentaux, mais la face cachée de ses risques reste mal maîtrisée : la prévention des incendies électriques et des électrocutions est à bâtir. En ce qui concerne les chocs électriques, il n'y a pas de consensus international sur les seuils létaux, chaque expert ayant son point de vue. C'est dans ce cadre pour le moins encore flou que les risques spécifiques à bord peuvent être compris et appréciés.

L'auteur de l'article cerne tout d'abord l'état des connaissances sur les effets biologiques du courant et de la tension. Alors que l'action physiologique du courant reste en débat, la question de la valeur numérique de l'intensité dangereuse trouve un consensus entre 25 et 30 mA. Les experts ont procédé à des expériences sur des volontaires, tant aux USA qu'en Europe. L'article ne fait aucune allusion à l'emploi du courant alternatif pour les exécutions capitales aux USA dès 1889. M. MONMERQUÉ, l'expert français du contrôle électrique²⁰⁵, observe que la résistance du corps humain est deux à quatre fois plus grande en courant continu qu'en courant alternatif. Des mesures sont opérées avec des mains humides, sous diverses tensions. Plusieurs hypothèses d'avarie de matériel sont examinées et les méthodes d'études de différents pays sur ces questions sont rapprochées. Le cas des électriciens est analysé finement. L'auteur conclut que le courant continu présente moins de risques que le courant alternatif, en particulier jusqu'à la tension de 125 Volts.

204 Victor KRAMMBRER, *Danger du courant électrique et moyens de les éviter*, Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°4, 1904, p. 51.

205 MONMERQUE, *Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité*, 2e édition., Paris, C. Bérange, 1904, p. 492.

Faute de rendre les parties actives de ces matériels inaccessibles, une autre disposition consiste à protéger l'électricien avec des équipements isolants. Le cas des pantoufles est abordé dans un chapitre suivant. Le port de gants constitués de matériau isolant est parfois recommandé dans les installations industrielles, afin de réduire les risques de contacts involontaires. Les gants de travail ont des qualités très variables et le Laboratoire Central d'Electricité mène une étude comparative²⁰⁶ en 1901. Seuls deux modèles de gants sur les six testés offrent une relative protection. A tel point que le Président de la Société internationale des électriciens est d'avis d'« *en proscrire complètement l'emploi [plutôt que] de leur accorder la moindre confiance au contact des conducteurs dangereux* ». Ces dispositions ne sont pas mures, l'efficacité de la protection étant incertaine. En 1894, la Marine ne prévoit pas de gants isolants dans la liste du matériel d'armement du Service Electrique, le niveau de tension et l'efficacité douteuse de ce type de matériel ne le justifiant pas à l'époque.

Le choix d'une tension élevée dans un univers humide sollicite plus les isolants et accroît donc la dégradation de l'isolation du circuit avec des risques pour le personnel et pour le matériel. Des dispositions sont prises dès la conception pour obtenir une isolation satisfaisante, mais leur efficacité se dégrade avec le temps. La surveillance des « fuites à la terre » est un moyen de prévenir la détérioration des isolants. Ce vocabulaire terrestre peine à être remplacé par sa version marine :« perte à la coque ». En effet, dans le cas d'un système à deux conducteurs isolés, tout défaut d'un isolant se traduit par un courant de fuite à la coque qui peut être parfois observé par un simple dispositif basé sur deux lampes à incandescence.

L'US Navy généralise le matériel ci-dessous à tous ses navires en construction dès 1889.

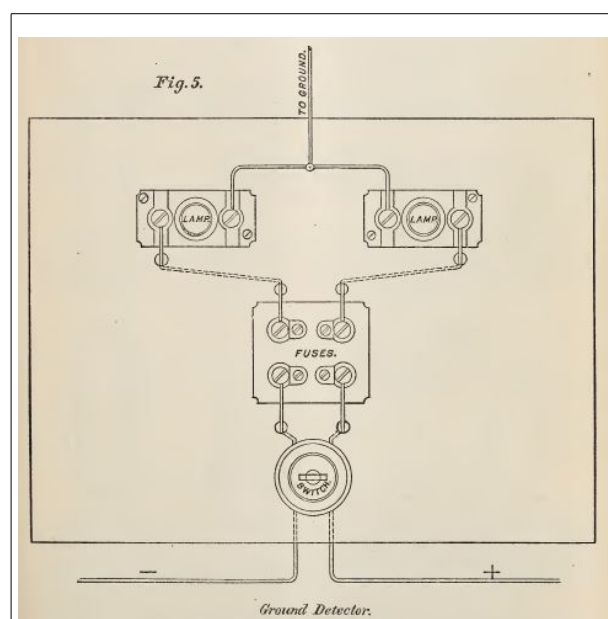


Illustration 74 : Détecteur de pertes

Source : Naval mobilization and improvement in materiel, Washington, Office of naval intelligence, 1889, p. 251

L'interrupteur connecte à la demande un conducteur (le pôle positif par exemple) à la coque au travers d'une ampoule.

Si la lampe reste parfaitement sombre, aucun courant ne circule entre ce conducteur positif et la coque : il n'y a pas de fuite à la coque.

Si la lampe s'éclaire plus ou moins, cela indique qu'elle est traversée par un courant de fuite plus ou moins important, selon l'intensité lumineuse : il y a alors au moins une fuite à la coque, c'est à dire un défaut d'isolement à localiser et à réparer. Des fusibles limitent l'importance du courant transitant dans ce matériel. La localisation du défaut est un autre problème, qui peut prendre un temps certain et solliciter de nombreuses personnes.

206 Bulletin Technologique -Ecole Nationale des Arts et Métiers, Paris, Librairie Chaix, 1901b, p. 152.

Afin d'affranchir les défauts d'isolation des appareils et de prévenir des électrocutions, « *les masses métalliques normalement isolées des pièces sous tension doivent être mises en communication électrique sans résistance avec la coque* ». Ce principe, ici extrait du texte D.M. 17897 CN 4 du 11/10/1934, est une constante depuis 1890 : il est un maillon indispensable au suivi de l'isolement général du système.

L'existence de deux défauts peut aussi produire le fonctionnement intempestif d'appareils dont les interrupteurs sont ouverts : l'équipement devient alors incontrôlable, sauf action sur le réseau général. La généralisation d'interrupteurs bipolaires réduit ce risque, mais un parfait isolement reste une mesure préventive indispensable.

Cette surveillance d'une « perte à la terre » révèle l'existence d'un (ou plusieurs) problème (s) qu'il convient de qualifier au-delà de la brillance relative d'ampoules. Cela requiert dans un premier temps l'identification précise du matériel défaillant : la procédure est plus ou moins simple et rapide, selon la structure du réseau de distribution. Dans le cas d'un système avec une distribution de circuits principaux en étoile suivis d'une arborescence de circuits secondaires, les marins identifient d'abord le circuit principal porteur de la perte, puis le circuit secondaire concerné et ainsi de suite jusqu'à l'appareil défaillant. Ces investigations mobilisent plusieurs électriciens et perturbent la vie du bord par mise hors tension de tranches complètes d'équipements. Cette recherche peut être longue car les communications au sein de l'équipe sont entravées par la structure du navire et son cloisonnement. La localisation du défaut se fait avec le détecteur central de perte, sans appareil de mesure²⁰⁷.

Si le défaut est manifeste (fil nu, par exemple), la réparation s'engage sans délai. Si le défaut reste invisible, le recours aux mesures d'isolement sur l'appareil défaillant va qualifier le problème, l'ampleur des risques associés et les dispositions à prendre. Sachant qu'un défaut d'isolement est d'autant plus dangereux que la tension du réseau est élevée, le choix d'une tension de 80 Volts à bord limite les risques sans pour autant les annuler.

Pour alimenter les importants moteurs des tourelles sous une tension supérieure, un système de distribution à trois fils permet de combiner ponctuellement deux tensions de 80 Volts en 160 Volts. La référence de tension reste donc 80 Volts, avec un îlot de 160 Volts. Cette disposition est un compromis transitoire qui fait souche. Les opposants au passage en 125 Volts à bord argumentent sur l'inefficacité énergétique de cette tension pour les projecteurs en 43 Volts. Le contre argument²⁰⁸ sur la « *rareté relative du fonctionnement de ces derniers appareils* » n'est pas retenu. Mais le Manuel du matelot électricien, édition 1921, explique que « *la tension normale est de 120 Volts pour les grands bâtiments et reste à 80 Volts pour les navires sur lesquels la consommation principale est due aux projecteurs* ». Cet absence de standard ne peut que pénaliser la gestion des magasins dans les arsenaux en multipliant les références de matériels. Cela rend difficile l'assistance mutuelle entre navires.

Alors que l'US Navy utilise depuis 1903 la tension de 125 V, elle opte²⁰⁹ pour le 230 V dès 1914, tout en conservant l'éclairage à incandescence en 115 V. En 1930, RICAUD constate²¹⁰ que « *les diverses marines de guerre se sont décidées à adopter, pour les grands bâtiments, les tensions de 220 V ou 240V* » Un projet d'instruction technique – édition 1940-

²⁰⁷ Le Manuel de l'électricien, Edition 1936, consacre 22 pages à la présentation des défauts d'isolement. Le paragraphe ci-dessus est donc très sommaire, mais suffisant pour comprendre l'impact du choix de la tension.

²⁰⁸ Edouard AUBUSSON, *op. cit.*, 1899, p. 355.

²⁰⁹ HORNER, *Marine electrical engineering*, Washington, Journal of the American Society of Naval Engineers-Volume XXVII, 1915, p. 492.

²¹⁰ RICAUD, *op. cit.*, 1930, p. 152.

cite une tension nominale de 230 V pour les grands bâtiments avec la possibilité d'alimenter les appareils les plus puissants en 460 V : la version finale de l'IT 8 200 ne verra pas le jour en 1940, mais il atteste des réflexions préparatoires.

2.3.D.a. Le cas particulier d'un tableau en haute tension lié à la propulsion électrique

Dans les années 1910, l'US Navy s'interroge sur la possibilité d'obtenir des performances intéressantes avec la propulsion électrique pour des navires de surface. Elle procède à une étude comparative grandeur réelle avec trois navires similaires, chacun ayant un mode de propulsion différent. La propulsion électrique des flottes n'est pas dans le périmètre de cette thèse, mais un regard sur le tableau de distribution²¹¹ apporte des éléments pertinents de contexte.

Le tableau de commande des deux moteurs de propulsion est symétrique et il ne comporte que très peu d'équipements.

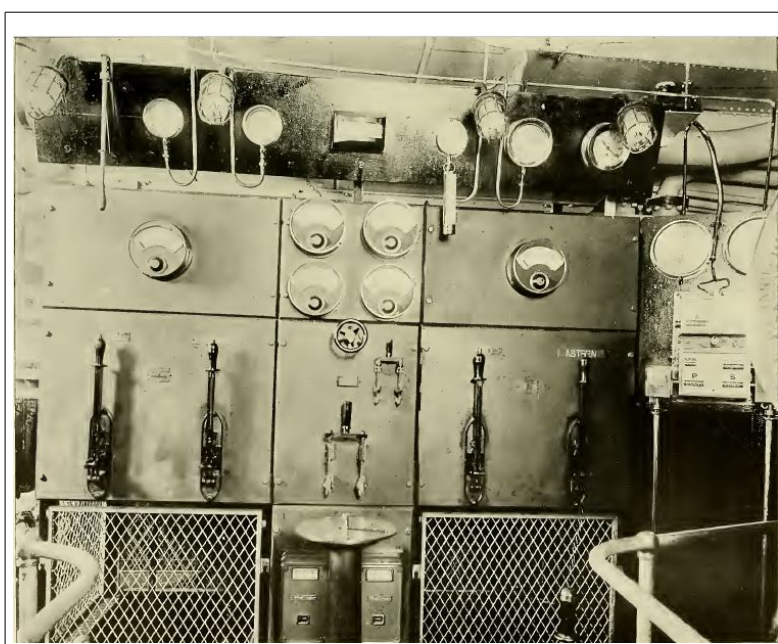


Illustration 75 : Tableau de distribution principal de l'*USS Jupiter*

Source : ROBINSON, *The applicability of electrical propulsion to battleship*, New-York, 1914, planche 76.

Dans la colonne centrale qui concerne de la basse tension, les interrupteurs sont à couteaux sans protection pour l'électricien qui les manœuvre. Cette colonne est munie de cloisons métalliques intégrales.

Les colonnes contiguës sont grillagées en partie basse mais avec des parois pleines pour la fixation de la commande des interrupteurs qui sont à l'intérieur de l'armoire. Il s'agit de matériel en 2 300 Volts, ce qui impose une mise à distance pour le personnel.

Le grillage permet la ventilation et évite une proximité d'un marin avec les conducteurs nus, alors que les parois pleines donnent une rigidité mécanique pour poser le matériel tout en faisant un écran protecteur contre les arcs des chambres de coupure situées en arrière plan.

Cette configuration est typique de la haute tension avec les risques associés d'amorçage sans contact: le modèle classique du tableau plan adapté à la basse tension est remplacé par une armoire. Il est impératif de sécuriser des volumes et de garantir des distances minimum entre les pièces sous tension.

211 ROBINSON, *The applicability of electrical propulsion to battleship*, New-York, Society of naval architects and marine engineers, 1914, p. 207.

2.3.E. Les génératrices : nombre, stabilité et emplacement

Recevant une énergie mécanique concentrée, le système technique électrique la convertit en une énergie plus fluide et plus souple. Cette énergie mécanique provient d'une source thermique primaire, elle même transformée dans un moteur à vapeur. A l'aide de dispositifs électromécaniques tournants, les génératrices de tension et de courant réalisent la conversion de cette puissance mécanique. L'association des machines thermiques et des génératrices donne lieu à de très nombreux objets techniques dont le survol est présenté dans deux annexes. Le propos de cette présente section se focalise sur les spécificités de l'usage de ces objets dans le contexte des flottes. Il s'agit d'examiner la question de l'implantation des équipements à bord et de l'évolution du choix de ces équipements : ces deux aspects sont déterminés par les services rendus au navire, attentes de plus en plus variées sur la période.

2.3.E.a. Le nombre de groupes électrogènes

Le premier système électrique embarqué ne comporte qu'une unique génératrice dédiée à un projecteur. Une fois l'intérêt de cet usage confirmé, le nombre de projecteurs sur le navire augmente, soit pour couvrir une zone de surveillance plus large, soit pour se prémunir d'une panne de cette source lumineuse. Le corollaire de cette multiplication des usages est la nécessité de disposer d'une source plus puissante et adaptable à une charge variable : un, deux ou six projecteurs. La génératrice a donc une amplitude de marche conséquente et elle comporte des réglages. L'unicité de la source étant une vulnérabilité réelle, le passage à deux génératrices *a minima* s'impose rapidement.

Cette étape ne se déroule pas dans un environnement stable, car les usages croissent à leur propre rythme : plusieurs configurations de parc machines sont réalisées, soit avec des génératrices identiques, soit avec des machines de tailles très différentes. Avoir un parc de machines identiques est un moyen pour uniformiser l'exploitation et les pièces de maintenance. La contre-partie est que le point de fonctionnement des groupes électrogènes moteur et génératrice n'est pas toujours à une charge économique en consommation de vapeur et de combustible primaire. Ainsi, lorsque le navire est au mouillage, l'alimentation du moteur à vapeur se fait par une chaudière auxiliaire et non pas par une chaudière principale. Malgré cela, la charge de la dynamo est *a minima* car la plupart des moteurs annexes sont à l'arrêt, sauf exercice. La consommation de charbon est acceptable, même si la dynamo n'est pas à son optimum de rendement. Cette configuration à deux groupes électrogènes est abritée dans le même local protégé, à proximité des chaudières, ce qui réduit les canalisations vapeur. Un exemple de ce type de tranche est donné avec l'illustration n°95 page 182.

Or, un navire est plus souvent au mouillage qu'en mer (de l'ordre de 2/3), d'où la question légitime de dédier une dynamo de taille adaptée à ce besoin restreint d'énergie.

Un parc machine hétérogène ne pose pas de difficultés d'exploitation avec les tableaux électriques, car les dynamos peuvent être couplées ou non entre elles. La configuration est ouverte, ou plus exactement les caractéristiques des génératrices ne posent pas dans un premier temps de contraintes d'architecture du système.

La question du nombre de machines dans le parc bute sur plusieurs arguments techniques. Tout d'abord la taille maximum disponible à bord est une contrainte qui s'impose, les machines terrestres ne trouvent pas leur place dans l'exiguïté de la coque. Cette question de grandeur se pose avec le palier du pointage des tourelles de cuirassé vers 1890, les besoins étant de plusieurs centaines de kW pour chaque matériel mobile. Le couplage en quantité

(parallèle) des dynamos n'étant pas retenu et le niveau de tension restant à 80 Volts, vu la charge appelée par une tourelle, le parc machine doit être constitué de machines très différentes, les unes étant de puissance modérée mais à marche constante, les autres ayant une forte puissance mais à marche très ponctuelle. C'est donc en toute logique que les tourelles sont dotées de génératrices dédiées implantées à proximité de leurs moteurs. Cela limite les chutes de tension entre la dynamo et ses moteurs, une canalisation amenant la vapeur au plus près du moteur thermique. Un parc de six dynamos est alors nécessaire.

Les cuirassés se retrouvent avec nombre de génératrices dont les plus puissantes sont à l'arrêt à 98 % du temps. Cette allocation de ressources n'apparaît pas optimum et les données du problème sont alors réexaminées : la tension de service reste à 80 Volts mais le couplage en parallèle des dynamos est accepté : un verrou conceptuel et technique saute en 1895. Ce couplage des dynamos s'appuie sur la structure électromagnétique des machines avec un compoundage adapté à la plage de service. Cela autorise un point de fonctionnement obtenu par le réglage de la position des balais en fonction du régime de marche.

En pratique, les flottes convergent vers des génératrices d'une puissance unitaire maximum de 300 kW, une exception en 1914 avec les turbo-dynamos de 360 kW du cuirassé allemand **Konig**. Le parc machine du bord est constitué de machines similaires, éventuellement de deux puissances distinctes. Ces génératrices assurent les besoins du service en intégrant l'avarie d'une ou plusieurs machines. Ainsi, le cuirassé **Bretagne**, lancé en 1915, est armé de quatre turbo-dynamos de 200 kW unitaires, un étant normalement en réserve. Par ailleurs, certains navires disposent d'une redondance de leur source primaire vapeur par des moteurs diesel à combustion interne. C'est le cas du **Konig** dont le parc machine est constitué de quatre turbo-dynamos de 360 kW et de deux dynamos diesel de 300 kW.

2.3.E.b. La stabilité de la tension et ses réglages

L'annexe 4 présente quelques détails sur la structure des génératrices, en particulier les modes d'excitation classique : dérivation, série et compound. L'ajustement de l'excitation vise à compenser la chute interne de tension aux bornes de la machine par une modification inverse des champs magnétiques internes.

L'excitation compound d'une dynamo stabilise la tension de sortie aux bornes de la machine. Dans le cas de fortes charges éloignées, il est possible de surcompenser la génératrice afin que la tension à l'extrémité du réseau reste plus stable. Le couplage en parallèle des excitations de dynamos est un autre moyen d'obtenir une tension fixe au tableau de répartition. De fait, cela revient à créer une machine virtuelle de capacité supérieure. Par ailleurs, cet avantage se transpose fonctionnellement avec la mise en parallèle des alternateurs.

Il n'y a aucune similitude avec le décalage de la distribution de vapeur sur une machine thermique, ce réglage est un moyen d'atténuer ou de compléter une réaction magnétique interne.

Le réglage des balais est un sujet qui n'est pas anodin dans ses effets : le placement des porte-balais positionne les frotteurs sur une ligne électromagnétique où la tension est maximale, compte tenu de l'intensité du moment. Cet emplacement optimum est donc fonction de la charge de la dynamo. Une position trop approximative a plusieurs conséquences, d'une part la tension aux bornes est plus faible, d'autre part des étincelles se produisent entre les balais et les lames du collecteur du rotor.

- A court terme, une tension basse rend le système électrique du bord moins efficace. Cela pénalise l'éclairage (lampe en sous voltage) et chauffe inutilement les machines tournantes.
- A moyen terme, les balais se détruisent dans les arcs de coupure. Ce point impose alors de remplacer les charbons fréquemment, intervention banale car les porte-balais sont prévus pour réaliser simplement cette petite maintenance courante de matériel consommable. La Chambre Syndicale des Constructeurs de gros matériels électriques rédige en 1920 un projet²¹² d'unification des dimensions des balais, mais sans aborder le volet qualité de cette fourniture. Ce petit matériel, d'un coût très faible, est toutefois indissociable des machines à collecteurs. Bien que quasiment invisible, il est indispensable au système technique.
- A long terme, le collecteur est endommagé par consommation de matière avec les arcs et cette dégradation s'auto-entretient. La réparation du collecteur demande sa reprise sur un tour, opération lourde qui rend la dynamo indisponible. Alors que le réglage des balais est perçu comme « *n'ayant pas une grande importance pratique* » dans les cours du Génie Maritime²¹³ en 1894, les faits restent têtus et le problème persiste, y compris au-delà des années 1935.

Cet aparté rapide sur les balais et charbons des machines à courant continu peut apparaître superflu et une opportunité pour mettre au premier plan un détail secondaire²¹⁴. Il n'en est rien, le nombre de charbons de rechange faisant partie de l'armement du croiseur **Emile Bertin** donne la dimension du détail : il s'agit de petites pièces d'usure non substituables, dont le stock à bord est indispensable. Outre les complexités administratives d'approvisionnement, l'intervention mobilise du personnel. Ce type de contraintes n'existe pas avec les moteurs en courant alternatif, asynchrone à cage d'écureuil.

2.3.E.c. L'emplacement des sources électriques

La question de la localisation des génératrices est le contrecoup de la multiplication des sources : faut-il un ou plusieurs postes pour ces génératrices ?

La génératrice impose la tension au système électrique qu'elle alimente et certains appareils éloignés de cette source ont une tension à leur borne plus faible que celle délivrée par la dynamo. Ce phénomène, appelé chute de tension, dépend de plusieurs facteurs : les caractéristiques de l'induit de la dynamo, le mode de régulation de l'inducteur, la stabilité de la vitesse de rotation, la configuration du réseau de distribution et l'ensemble des équipements en service. En ce qui concerne l'alimentation des lampes, cette tension aux bornes impacte leur durée de vie. Ainsi, selon des mesures faites en 1896²¹⁵, pour des ampoules données avec 1000 h de durée de vie sous leur tension nominale de 100 Volts, la durée de vie est réduite à 250 h en cas de sur-voltage à 105 Volts et elle augmente à 3500 h en cas de sous-voltage à 95_Volts.

La localisation des génératrices est une des facettes des choix structurants du système technique. En effet, si la distance entre les dynamos et les gros consommateurs est importante, cela détermine la longueur et la section des canalisations entre eux. Cela se traduit par un poids embarqué, qui n'est pas simplement proportionnel à la distance. En effet, chaque passage de cloison demande *a minima* un presse-étoupe. D'autre part, en construction navale, le plus court chemin pour aller de la proue à la poupe n'est pas la ligne droite : la structure du

²¹² *Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°12*, Paris, 1904c, p. multiple.

²¹³ *op. cit.*, 1894b, p. 162.

²¹⁴ Lors des patrouilles de S.N.L.E., le remplacement des charbons sur certaines machines est toujours d'actualité.

²¹⁵ Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1896, p. 234.

navire et les différents équipements impose quelques circonvolutions créatrices de poids et d'encombrement. Or, tout poids évité est une marge disponible pour les systèmes d'armes.

La robustesse face aux avaries est un autre paramètre majeur, le navire militaire devant avoir un haut niveau de défense passive de part sa structure. Pour les cuirassés, les sources d'énergie essentielles sont protégées et placées sous le blindage. Dans un premier temps, la dynamo est un organe annexe des moteurs de propulsion, donc située dans le même compartiment machinerie. Afin de dissocier les services et de libérer de l'espace pour les moteurs principaux, les groupes électrogènes sont ensuite décalés à un pont supérieur, toujours sous le blindage. Le local est alors dédié aux dynamos, réparties sur tribord et bâbord.

La motorisation électrique du pointage des tourelles voit l'implantation de l'ensemble moteur horizontal - dynamo sous le blindage de la tourelle, dans un volume restreint en hauteur. Ce voisinage donne une certaine autonomie énergétique aux tourelles, moins dépendantes de la production d'électricité du poste central. Toutefois, ces groupes électrogènes doivent toujours recevoir de la vapeur des chaufferies principales. Cette « satellisation » des groupes électrogènes, du fait des spécificités des dynamos dédiées à l'artillerie, n'apporte pas une fiabilisation du reste du système électrique.

Une nouvelle étape est franchie avec un système fondé sur un parc de génératrices couplées en parallèle : les dynamos peuvent désormais se secourir mutuellement. Dans cette configuration, une répartition géographique des machines contribue à distribuer les ressources et augmenter la fiabilité globale face à l'avarie d'un compartiment étanche. Selon la taille du navire, les constructeurs peuvent implanter les groupes dans des tranches communes aux machines de propulsion. Il y a ainsi une tranche ligne d'arbre tribord avec un groupe électrogène tribord et dans un autre compartiment, une tranche ligne d'arbre bâbord avec un groupe électrogène bâbord. Dans ce cas, les machines sont sous la ligne de flottaison, la ligne d'arbre imposant ce niveau. Ce découpage connaît de nombreuses variantes, essentiellement motivées par des contraintes contextuelles.

Au-delà des sources électriques principales qui sont protégées par le blindage, des génératrices sont parfois délibérément mises dans des locaux plus exposés. La Royal Navy parle alors de « génératrice de jour » pour associer à cette exposition le caractère secondaire de l'énergie produite : l'éclairage du circuit dit « de jour » n'est pas nécessaire au combat, donc il n'a pas à être maintenu et protégé outre mesure. C'est aussi le cas des batteries et génératrices dédiées à la TSF et aux courants faibles, sujet qui ne relève pas de cette étude.

2.4. A l'épreuve des combats, le retour d'expérience

2.4.A. Proposer une vision d'ensemble du système électrique

Lancé en 1887, le cuirassé d'escadre *Neptune*, est un navire de 102 m de long pour un déplacement de 10 850 Tx. Affecté à son bord en 1892, le lieutenant de vaisseau ABEILLE émet de nombreuses suggestions²¹⁶ pour améliorer sensiblement les « *garanties de fonctionnement* » de cet équipement électrique « *semblable sur tous les bâtiments* ». Ses propos sur les tableaux de distribution sont sévères, il considère qu'« *ils flattent l'œil agréablement, ... mais ... il est impossible de leur reconnaître aucune autre qualité.* ». Ses critiques portent sur les registres matériels et fonctionnels et il apporte des propositions concrètes pour améliorer ce qu'il appelle « *la sécurité de fonctionnement* ». L'article contient trois schémas qui détaillent un projet de tableau principal accompagné de deux tableaux secondaires AV et AR. Les fondements de ce travail sont nourris d'expérience à la mer et d'une analyse qualitative, toujours source de controverse entre personnes faisant autorité sur le sujet. Ses arguments, forts de l'authenticité du terrain, fragilisent les postures doctrinaires des bureaux d'études.

Ainsi, les commutateurs sont fixés sur un tableau en bois dur recouvert d'un vernis protecteur : cela constitue un isolant insuffisant face à la condensation et à l'humidité qui règne dans le faux pont. L'officier constate que ce défaut n'est pas négligeable et il prédit que cette insuffisance va croître lorsque la tension de service augmentera de 70 à 110 Volts, à terme 230 Volts. Il préconise le remplacement du bois vernis par de l'ébonite. Les liaisons réalisées en face arrière du tableau sont pour lui un inconvénient majeur, car ce qui n'est qu'une avarie partielle sur un simple circuit devient une avarie générale lorsque cela concerne le tableau. Il demande que des liaisons soient visibles et faites en câbles isolés.

La centralisation de la commande de l'éclairage et des commandes en général lui apparaît un argument insuffisant face au risque d'avarie de ce nœud central. Adeptes d'une spécialisation restreinte des circuits, il met en garde contre des garanties plus illusoires que réelles. Ainsi, la liaison directe entre deux tableaux n'offre d'intérêt que face à une panne électrique mais elle n'est pas protectrice face à une avarie causée par un projectile. Le risque de manœuvres dangereuses avec ces liaisons est réel et le surprend. D'autre part, des circuits principaux empruntent le même parcours physique : il recommande des parcours vraiment distincts sous le pont blindé. La liste de ses différentes propositions incrémentales ne saurait être exhaustive, d'autres officiers participent à ces réflexions foisonnantes d'où sortiront de ponctuelles directives du Ministère. Son approche pragmatique se synthétise dans quelques expressions qui pourraient avoir une portée normative, voire réglementaire :

- multiplier les tableaux pour augmenter les commutateurs et le nombre de circuits,
- répartir ces tableaux dans des compartiments étanches distincts,
- s'attacher d'une façon absolue à séparer les circuits protégés,
- établir les canalisations de façon qu'une avarie soit aussi localisée que possible,
- isoler les branchements d'une couche de chatterton,

216 L. ABEILLE, *Considérations générales sur les installations électriques à bord des bâtiments de guerre*, Paris, Revue Maritime et Coloniale, 1893, p. 5-30.

- refuser en recette les commutateurs et coupe-circuits en bois blanc,
- remplacer les conducteurs sous tubes étanches par des câbles sous plomb.

L'intérêt de cet article est double, car il contient les traces des mises en œuvre réelles des installations contrairement à ce que l'on trouve par ailleurs dans les plaquettes commerciales des fabricants ou dans les manuels de formation. Expression quasi institutionnelle, ces derniers documents sont peu enclins à une expression critique. D'autre part, l'auteur plaide pour une structure de réseau avec un retour par la coque : ce type de connexion sera très rapidement rejeté par toutes les marines et interdit par les instructions du « Véritas » et du « Lloyd s Register ». La publication d'un article par un officier de Marine devant avoir l'aval préalable du Ministère de la Marine, l'expression publique de cette option montre que la question du retour par la coque n'était pas définitivement arbitrée par les autorités en 1893.

Alors qu'en 1892 le lieutenant de vaisseau Abeille suggérait la multiplication des tableaux, la flotte française, tout comme l'US Navy avec les cuirassés *USS Oregon*, opte pour un dispositif centralisé de tableau. Le choix de cette configuration du système technique relève plus d'un arbitrage militaire que technique, la Marine ayant une confiance implicite forte dans la protection du blindage. Répartir physiquement des équipements clés pourrait être perçu comme une mise en doute offensante de l'efficacité de la cuirasse blindée.

La localisation des dynamos dans un seul compartiment, fut-il protégé par un blindage, est une vulnérabilité que la bataille de Tsushima confirme en 1905. En effet, selon l'amiral GERMINET²¹⁷, les obus japonais ont produit des gaz toxiques qui se sont répandus dans le navire russe, tuant les mécaniciens et plongeant ainsi l'ensemble du bâtiment dans l'obscurité. Au delà de l'efficacité offensive des gaz, c'est bien l'absence de dispositions préventives de conception qui est mis en cause.

217 Raymond LESTONNAT, *L'amiral GERMINET*, Paris, Navigazette n°964, 1907, p. 2.

2.4.B. Etre une ressource clé pour tous les services du bord

La structure cloisonnée de la coque est un dispositif essentiel pour préserver la flottabilité du navire en cas de voie d'eau. La rigidité de la coque est obtenue par des couples, les cloisons verticales étanches séparent le bâtiment en tranches de l'avant à l'arrière. Ces cloisons étanches sont percées de portes à fermeture étanches, de câbles et de tuyaux qui les traversent en passant à travers des presse-étoupes.

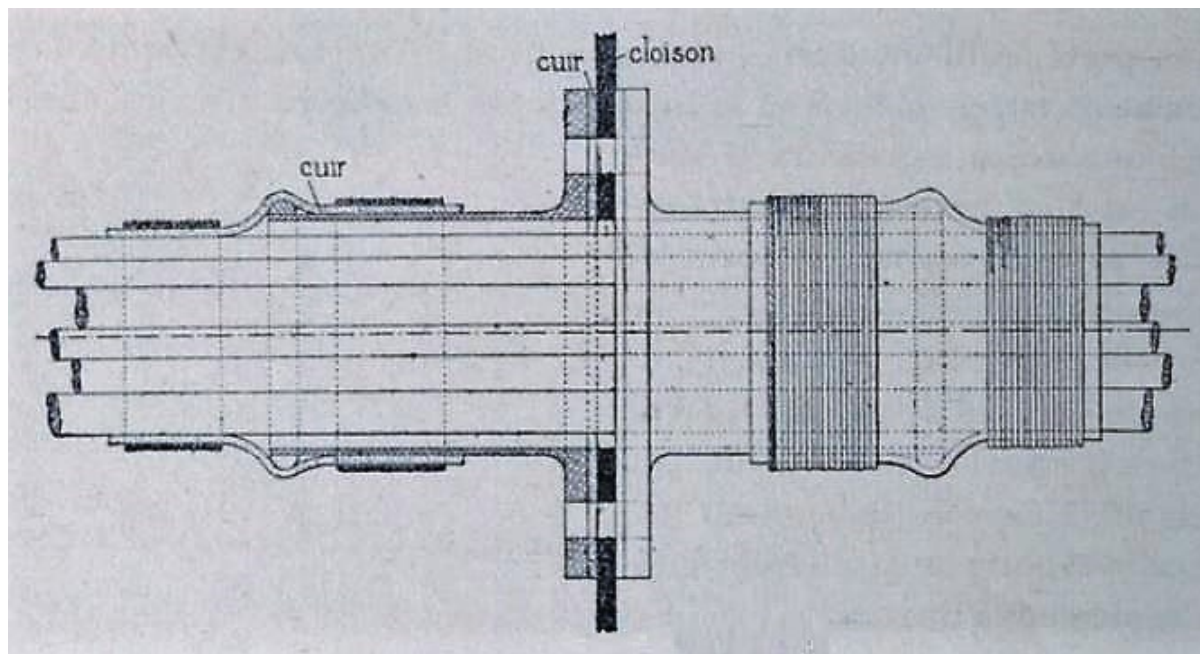


Illustration 76 : Presse-étoupe étanche pour 30 fils (*Marceau* 1887)

Source : Alphonse CRONEAU, *op. cit.*, 1894, p. 250.

La parfaite étanchéité des presse-étoupes est un objectif recherché dès l'origine, le système électrique ne devant pas pénaliser les qualités nautiques du navire : le système électrique participe à la défense passive contre les voies d'eau. Le cuirassé *Marceau*, lancé en 1887, voit ses cloisons obturées par des presse-étoupes avec des rondelles de cuir et des collerettes en cuir ligaturés sur des paquets de câbles. La culture du marin supplée à l'absence de recul de l'électricien, les ligatures sont les garants de l'étanchéité mécanique. Pour le passage d'un unique câble²¹⁸, un bourrage du trou fait dans la cloison avec du caoutchouc est jugé suffisant. Cette étanchéité n'ayant pas l'efficacité attendue, plusieurs variantes sont essayées dans les différentes flottes. La difficulté est finalement surmontée avec des presse-étoupes métalliques munis de joints en caoutchouc qui sont écrasés par un dispositif vis/écrou. Ce dispositif s'adapte aux conducteurs simples ou aux câbles armés.

Dans un sens inverse, l'électricité apporte un précieux service pour fermer les portes des cloisons étanches et ainsi contribuer à préserver, autant que faire se peut, la flottabilité du navire : les équipements électriques sont des moyens de la défense active contre les voies d'eau. La marine américaine installe en 1899 sur le croiseur protégé *USS Atlanta* un système de fermeture à distance des portes étanches par moteur électrique. Ce système attribué à l'ingénieur BOWLES permet la fermeture à distance, le contrôle de cette fermeture et l'ouverture locale. Le mécanisme comprend un moteur de 740 Watts, des pignons et des

²¹⁸ Alphonse CRONEAU, *op. cit.*, 1894, p. 250.

crémaillères qui agissent sur 11 coins biseautés en bronze. Ce dispositif est présenté²¹⁹ à l'exposition universelle de Paris en 1900. Le nombre de canalisations devant traverser des cloisons étanches est une des difficultés de réalisations des installations, l'illustration ci-dessous en est un exemple.

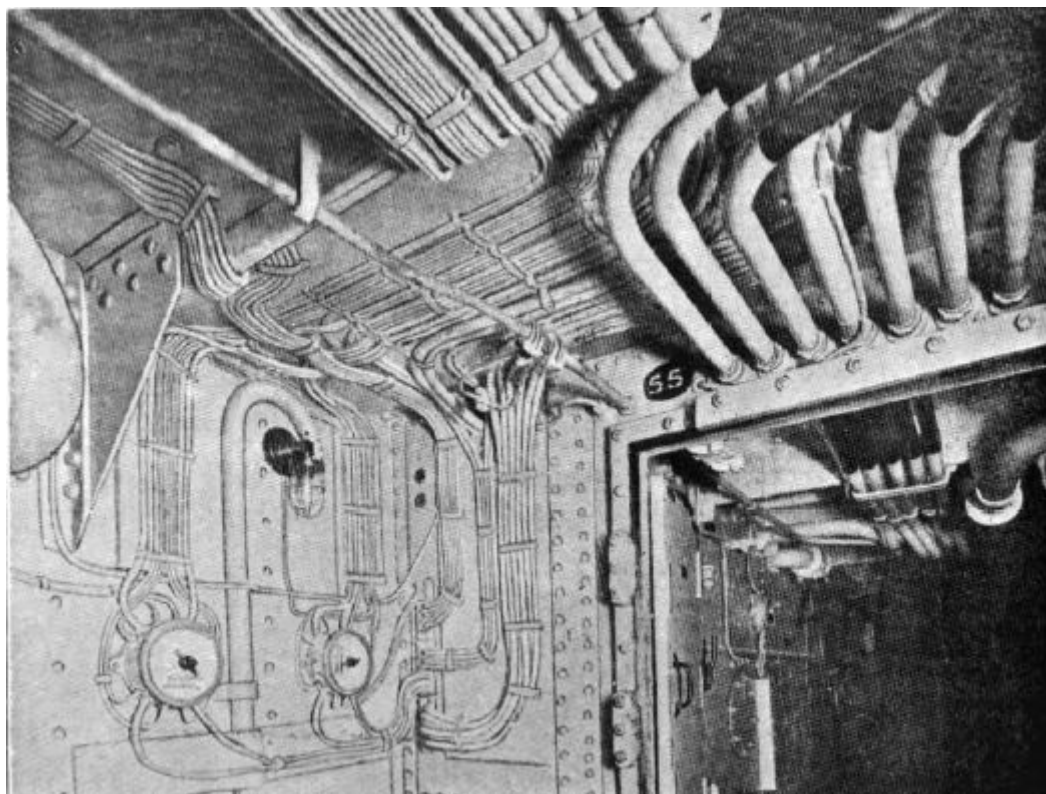


Illustration 77 : Passage de cloison étanche avec un disque plat

Source : *Notes on naval progress*, Washington, Office of naval intelligence, 1900, p. 259.

De même, la souplesse de mobilisation de l'énergie électrique est une ressource précieuse lors d'avaries. Face à une voie d'eau, des pompes électriques sont une assistance pour assécher la tranche concernée. Ces pompes se substituent aux pompes ou aux éjecteurs à vapeur. Une pompe fixe peut épuiser un compartiment, c'est un dispositif rigide avec une prise d'eau par crapaudine à fond de cale. Cette organisation est complétée par des pompes électriques mobiles qui viennent remplacer ou parfaire le réseau d'épuisement. L'efficacité de ces pompes renforce les dispositions structurelles de défense passive, en particulier le mode de construction cellulaire en cofferdam imaginé²²⁰ par l'ingénieur Emile BERTIN en 1872.

Des pompes électriques dédiées participent aux autres moyens de défense passive : les pompes à incendie et des pompes à eau de mer pour le noyage des soutes à munitions ou à charbon. Il s'agit de faire face à l'auto-combustion du charbon, phénomène chimique bien connu et difficile à prévenir : des moyens curatifs sont indispensables. Le noyage d'une soute à charbon est un moyen ultime très efficace pour stopper la combustion en privant le combustible de comburant et en refroidissant l'ensemble. L'incendie est un des risques majeurs sur les navires, l'eau est dans ce cas un moyen d'en limiter la propagation en acceptant les difficultés liées à l'inévitable carène liquide associée.

Les soutes à munitions sont encore plus sensibles que les soutes à carburant : les catastrophes des cuirassés *Iéna* en 1907 et *Liberté* en 1911 attestent malheureusement. Les

219 Edouard HOSPITALIER, *op. cit.*, 1902, p. 49.

220 *La nouvelle revue - Tome 32*, Paris, La nouvelle revue, 1885b, p. 65.

mesures de défense active par la réfrigération des soutes peuvent être insuffisantes et le noyage des stocks de poudre B est une mesure de sauvegarde. Sa réalisation peut s'effectuer par la manœuvre des vannes de soute, mais leur accès reste incertain lors d'un incendie : le noyage par des pompes autonomes est une ressource essentielle pour la sécurité.

2.4.C. Fiabiliser le fonctionnement intégré du système

Alors que les premiers pas de l'énergie électrique à bord se sont déroulés avec une vigilance de tous, une certaine accoutumance fait place aux premières réserves. Les usages vont croissants, à l'image de la vague technique et industrielle qui se répand sur le continent. En cette fin du XIX^e siècle, la flotte de surface vient d'assimiler plusieurs technologies, toutes imbriquées :

- a) les coques acier qui bouleversent les carènes,
- b) la vapeur comme source d'énergie embarquée pour la propulsion et les services annexes,
- c) l'artillerie, ses poudres puissantes, ses canons à longue portée et ses obus perforants,
- d) l'électricité comme source d'énergie secondaire, souple, discrète et omniprésente.

Si l'on se réfère à la marine du XVIII^{ème} siècle, toutes ces techniques séduisent par leurs avantages comparatifs cumulés. Dans un premier temps, les marins se sont appropriés ces objets afin de les mettre au service de leur mission première: faire naviguer une plateforme d'artillerie. Dans un second temps, il s'agit de maîtriser des systèmes restreints et enfin le système technique global du navire. Dans ce petit univers flottant, le système électrique d'un navire livre au fur et à mesure du temps long sa richesse, mais aussi ses limites et ses dangers. Cette aventure s'écrit sur une page blanche, avec les seuls moyens disponibles, à savoir un outillage issu du passé et dont la pertinence reste incertaine.

Les exemples cités au fil des pages précédentes montrent que la recherche de la fiabilité du système est souvent en réaction face à une insatisfaction ou à une panne mineure. Une fois acquis ce palier de fonctionnement, les évolutions combinent amélioration de la fiabilité et optimisation d'une performance. Cette démarche est très souvent itérative, soit parce que l'évolution a des effets indésirables, soit parce que l'usage s'élargit et demande une nouvelle adaptation. Ce processus se comprend aisément pour un objet technique isolé, par exemple un luminaire. La problématique est tout autre pour un système technique, lui-même partie d'un sur-système. Le fonctionnement ne peut être « garanti » que dans une plage très restreinte, dont l'étendue est à la mesure des connaissances techniques du moment. La réalité est beaucoup plus complexe que sa modélisation, l'histoire des combats navals en atteste. Néanmoins, marins et constructeurs s'efforcent de réduire les effets des situations imprévisibles auxquelles ils se confrontent.

- a) La bonne cohabitation du système électrique dans l'univers des coques métalliques est acquise : les câbles sont armés si besoin, les isolants des conducteurs supportent l'environnement marin, l'appareillage et le matériel sont d'une robustesse mécanique adaptée. Ces assertions sont valides en situation normale, partiellement invalides suivant l'aléa rencontré : projectile destructeur, choc violent, incendie ou voie d'eau. Plus précisément, l'architecture du système tend à limiter l'impact à la zone concernée par cet aléa. Ainsi, un réseau réalisé en 1909 est moins vulnérable que son ascendant de 1879.

Alors que les bobinages étaient sensibles aux élévations de température, un choix d'isolants et une ventilation sont des réponses pertinentes imaginées conjointement par les

chimistes et les mécaniciens. Si la ventilation ne peut pas refroidir suffisamment la machine, c'est alors le flux thermique à l'intérieur de la carcasse métallique qui va évacuer cette énergie : la taille et le volume de la machine augmentent, des compromis techniques sont arbitrés.

Source de chaleur, les canalisations peuvent être aussi de redoutables combustibles facilement inflammables, surtout au contact de tôles brûlantes lors d'un incendie voisin. Certains isolants dégagent des vapeurs toxiques : en 1935, les canalisations à isolant minéral apportent une neutralité lors d'un incendie tout en maintenant la continuité du service.

- b) La vapeur est la source d'énergie que les dynamos transforment en électricité. L'essentiel de la vapeur produite sert pour la propulsion, les soutirages pour les groupes électrogènes sont de second ordre mais indispensables pour la collectivité. Les bâtiments importants disposent de plusieurs chaudières principales et de chaudières auxiliaires : la source de fluide primaire est donc assurée pour les moteurs de dynamos. La conduite de ces moteurs relève d'ailleurs des mécaniciens.

Usine complexe, un navire devient une coque inerte lorsque son équipage perd ses moyens d'action, la plupart faisant appel à l'énergie mécanique ou électrique. Ce lien de dépendance est avéré lors de naufrages, toutes flottes confondues et sur le temps long. Un exemple concerne le cuirassé **La France**, construit à Saint-Nazaire aux Chantiers de la Loire en 1911 et lancé le 7 Novembre 1912. Il mesure 165m de longueur pour un déplacement de 23 400 Tx.

Le 26 Août 1922 à 0h57, revenant d'une campagne d'exercices devant Belle-île, il talonne une roche dans le passage de la Teignouse²²¹. Vers 1h10, les machines et dynamos stoppent faute de vapeur, privant le navire d'énergie et de lumière. Le commandant ne peut même plus mettre les embarcations de secours à l'eau. Le cuirassé ne peut plus manœuvrer, il se remplit rapidement d'eau, chavire sur bâbord et se retourne en quelques secondes.

La privation de vapeur anéantit certains moyens de défense active, en particulier ceux qui s'appuient sur une production d'électricité dépendante de chaudières, qu'elles soient principales ou auxiliaires. La prise d'autonomie de l'électricité face à la vapeur intervient avec les groupes électrogènes à moteur diesel. Le croiseur léger **Leipzig** de la Kriegsmarine est un exemple de ce choix. Lancé en 1931, son parc de génératrices comprend trois diesels de 180 kW sur une puissance totale de 1080 kW. Cette dissociation des ressources est une parade à la perte de vapeur, y compris lorsque le navire est à quai ou en rade. De son côté, après diverses tergiversations, la Royal Navy adopte une politique de générateurs à 50 % à vapeur et à 50 % au diesel.

- c) L'artillerie est la raison d'être du navire de combat, ses moyens matériels sont les tourelles et les munitions. Les artilleurs ont recours à d'autres équipements, en particulier pour observer leurs objectifs et coordonner leurs actions avec le commandement du navire. La puissance électrique est rapidement mise à contribution pour l'alimentation des armes en munitions, puis pour le mouvement des canons.

221 <http://www.wreck.fr/france.htm> consulté le 28/7/2018

Face à l'augmentation des cadences de tir des petites pièces, les monte-charges répondent aux attentes et s'adaptent sans grande difficulté aux rythmes de cette artillerie. S'agissant de locaux à atmosphère explosive, les équipements ne doivent pas présenter de points chauds ou de risque d'étincelles. Les mécanismes sont robustes car leur environnement est très sévère : chocs et température élevée. Ces exigences restent toutefois assez similaires à celles rencontrées dans l'industrie lourde, la sidérurgie ou les mines.

A bord des grands bâtiments, hors propulsion, l'orientation et le pointage des tourelles devient le poste principal de consommation d'électricité. Cet usage, très ponctuel dans la vie du navire, est intense car les masses concernées sont de quelques dizaines de tonnes. D'autre part, le mouvement attendu doit être rapide et précis : le mouvement complet est réalisé en quelques dizaines de secondes et la précision angulaire est de l'ordre du degré. Un tel dispositif résulte de l'intégration d'éléments unitaires ayant tous individuellement des performances militaires et marines. Le transfert du mouvement des tourelles de la technologie hydraulique vers les techniques électriques réemploie les expériences antérieures, en particulier pour les aspects mécaniques. La motorisation électrique bénéficie de ce réemploi et de l'intégration des transmetteurs d'ordre. C'est donc l'ensemble de la chaîne opérationnelle, commandement compris, qui est fiabilisée.

La disponibilité de l'artillerie lors des combats est impérative, pour ce faire les machines bénéficient d'une alimentation électrique redondante et prioritaire. Si la finalité d'une telle redondance est bien partagée, les moyens pour y aboutir divergent. Plus exactement, plusieurs réponses existent, la doctrine en la matière n'étant pas posée. Sur le fond, il s'agit d'arbitrer entre des générateurs dédiés à l'artillerie seule ou au contraire de raccorder l'artillerie sur un réseau commun à tous avec des générateurs couplés en parallèle. Cette décision se fait à dire d'expert, la Recherche Opérationnelle et sa méthode probabiliste n'arrivant qu'au cours des années 1940.

2.4.D. Améliorer la pose et l'identification des canalisations

Très rapidement, le réseau à bord est vaste. L'exemple du *HMS Royal Sovereign* est significatif des ordres de grandeur du matériel installé. Ce cuirassé déplace 14 150 tonnes standard, d'une longueur de 125 m. Lancé en 1891²²², le *HMS Royal Sovereign* comprend 800 lampes à incandescence nécessitant, pour ce seul système, 13 km de câbles électriques, soit un équivalent de 250 km de fil de cuivre de diverses grosseurs, principalement du 9/10 de millimètre de diamètre.

Des inventaires similaires existent pour les autres flottes, le phénomène ne peut que s'amplifier au fil des années. Un tel volume d'équipement requiert une méthodologie de repérage et de codification, faute de quoi le système serait inexploitable.

En 1921²²³, la fabrication des canalisations bénéficie de multiples expériences industrielles dont celles de la tréfilerie des câbles télégraphiques sous-marins et de la chimie industrielle. La nomenclature des matériels s'est étoffée et elle propose des câbles à conducteurs uniques, des câbles à conducteurs multiples, avec ou sans torons. L'isolement est toujours à base de couches de caoutchouc liquide, de caoutchouc vulcanisé et de toile

²²²La lumière électrique - Tome 46, Paris, 1892, p. 131.

²²³*op. cit.*, 1921a.

caoutchoutée. La protection mécanique de ces isolants est confiée à une armature en acier galvanisé : soit sous une gaine de fils tressés pour les faibles sections, soit par un feuillard pour les sections de plus de 49 mm². La nomenclature mentionne des canalisations qui répondent à des besoins très spécifiques, par exemple des câbles à 61 conducteurs pour assurer la communication d'ordre aux machines. Cette concentration dans une seule canalisation électrique réduit considérablement l'encombrement à bord et facilite le cheminement des informations. En effet, un tel câble remplace environ 10 à 20 câbles, ce qui simplifie la fixation aux parois le long du trajet et réduit considérablement le nombre de presse-étoupes nécessaires pour franchir les cloisons étanches. La contre-partie de ces avantages de pose est une certaine rigidité de la canalisation et un plus grand rayon de courbure.

Pour identifier un câble dans une nappe, la Marine définit des couleurs conventionnelles peintes en anneau sur l'extérieur de chaque câble. Une couleur et un nombre d'anneaux sont affectés par type de circuit: un anneau noir pour le circuit principal, un anneau rouge pour l'éclairage relié au tableau Bâbord, un anneau vert clair pour l'éclairage relié au tableau Tribord, un anneau bleu pour le circuit moteur, etc. Les circuits de téléphone sont repérés par deux anneaux de couleur noire, ce qui les distingue du circuit principal, lui aussi noir mais avec un seul anneau.

La Marine perpétue la pratique des épissures y compris pour de gros conducteurs. La généralisation des boîtes de jonction n'est pas encore d'actualité alors que dès 1889 l'US Navy²²⁴ impose des câbles sans raccord entre deux appareils. Ces réalisations étant des points faibles, il est donc indispensable de réduire les risques de malfaçon et de codifier leur réalisation pour . Le vocabulaire s'est spécialisé : alors que l'on parle d'épissure en 1880, puis ultérieurement de suture et de greffe, en 1921 le terme de jonction est majoritairement employé dans les documents.

En 1931, l'Instruction Technique qui traite de la distribution de l'électricité pour les bâtiments de surface apporte de nombreuses précisions sur la conception et la réalisation des circuits. Les épissures de câbles ne sont plus admises et les câbles sont d'un seul tronçon entre les bornes des appareils qu'ils relient.

La complexité des réseaux, le foisonnement des câbles et le nombre important d'appareils ne permettent plus une identification des câbles par un code d'anneaux de couleurs. L'instruction technique consacre huit pages à expliquer la codification des appareils et des câbles. Chaque repérage étant signifiant du rôle de l'appareil, de sa localisation géographique et des circuits amont et aval de raccordement. Une fois le principe de codage acquis, un électricien peut identifier n'importe quel équipement grâce à ce marquage. Ce repérage symbolique n'est destiné qu'aux électriciens et il vient en complément de la désignation complète en langage clair pour la conduite des appareils. La séquence ci-dessous est l'étiquette du câble dont :

²²⁴ *Naval mobilization and improvement in materiel*, Washington, Office of naval intelligence, 1889c, p. 253.

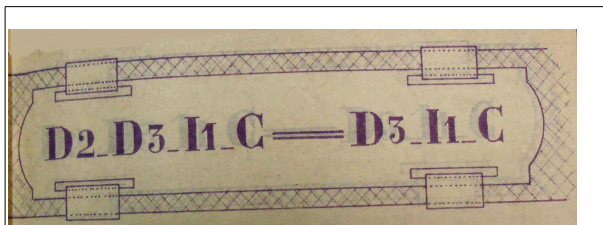


Illustration 78 : Codification des canalisations

IT N°II VII C, *Distribution de l'électricité*, Paris, Marine Nationale, 1931, p. 49

- une extrémité, située dans la tranche C du navire, est raccordée à l'Inverseur 1 de la 3^{ème} boîte de dérivation primaire D. (code D3_I1_C),

- l'autre extrémité, située dans la tranche C du navire, est raccordée à l'Inverseur 1 de la 2^{nde} boîte de dérivation issue de la 3^{ème} boîte de dérivation primaire D. (code D2_D3_I1_C)

Le repérage est inscrit sur des plaques en tôle émaillée ou sur des plaques en bronze fondu avec des lettres en relief polies sur fond verni noir. Au premier abord, un tel soin semble excessif et il n'a pas son équivalent dans des installations à terre. Si l'on prend en compte le besoin d'intervenir sur une nappe de câble après que la tranche concernée ait subi une aspersion de fioul, de vapeur, d'eau ou les flammes d'un incendie, ces dispositions prennent alors un autre sens. La robustesse du support physique et le codage sans ambiguïté des informations sont une réponse bien adaptée aux spécificités d'une flotte militaire.

2.4.E. Sécuriser la protection contre les surcharges

En 1904²²⁵, la densité de courant utilisée pour le calcul des sections des différents câbles est de 2 A/mm², exceptionnellement 3 A/mm². La chute de tension tolérée est de 4 %, ce qui autorise l'alimentation des lampes en sous-voltage, à 77,8 Volt. La puissance lumineuse est donc réduite, mais la durée de vie des lampes est sensiblement augmentée. Recommandés dans les locaux chauds et humides, les câbles à isolement supérieur ont une fabrication complexe qui associe plusieurs strates de matériaux : deux couches de caoutchouc naturel, deux couches de caoutchouc vulcanisé, deux rubans caoutchoutés et un enduit spécial. Les câbles qui passent dans l'entrepont doivent se prémunir des eaux de pluie ou de lavage : ils peuvent être enfermés dans des tuyaux de cuivre. Enfin, alors que des constructeurs isolent le bâti des dynamos de la coque, MINEL prône au contraire une connexion volontaire en argumentant que l'absence de propreté du local machine anéantit à terme l'isolation entre la coque et le bâti.

La protection de l'appareillage contre les surintensités se fonde sur deux phénomènes électriques distincts : l'échauffement par effet Joule pour obtenir la fusion d'un fil et l'effet électromagnétique pour entraîner un mécanisme d'ouverture de contacts. En pratique, les fils fusibles peuvent être remplacés par des conducteurs de caractéristiques différentes, voire par des fils de cuivre. Le risque d'incendie est réel et bien connu, mais faute de dispositif détrompeur, ces remplacements inadaptés persistent. La généralisation de disjoncteurs n'est pas envisageable, tant pour leur encombrement que pour leur coût.

A partir de 1926, les coupe-circuits à cartouche fusible avec un voyant indicateur de fusion remplacent les coupe-circuits à fils fusibles. C'est une évolution notable, la conception du dispositif intègre en amont la prévention²²⁶ des erreurs humaines. Les sept types d'embase

²²⁵ P. MINEL, *op. cit.*, 1904, p. 166.

²²⁶ Le terme anglais d'« idiot system » est explicite mais très péjoratif et peu respectueux de l'électricien de terrain.

peuvent recevoir dix-sept calibres de fusibles. Cette solution robuste est économique et peu encombrante, les pôles de chaque dérivation peuvent être équipés sans contrainte.

Un autre disposition constructive facilite l'évolution des installations sans recourir à un « bricolage avec les moyens du bord ». Des tableaux et des boîtes de jonctions sont conçus avec des départs en réserve, pré équipés de fusibles et de presse-étoupes. L'intervention en mer ou à quai en est facilitée, les gestes de l'électricien portent essentiellement sur le raccordement des extrémités des canalisations, et non plus sur des travaux de petite mécanique.

En 1931, le règlement relatif à la distribution de l'électricité²²⁷ est sans ambiguïté : les circuits principaux ne sont jamais bouclés. Ces circuits ne peuvent être alimentés que par l'extrémité issue du tableau de la station génératrice. Les récepteurs sont alimentés par les deux circuits principaux au moyen d'un interrupteur - inverseur qui interdit toute possibilité de leur mise en parallèle.

2.4.F. Ajuster les moyens et les missions de l'équipage

Encore plus qu'à terre, à bord l'humain pallie les défaillances du matériel. La question des moyens attribués au bord révèle le champ des gestes attendus par la hiérarchie des flottes. Ainsi en 1885, les marins de l'US Navy apprécient le bon fonctionnement des dynamos par l'observation subjective de la brillance d'une lampe à incandescence de référence : les électriciens ne disposent pas d'appareils de mesure. En 1887²²⁸, la demande d'un volt-mètre et d'un ampère-mètre doit être fortement argumentée pour mettre fin à une pratique rustique. Cette pénurie d'instruments est commune à l'ensemble des flottes, les équipements mobiles des instruments étant très sensibles au choc. L'outillage de l'électricien est un outillage d'ajusteur mécanicien, car les interventions portent sur les petits mécanismes et des modifications de câblage. Une avarie sur un bobinage de moteur relève des électriciens du port, mais la reprise d'un collecteur de moteur s'effectue à bord sur le tour de l'atelier de mécanique.

Les électriciens font face aux pannes inévitables, les installations se dégradant vite par l'usure et le vieillissement accéléré dû à l'humidité de l'air ambiant. La réparation de câbles en défaut d'isolement est un geste fréquent ainsi que le remplacement de lampes et de fusibles. A bord, tous les marins utilisent peu ou prou les équipements électriques, *a minima* pour s'éclairer. Toutefois, un principe général est explicite dans l'arrêté du 28 octobre 1910, son article 319 stipule : « *En dehors du service, il est interdit à tout homme de l'équipage de toucher à tout dispositif de la distribution électrique , et en particulier à l'éclairage.* » La crainte de l'incendie est présente et elle s'amplifie pour les artilleurs, du fait de leur proximité avec des matériaux instables et inflammables.

Ainsi, l'éclairage des soutes est expliqué en détail aux canonnières²²⁹, car les dispositions sont très particulières : les soutes à munitions sont éclairées par des fanaux placés à l'extérieur des soutes, au travers d'une épaisse glace étanche. Un fanal contient deux lampes, chacune alimentée par deux dynamos distinctes et éventuellement par des

227 *Distribution de l'électricité -IT N°II VII C*, Paris, Marine Nationale, 1931b, p. 1.

228 DANA GREENE, *op. cit.*, 1887, p. 54.

229 *Manuel du canonnier breveté*, 1915b, p. 135.

accumulateurs. La commande de l'éclairage de la soute est à l'extérieur. Enfin, à côté des lampes et dans le fanal, des bougies sont à poste pour suppléer au manque d'électricité.

La disponibilité de l'éclairage est essentielle, l'électricité est à la portée de tous, mais face aux petites pannes, il faut éviter que tout un chacun ne modifie les équipements. C'est une période de transition où la nouveauté n'est plus une curiosité sans pour autant être laissée systématiquement aux spécialistes. Cet entre-deux est entretenu par un certain flou dans l'organisation jusqu'en 1910, date de la création du Service Electricité et des Marin-électriciens. Néanmoins, la transformation des pratiques ne peut pas être instantanée, d'où la nécessité du rappel des règles en 1915 aux canonniers.

Cette adaptation de l'organisation est contingente. La flotte française formalise la spécificité des électriciens avec la création du brevet de spécialité en 1912. L'US Navy réagit plus rapidement, sa volonté de se construire une marine de rang international est un puissant aiguillon : dès 1908, les équipages disposent d'un référentiel, le « *Naval electricians' text book* » rédigé par le chef du Département d'ingénierie électrique à l'US Naval Institute. La posture initiale de la Royal Navy est résumée dans cet adage : « *Admiral Lord Nelson fought the Battle of Trafalgar without Electricity* ». Toutefois, après avoir temporisée, la Royal Navy crée la spécialité en 1902.

En 1921²³⁰, la description des gestes pour réaliser une jonction dissocie le raccordement mécanique des fils métalliques, leur connexion électrique par soudure éventuelle, puis l'isolement. Si l'intervention est pérenne, l'isolement est effectué avec plusieurs couches de caoutchouc, de toile et du chatterton étendu à chaud. Le processus pour un isolement de fortune est à base d'une lanière de caoutchouc enroulée, « *arrêtée par des demi-clefs et une surliure* » : l'électricien est un marin avant tout. L'idée d'isolement de fortune souligne la prise en compte de la réalité des aléas du bord : il est préférable de formaliser des pratiques de fortune plutôt que de laisser l'équipage sans directive.

Il est des pratiques que la hiérarchie préfère ignorer, laissant ce savoir-faire aux officiers marinières. Ces gestes se transmettent sur le terrain sans en trouver trace dans les manuels de formation. Cette tradition orale appartient à l'histoire de la profession, les anciens initiant les nouveaux avec force d'anecdotes. Le détournement de l'usage prescrit des équipements est ici assimilable à un rite de passage. Par exemple, les relais électromagnétiques établissent des connexions sans que le marin ne manœuvre les organes principaux de coupure. L'équipage mobile de ces relais ayant parfois tendance à se décrocher ou à battre la mesure dans certaines circonstances, l'électricien redevient un marin et immobilise le relais²³¹ avec une pinoche ou une cale.

2.5. Les évolutions du contexte scientifique et technique

La conception d'une installation électrique se confronte à plusieurs injonctions paradoxales que les hommes de technique résolvent toujours avec des moyens limités. Parmi les demandes paradoxales, la plus élémentaire peut se résumer ainsi : « Avoir des conducteurs d'une faible section tout en évitant les chutes de tension aux extrémités des canalisations et ce quels que soient les appareils en service ». La modélisation algébrique de ce problème reste simple, mais le nombre de configurations possibles est important car la structure du réseau est modulable (cf redondance opérationnelle) et les appareils connectés dépendent de la situation militaire.

230 *Manuel du matelot électricien -PREMIERE EDITION*, France, Marine Nationale, 1921a, 200 p.

231 Lucien BLANC, *op. cit.*, 1994, p. 102.

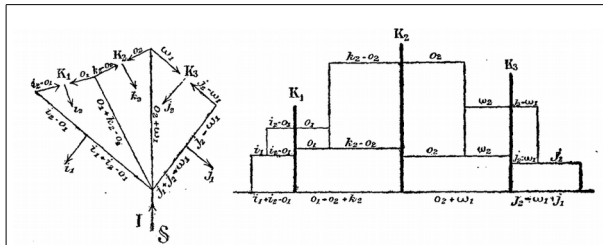


Illustration 79 : Schéma et diagramme de calcul

Source : Revue maritime, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1898, p. 154.

La résolution graphique de ces problèmes est un outil qui évite les calculs numériques tout en ouvrant un dialogue visuel entre électriciens : la recherche d'un optimum en est facilitée.

Ces méthodes viennent en complément aux tables et aux abaques, elles constituent de véritables notes de calcul des installations.

L'exemple ci-dessus concerne les circuits d'éclairage du croiseur de seconde classe l'*Afrique*, bâtiment de la marine impériale russe. L'intérêt de cet article va au-delà de l'explicitation des méthodes de conception. Rédigé en français par un lieutenant de vaisseau de la marine impériale russe, il prouve les échanges techniques entre puissances maritimes. Cet officier conclut son article technique par une formule excessivement courtoise et flatteuse : « ... *cette belle et puissante marine française qui mène à la remorque le progrès de l'œuvre maritime.* »

Les outils de l'ingénieur électricien sont stables sur la période, quelques supports de calcul apparaissent pour des problèmes spécifiques. Ainsi, des calculs de courants de court-circuit pour des réseaux alternatifs de transport s'effectuent avec des calculateurs analogiques dans les laboratoires de General Electric. Par ailleurs, certains dispositifs mécaniques utilisent des cames avec des profils logarithmiques, mais ces matériels sont confidentiels.

Dans une démarche diachronique, la comparaison entre deux croiseurs de la période d'étude permet de quantifier quelques écarts entre ces navires :

- le croiseur cuirassé *USS Maine*²³² d'un déplacement de 6650 Tx est lancé en 1895. Il est armé de tourelles mobiles grâce à l'hydraulique et deux dynamos assurent une production électrique totale de 64 kW sous 80 Volts.

- le croiseur léger *Emile BERTIN* est lancé en 1932 et déplace 5900 Tx . Ses tourelles sont à commande électrique et son parc de production électrique comprend quatre turbo-dynamos de 200 kW/235 V et trois groupes électrogènes diesel de 100 kW, soit un total de 1100kW.

D'un déplacement et de mission très similaires, les parcs de production sont dans un facteur 20 : l'électricité a envahi les usages en se substituant partiellement à la vapeur issue du charbon.

En effet au début du XX^{ième} siècle , la flotte française voit un changement notable dans les appareils propulsifs des navires en construction. Les chaudières cylindriques à tubes de fumée (dites chaudières gros tubes) laissent la place aux chaudières à tube d'eau. Les petits tubes de ces dernières chaudières permettent une vaporisation plus rapide mais la conduite en est plus délicate. Ces chaudières sont moins massives et ce gain de poids est un avantage certain. Le charbon reste encore le combustible de référence, mais les chaudières à fuel font

232 A. MORLEY, *Contract trial of the US armored cruiser Maine*, Washington, Journal of the American Society of Naval Engineers-Volume VII, 1895, p. 21.

leur apparition. En 1909, la marine française retient la turbine à vapeur²³³ pour la propulsion. Durant le conflit 14-18, les petits bâtiments de surface sont équipés de chaudières à tubes d'eau et brûlent du mazout. L'arrivée du mazout pour la propulsion facilite l'implantation des génératrices électriques à moteur diesel.

Le système embarqué, dans l'ensemble des flottes, repose sur des générateurs à courant continu alors que les systèmes de transport à terre se développent en courant alternatif. Dans les deux cas, la croissance des consommations impose l'installation de générateurs plus puissants, ce qui a pour corollaire une augmentation des courants de court circuit. Ces intensités peuvent atteindre des kilo-Ampères et les exploitants rencontrent des difficultés pour interrompre ces courants. Cette problématique n'est pas celle de l'objet technique « fil fusible », mais bien celle du système dans son ensemble car l'intensité du défaut dépend du générateur, de sa régulation et de ses protections, puis du réseau de distribution. A terre, ces questions butent sur les moyens de calcul disponibles, des dispositifs de maquette donnent des mesures qu'ils convient de transcrire en situation réelle²³⁴. Le système du bord rencontre des difficultés de même nature, mais plus délicate avec la coupure de courants continus. Si ces phénomènes transitoires sont modélisables sur le papier, les moyens de calcul font défaut. L'empirisme supplée à cette difficulté.

La confiance dans la commande électrique des principaux organes du navire est acquise. Ainsi en 1922, l'US Navy²³⁵ télécommande l'*USS Iowa*, navire destiné à être un objectif d'artillerie. Cette expérience parfaitement réussie démontre la fiabilité atteinte tant dans la commande que dans la maîtrise de la TSF

En synthèse, l'environnement est devenu largement porteur pour de très nombreux usages de l'énergie électrique, l'éclairage intérieur ayant été le révélateur des applications envisageables. La conversion d'énergie s'est simplifiée avec le fuel, combustible liquide d'une mise en œuvre aisée soit dans les chaudières, soit dans les moteurs diesels. Cette énergie transformée est maintenant disponible et transportable au plus près du besoin, avec des commandes à distance fiables.

Paradoxalement, cette abondance de puissance révèle une nouvelle frontière, le contrôle et la maîtrise des actions ainsi motorisées. L'efficacité s'exprime désormais en vitesse et précision des commandes, autrement dit en performance d'asservissement. Ce domaine est à la frontière de la puissance et de la mesure, de l'électrotechnique et du traitement du signal. En 1934, les travaux de Black²³⁶ et Nichols posent les outils mathématiques sur la stabilité des systèmes bouclés.

Par ailleurs, en 1907, la lampe triode ouvre de nouvelles possibilités d'amplification des signaux électriques, au-delà des amplificateurs magnétiques. Les briques élémentaires sont disponibles pour élaborer de nouveaux dispositifs plus intégrés et plus complexes mais le saut technique reste à faire.

233 René THERY, *Marine française et progrès technique*, Paris, Revue de la Défense Nationale, 1950, p. 478.

234 *Revue Générale de l'Électricité - Tome VII - N°14*, Paris, 1920a, p. 764.

235 *Radio World - Vol 1 - N°6*, New-York, Radio World Co, 1922a, p. 13.

236 H. S. BLACK, *Stabilized feedback amplifiers*, New-York, The Bell system technical journal, 1934.

2.5.A. Les ampoules

La fragilité mécanique des lampes à incandescence est cruciale dans l'environnement d'un navire, phénomène aggravé lorsqu'il s'agit d'une plate-forme d'artillerie : les lampes d'un bâtiment doivent être robustes aux vibrations et aux chocs. En interposant un support amortisseur entre la douille et le culot de l'ampoule, les effets vibratoires sont atténués.

La douille PIEPER est faite d'un fort fil enroulé en hélice, et le culot, modelé en forme de vis, vient s'engager dans cet écrou élastique. On visse le culot dans l'écrou sans difficulté, car alors le frottement tend à ouvrir les spires de l'hélice, et la tenue est excellente : si en effet le dévissage tend à se produire, le frottement ferme les spires si bien que, pour dégager la lampe de son support, il faut appuyer avec le doigt sur l'extrémité g de l'hélice pour en dilater légèrement les spires.

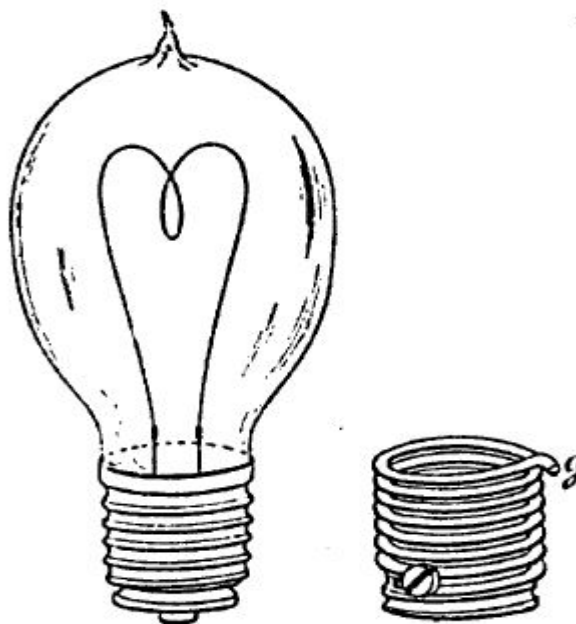


Fig. 817.

Illustration 80 : Douille à vis *PIEPER*

Source : Edouard AUBUSSON, *Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime*, Paris, Librairie Maritime, 1899, p. 248.

Une mesure préventive concerne la structure même de la lampe qui peut être soumise à des vibrations périodiques propres au régime d'une machine à vapeur et du navire. Pour éviter une résonance entre la vibration du bord et l'oscillation propre du filament, l'ingénieur demande de réduire le rapport l/d du filament. Une ampoule est caractérisée mécaniquement par la longueur l et le diamètre d de son filament, toutes choses égales par ailleurs.

La durée de vie des ampoules fait l'objet d'études multiples qui interrogent le lien entre de nombreux facteurs. Le sujet n'est pas anodin, car il impacte la quantité de pièces de rechange en stock à bord. Une durée de vie moyenne de 1000 heures correspond à 42 jours d'utilisation sans interruption, ce qui est le cas des salles de machines. Dans ce type de locaux, hors bris accidentel, les ampoules doivent être remplacées neuf fois par an, d'où la nécessité d'un stock à bord pour couvrir les besoins d'une mission de plusieurs mois. Le réapprovisionnement dans un port déplace simplement la question du stockage de ce consommable : il est donc judicieux d'optimiser la durée de vie efficace des lampes à filament.

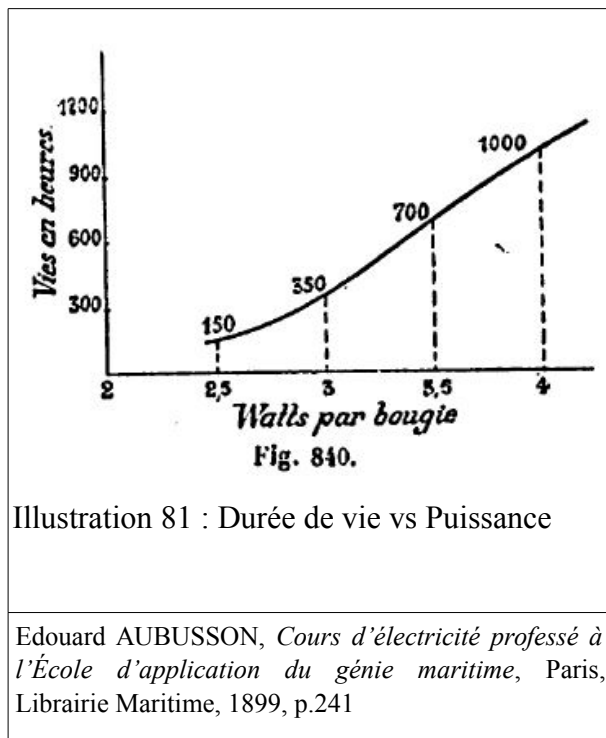


Illustration 81 : Durée de vie vs Puissance

Edouard AUBUSSON, *Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime*, Paris, Librairie Maritime, 1899, p.241

Pour un modèle de lampe, des études modélisent le lien entre la consommation de watts par intensité lumineuse et la durée de vie. D'autres paramètres interviennent tel que la tension d'utilisation, le matériau du filament, le gaz résiduel dans l'ampoule.

Devant la créativité des fabricants de lampes, la Marine procède à des études comparatives très fines pour déterminer le type d'ampoule le mieux adapté à son contexte.

Plusieurs décisions découlent de ces études, en particulier le choix de survolter ou non les lampes à incandescence, sachant que cela impacte fortement leur longévité efficace.

La connaissance des besoins en lumière dans les différents locaux du bord pilote l'implantation des luminaires, en nombre et en puissance lumineuse. Le Bulletin Officiel de la Marine statue²³⁷ sur les niveaux attendus : de 0,5 bougie/m³ pour les locaux généraux à 1 bougie/m³ pour les salles des machines, avec une exception à 3 bougie/m³ dans le poste de manœuvre. Il est remarquable que les circulaires n'expriment pas une exigence de résultat en intensité lumineuse mais en moyens à installer, chaque lampe correspondant à un nombre de bougies. Ce choix est un arbitrage pragmatique qui tient compte des compétences du bord. En effet, les lampes retenues sur les marchés passés entre la Marine et le fabricant font l'objet de recettes avec des mesures photométriques très complètes. Mais ce matériel est un équipement de laboratoire qui ne peut pas être déplacé à bord lors de la construction et encore moins en mer : cette difficulté matérielle explique le choix de la rédaction des circulaires, centrée sur les moyens et non les résultats.

Dans une salle des machines abritant un moteur triple expansion, l'éclairage est réparti sur 20 points lumineux. Des luminaires sont à demeure, fixés sur une cloison : ce sont des lampes murailles. Des lampes grillagées mobiles dotées d'un câble souple qui s'enroule sur un touret complètent cet éclairage de base : ces sources lumineuses portatives s'accrochent au plus près du besoin, parfois dans une partie hors du flux direct d'une lampe muraille.

Le problème de l'éclairage a donc plusieurs facettes, toutes imbriquées et avec un recul limité face aux évolutions permanentes que proposent les fabricants. Les réponses contiennent toutes un arbitrage entre niveau de lumière, tension, consommation d'énergie, durée de vie, confort de vue. Le problème est vaste et les connaissances s'élaborent au fil des expériences partagées.

237 Circulaires des 10 juin 1800, 31 mai 1807 entre autres

La tension de 80 Volts est le standard du bord, valeur qui peut varier selon l'implantation des luminaires et la charge des conducteurs qui aboutissent à ces appareils. Les chutes de tension sont calculées pour ne pas atteindre 2 %, soit 1,6 Volts.

Un écart de 5 % de la tension aux bornes d'une lampe impacte très sensiblement sa durée de vie : ceci explique que le parc de lampes à bord est en perpétuel remplacement, indépendamment de la dispersion propre à la fabrication des appareils.

Phénomène cumulatif, les qualités lumineuses décroissent avec l'usage, un dépôt de matière obscurcissant progressivement la paroi de verre.

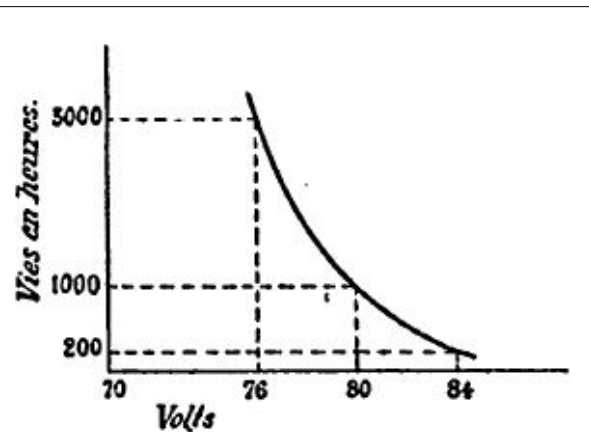


Fig. 818.

Illustration 82 : Durée de vie vs voltage

Source : Edouard AUBUSSON, *Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime*, Paris, Librairie Maritime, 1899, p.249

En 1907, alors que le conflit entre MM. Edison et Tesla est dans toutes les mémoires, une nouvelle approche comparative entre le courant continu et le courant alternatif est présentée à Washington²³⁸. La question concerne le lien entre la fréquence du courant et l'efficacité lumineuse de la lampe. En effet, la régulation de la génératrice amène des glissements de fréquence, phénomène qui serait sensible aux utilisateurs. Pour une fréquence de référence de 25 Hz, le phénomène est observable, mais il ne le serait plus pour des fréquences de 50 ou 80 Hz. L'expérience est menée avec une lampe à filament de charbon incandescent, sous 110 et 55 Volts. D'autres expériences sont menées à des fréquences de 15 et 42 Hz. L'article publié dans une revue française ne mentionne pas la conclusion retenue à Washington. Par contre, l'auteur souligne que « *dans notre pays ... pour l'éclairage on se sert de fréquences variant de 50 à 80 périodes.* » Cette étude n'est pas anecdotique, mais tout à fait significative des questions qui restent en suspens de part et d'autre de l'Atlantique sur l'intérêt ou la nécessité de recourir au courant alternatif, y compris pour une fonctionnalité de base : l'éclairage intérieur.

La question de l'efficacité des lampes à incandescence est importante, tant pour le fabricant que pour l'utilisateur. En effet, la lampe à incandescence perd de son pouvoir éclairant au fur et à mesure de son utilisation, essentiellement par dégradation du filament porté à haute température. Dans un article de la revue²³⁹ de la société, un chercheur de laboratoire de GENERAL ELECTRIC interpelle ses lecteurs en montrant les approches multiples autour de l'efficacité des lampes à incandescence. Il argumente en comparant deux modèles de lampes de 100 W de consommation en énergie électrique, une lampe à filament de carbone et une à filament de tungstène :

238 *Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°16*, Paris, 1907b, p. 297.

239 *General Electric Review*, New-York, 1907c, p. 55-66.

- Une mesure des pertes par effet thermique. La lampe à filament de carbone dissipe 94 % de chaleur, alors que la lampe à tungstène est plus frugale avec 85 % de perte calorifique.
- Une mesure de la lumière émise dans le spectre visible. Le filament carbone « convertit » 3,5 % en lumière visible, soit moins que les 9 % du filament tungstène.

En 1907, ces approches purement scientifiques se percutent avec les données économiques et réglementaires. En effet, si le coût d'acquisition d'une lampe est en défaveur du filament tungstène, la durée possible d'utilisation pourrait compenser ce désavantage. Mais, l'auteur de l'article constate qu' « *une grande autorité a décidé que les lampes à incandescence ne devaient pas être remplacées au-delà de 500 heures d'utilisation* » ! La vision technique ne peut pas donc ignorer le champ réglementaire, qui pilote de fait l'économie du dispositif industriel amont (la production et la distribution de l'énergie électrique) et aval (l'usage comme éclairage de particuliers). Le chercheur plaide pour une pratique différente en survoltant les lampes Tungstène pour en accroître l'efficacité et les rendre ainsi compétitives économiquement.

A partir de 1914, GENERAL ELECTRIC met sur le marché une lampe à filament de tungstène dans une ampoule de verre remplie de gaz²⁴⁰ : la lampe MAZDA C. C'est une évolution adaptative de la version précédente (la lampe MAZDA B) où le filament était dans le vide de l'ampoule. Cette lampe vise l'éclairage public des rues car son argument commercial se fonde sur un coût global d'exploitation et de remplacement, critère important pour les municipalités. Au-delà de ce modèle, les fabricants se sont engagés dans une optimisation de l'objet en agissant sur tous les paramètres à leur main. Ces recherches appliquées ne peuvent que bénéficier aux clients exigeants que sont les flottes militaires.

En 1916, l'US Navy considère²⁴¹ que le niveau d'éclairage dans les locaux d'un navire doit répondre à un cahier des charges précis. Pour cela, l'emploi des lampes à filament tungstène est généralisé, sauf pour les lampes à main qui conservent les lampes à fil carbone, moins sensibles au choc. La profusion des ampoules interagit sur le système électrique, en particulier sur le niveau de tension : il passe de 125 à 240 Volts sur trois fils, soit toujours 120 Volts pour l'éclairage. Cette adaptation incrémentale n'est pas perceptible pour l'usage, mais elle est très efficace pour le fonctionnement masqué du système, génératrices et réseaux de distribution.

Alors qu'en 1899, l'ingénieur AUBUSSON calculait la consommation de l'éclairage intérieur d'un cuirassé à 28 kW, l'US Navy²⁴² aboutit en 1917 pour le même navire et le même usage à 75 kW. En 20 ans, les besoins en énergie pour l'éclairage ont presque triplé .

²⁴⁰ *General Electric Review*, New-York, 1921b, p. 734.

²⁴¹ *La lumière électrique - Deuxième série - Tome XXXV - N°43*, Paris, 1916, p. 1.

²⁴² McDOWELL, *op. cit.*, 1917, p. 443.

2.5.B. Les isolants électriques

La fabrication des conduits électriques pourrait être un sujet d'études historiques en soi, car la fin du XIX^e siècle voit la mise en place d'un dispositif industriel en adaptation constante. Les applications de l'électricité, du télégraphe et du téléphone demandent des conducteurs électriques de tous types, de toutes longueurs et dans des environnements très variés. Les propos ci-dessous ne sauraient donc être exhaustifs, mais il est toutefois nécessaire de souligner les interactions entre ce composant et le système technique, objet de la présente étude.

En premier lieu, la métallurgie peut-elle produire un conducteur de qualité électrique ? Cette qualité est appréciée selon l'utilisation et le besoin en contexte. Ainsi, certaines canalisations extérieures sont réalisées en simple fil de fer alors que les exigences pour les câbles télégraphiques sous-marins sont d'une toute autre complexité. De manière prépondérante, l'attention se focalise sur un métal, le cuivre, dont la conductibilité convient bien à la réalisation de conduits pour les réseaux. Ce matériau est facilement étirable en fils, bien adapté pour la fabrication des bobinages des divers appareils électromagnétiques. Rapidement, les marines exigent un cuivre « pur » à 96 % car un taux supérieur d'impureté augmente la résistivité, dégrade les qualités mécaniques et présente des risques de réactions chimiques néfastes. Pour se prémunir de l'oxydation superficielle de l'âme conductrice, les fils de cuivre sont recouverts d'étain. Ce revêtement améliore le contact électrique lors des connexions et facilite l'adhérence des isolants qui recouvrent l'âme centrale. Autre métal conducteur, l'aluminium n'est pas retenu comme un matériau pertinent pour le système électrique à bord : ses caractéristiques mécaniques et chimiques n'offrent pas un recul suffisant, son déploiement réalisé ponctuellement dans les réseaux terrestres ne convainc pas.

Dès 1820²⁴³, les câbles de transmissions télégraphiques sont constitués de fils isolés à la soie naturelle. A partir de 1840, les fils sont isolés par un nouveau matériau à base de gomme extraite de certains arbres tropicaux : la gutta-percha. Ce produit est utilisé notamment pour les câbles sous-marins télégraphiques. L'invention de la presse à plomb par l'ingénieur suisse Borel en 1879, marque un tournant dans l'histoire des câbles souterrains. Cette technique permet de mouler une gaine de plomb directement sur les conducteurs isolés aux fibres de jute et supprime en partie les problèmes d'absorption d'humidité en rendant le câble étanche. Peu après, l'isolant en jute est imprégné d'un mélange d'huile et de résine, composant clé des câbles monopolaires concentriques à 3 000 V qui sont posés à Paris. En 1890, le passage des fibres de jute au papier imprégné est une autre évolution incrémentale. Le procédé d'imprégnation permet d'améliorer les propriétés connues d'isolation du papier, tout en supprimant les problèmes liés à l'absorption de l'humidité : les perfectionnements ultérieurs portent sur la matière d'imprégnation (des mélanges minéraux remplaçant les matières végétales) et sur les papiers, plus minces et de meilleure qualité. Ces évolutions répondent bien aux attentes des réseaux souterrains, mais les besoins des Marines restent sensiblement différents. L'environnement d'un navire est très agressif mécaniquement et les canalisations ne doivent pas, autant que possible, être des vecteurs d'incendie.

243 Source : <http://www.rte-france.com/webapp/100ansparis/index.html> consulté le 18/09/2018

Dès 1889²⁴⁴, les propriétés des matériaux isolants sont appréciées avec un certain recul afin de s'assurer de leur efficacité en contexte. Ainsi, la résistance de la gutta-percha et du caoutchouc diminue lorsque la température augmente: cette valeur passe de 4,5 à 1 lorsque la température augmente de 14°C à 24°C. Cette propriété est un handicap pour ces matériaux d'origine végétale. En 1894, les publications scientifiques²⁴⁵ font état de travaux visant à améliorer le caoutchouc vulcanisé et la gutta-percha. Des substitutions par d'autres matériaux isolants sont annoncées, telle la *guttaline* de MM. WORMS et ZWIERCHOWSKI, ou le caoutchouc minéral au Royaume Uni. Ces annonces restent sans lendemain, en tout cas dans le milieu des flottes militaires.

La clientèle maritime de l'industrie électrique a besoin d'isolants très spécifiques²⁴⁶, capables de supporter une immersion prolongée. Ainsi, en 1904, le vernis Planté est destiné aux locaux renfermant des accumulateurs : il n'est pas attaqué par l'acide sulfurique, n'est pas détérioré à 150 °C et affiche une tension de perforation de 11 k Volts. Des travaux sont menés sur des vernis et des émaux isolants, susceptibles d'être intégrés dans les bobinages ou les conducteurs de navires.

La croissance de la consommation électrique à bord est particulièrement forte sur la période 1880-1890.

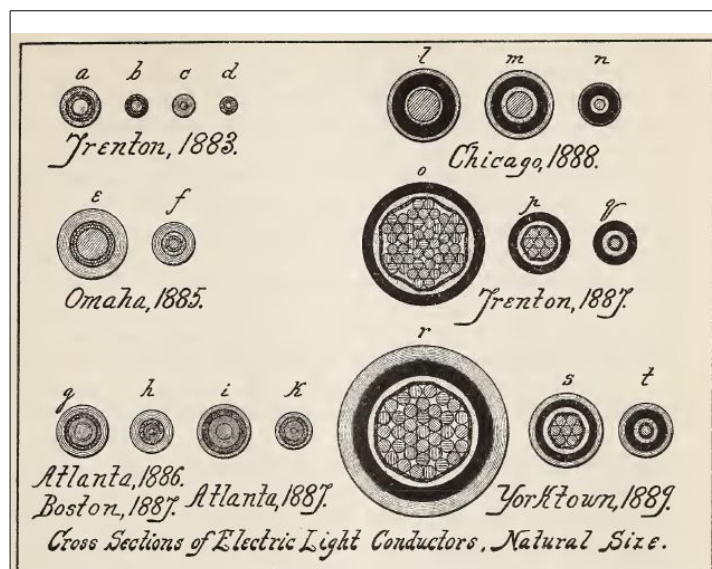


Illustration 83 : Croissance des sections de câbles

Naval mobilization and improvement in materiel, Washington, Office of naval intelligence, 1889c, p. 269.

Les sections des conduits électriques sont un indicateur très visuel de ce phénomène.

Consciente de cette transformation, l'US Navy étudie en détail ces matériels et publie un rapport très complet de dix pages.

Les préoccupations concernent l'isolation des conducteurs et le choix des matériaux à retenir. La mise en œuvre de couches imbriquées est une question majeure qui est analysée avec ses multiples conséquences sur la rigidité du câble et sa technique de pose.

Une difficulté pratique existe : le vieillissement de l'isolant des conduits est une cause de pannes à terme. En effet, les électriciens constatent que les produits qui entourent l'âme métallique conductrice d'un câble se dégradent au fil du temps et que ce phénomène est relativement aléatoire. Cette question est étudiée de manière empirique afin que les techniciens disposent d'une réponse simple pour réaliser des installations fiables dans la durée.

244 LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 425.

245 Louis FIGUIER, *L'année scientifique et industrielle*, Paris, Librairie Hachette, 1894, p. 221.

246 Victor KRAMMBRER, *op. cit.*, 1905, p. 39.

Plusieurs séries de mesures sont faites sur des câbles afin d'observer le lien entre température de l'âme métallique, isolation, température extérieure et évolution à court terme.

En 1890, il ne s'agit pas de modéliser scientifiquement ce processus complexe mais de se fixer des règles pour accepter des matériels à bord.

Les essais de recettes des câbles sont similaires d'une flotte à l'autre : une longueur de câble est placée dans un bac d'eau de mer et son isolement doit rester dans une fourchette pour que la fourniture soit conforme au marché.

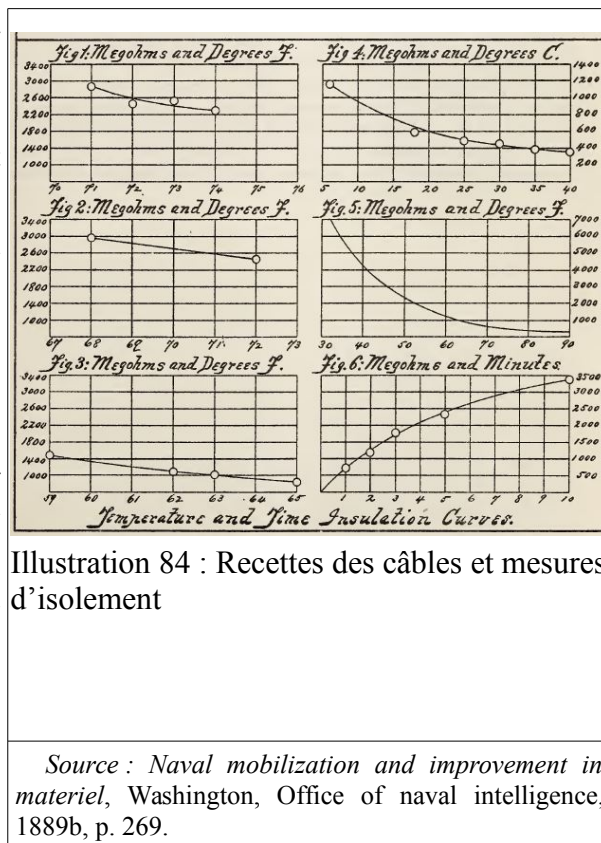


Illustration 84 : Recettes des câbles et mesures d'isolement

La compréhension fine du lien entre matériau et maintien des performances dans le temps est de la responsabilité du fabricant.

Concernant le délicat dosage des composants de la gaine isolante, l'US Navy²⁴⁷ opte en 1917 pour un taux de 40 % de caoutchouc pur dans les câbles de bord. Ces canalisations sont recouvertes d'une tresse ou d'un feuillard en acier, ce qui assure une protection mécanique et une protection contre les courants induits par les équipements de TSF. La protection mécanique se justifie à la fois par le risque important de chocs , mais aussi par l'appétence forte des rongeurs²⁴⁸ pour le caoutchouc. Dans les endroits à température élevée (salle des machines entre autres), le caoutchouc est remplacé par un isolant fixé par un vernis.

Dans l'univers militaire, le choix d'un câble peut difficilement rester empirique et être arbitré à dire d'experts. Pour un usage donné, le fait de sur-dimensionner ce matériel représente dans un premier temps un surcoût de construction, avec une emprise à bord au détriment d'autres équipements, puis un coût permanent d'exploitation car l'excès de matière est un poids mort inutile pour le navire. *A contrario*, un dimensionnement insuffisant amène des échauffements indésirables, un vieillissement accéléré des composants et un risque accru de pannes. L'examen des tenants et des aboutissants de ce type de question relève sur le fond de démarches contingentes dont il ne faut pas attendre une vérité intangible. Néanmoins, ces arbitrages s'expriment au travers de règlements, chaque marine ayant de bonnes raisons d'avoir ses propres « standards ».

Les tableaux réglementaires de matériels guident le choix du matériel qui convient dans la situation rencontrée : ils évitent des questionnements multiples et réitérés. Le choix qu'ils formalisent se fonde sur une pondération entre les avantages espérés et les inconvénients perçus, l'ensemble de ces facteurs restant l'objet d'appréciations dont certaines

247 McDOWELL, *op. cit.*, 1917, p. 443.

248 Lucien BLANC, *op. cit.*, 1994, p. 102.

sont construites sur des modèles rationnels. Il est intéressant de constater certains écarts entre ces approches, véritables marqueurs épistémologiques.

Ainsi, en 1919²⁴⁹, l'US Navy remet à plat ses pratiques en matière de câbles électriques. Dans un premier temps, pour un conducteur en cuivre, la référence de la densité de courant admissible était de 1,27 A/mm². Ultérieurement, le principe de réalité²⁵⁰ amène à distinguer les usages permanents des usages intermittents : dans le premier cas, la densité de référence devient 1 A/mm² alors que dans le second cas, elle passe à 0,5 A/mm². Les usages intermittents étant souvent brefs et violents, cette faible densité de courant limite l'échauffement ponctuel de ce type de canalisation. Ces hypothèses arbitraires sont complétées par l'exigence de limiter les chutes de tension dans les installations, ce qui est le plus souvent le premier facteur limitatif : pour des raisons de chute de tension, la densité dans les conducteurs est inférieure au seuil réglementaire et aucun échauffement n'est constaté. Concrètement, lors du développement des consommations du bord, certains câbles de fortes sections (> à 200 mm², soit un diamètre de 16 mm) ont montré des échauffements notables : cela a interrogé les pratiques et une étude est lancée en 1914.

Le dispositif expérimental concerne différents câbles : simple (5) et double (6) conducteurs, sous enveloppe de plomb et sous feuillard métallique. En 1915, les premières mesures visent à déterminer la densité de courant qui entraîne un échauffement de 30°C d'un câble placé seul dans une pièce d'une température stable de 25°C. Ce protocole de test est contesté car trop en écart avec la pose des câbles dans les fonds d'un navire.

Après avoir fait étudier le nouveau problème des câbles haute tension en courant alternatif destinés aux moteurs de propulsion de l'*US S Jupiter*, l'US Navy reprend l'étude des câbles basse tension selon un autre protocole. La température ambiante de référence est alors de 45°C et trois régimes de marche sont examinés : régime permanent, surcharge de 30 mn après un régime permanent, surcharge de 30 mn partant de la température ambiante. Les mesures déterminent la densité de courant qui amène un échauffement de 15, 25 ou 30°C selon le régime de marche et la nature de l'isolant (caoutchouc ou vernis). Pour ne pas dégrader les isolants, la température de 75°C est la valeur maximum atteignable. Les sections objets de l'étude s'échelonnent de 4,5 à 830 mm², mais les mesures ne concernent qu'un échantillon restreint de câbles. Partant de ces mesures, une modélisation mathématique²⁵¹ est élaborée et confrontée aux résultats. Une fois validé, ce modèle devient l'outil qui donne les valeurs admissibles pour les câbles non testés. Les résultats des intensités maximales sont présentés dans sept tableaux selon les types de câbles, leur isolant et leur section de cuivre. Selon l'usage permanent ou non, deux valeurs d'intensité sont mentionnées pour chaque câble. Ainsi, pour un câble de 4 mm², il n'y a pas d'écart entre les deux valeurs. Par contre, pour un câble de 800 mm², le régime permanent est de 605 A alors que le régime non permanent est de 865 A.

Pour être en cohérence avec les hypothèses thermiques ci-dessus, les appareils récepteurs sont scindés en deux catégories : usage permanent et usage non permanent. Un moteur qui fonctionne à plein régime ou plus pendant une période n'excédant pas une demi-

249 Alexander CHARLTON, *Current-carrying capacity of electric cables*, US Navy, Washington, Journal of the American Society of Naval Engineers, 1919, p. 794.

250 Ce principe est une des règles de bases des métiers de l'ingénierie. Ces corollaires sont connus sous le terme générique des lois de Murphy.

251 Les résultats de ses travaux sont synthétisés dans un article de 23 pages qui détaille la modélisation mathématique, les hypothèses et les approximations retenues.

heure relève des usages non permanents : un guindeau, un pointage de tourelle, le virage de turbine et d'arbre, entre autres. Pour un projet de canalisation, selon le régime de marche des récepteurs, le calcul du courant transité s'effectue avec ces conventions. Sur la base de la valeur obtenue, la section de canalisation est choisie en respectant la valeur d'intensité admissible, conformément au modèle.

Le dimensionnement du fusible protégeant la canalisation s'effectue ensuite par rapport à la puissance appelée par les appareils raccordés et non pas par rapport à l'intensité maximale des conducteurs.

De ce côté-ci de l'Atlantique, en 1927, la Société Française des Electriciens (S.F.E.) traite du même sujet avec une problématique élargie au vieillissement de l'isolant. Les études sont relatives aux conducteurs isolés au caoutchouc, destinés à une pose dans les installations intérieures avec des sections de 0,6 à 200 mm². Les mesures ne concernent qu'un échantillon restreint de 12 canalisations, avec trois conditions de pose différentes : à l'air libre, sous moulure en bois et sous tube en tôle plombée. La mesure de la température du conducteur est indirecte, obtenue par déduction de la mesure de la variation de résistance du conducteur. M. LEMENAND fait état de travaux similaires menés à Berlin par le Dr APT : les deux laboratoires aboutissent aux mêmes conclusions. Il termine sa communication de manière pragmatique en donnant les intensité maximales admissibles pour des conducteurs avec un isolant en caoutchouc. Ces valeurs ne peuvent pas être rapprochées des valeurs de l'US Navy, les matériels étant très différents.

Section en mm ²	Expériences allemandes en A	Expériences françaises en A
2,5	25	26
10	55	57
25	100	100

Il est tout à fait remarquable qu' en 1927, la problématique de la densité de courant admissible reste ouverte et en débat. Le compte-rendu des débats de la S.F.E. à l'issue de la communication souligne un autre point, l'absence d'un consensus sur les essais de vieillissement. Les constructeurs défendent leur dispositif à base d'étuve et d'atmosphère de gaz carbonique, protocole censé créer un vieillissement artificiel. Les représentants des utilisateurs n'adhèrent pas à cette approche, trop éloignée selon eux de la réalité de pose. Toutefois, les participants s'accordent sur le temps nécessaire pour obtenir un équilibre de température sur un câble : six heures pour un câble armé et quatre heures pour des fils sous caoutchouc.

C'est dans un tel contexte d'opinions divergentes que les flottes se doivent de décider et de prendre les meilleures options pour construire leurs navires : chaque marine met en place ses propres standards afin de maîtriser la qualité et les performances des livraisons de ses fournisseurs. La science et la technique ne sont pas en mesure d'aller plus loin dans ces questions, le dernier mot reste à l'utilisateur final.

Vers 1934, la robustesse des canalisations électriques fait un saut technologique majeur lorsque le SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES met au point un

câble à isolant minéral, commercialisé sous le nom de PYROTÉNAX²⁵². Cette canalisation se compose d'un ou plusieurs conducteurs isolés entre eux et par rapport à la gaine métallique faisant enveloppe, au moyen d'un isolant réfractaire pulvérulent comprimé. Le métal employé est le cuivre, l'isolant est un oxyde de magnésie stable. Ce produit fait l'objet de quatre brevets français et des brevets ont été pris dans dix-neuf pays.

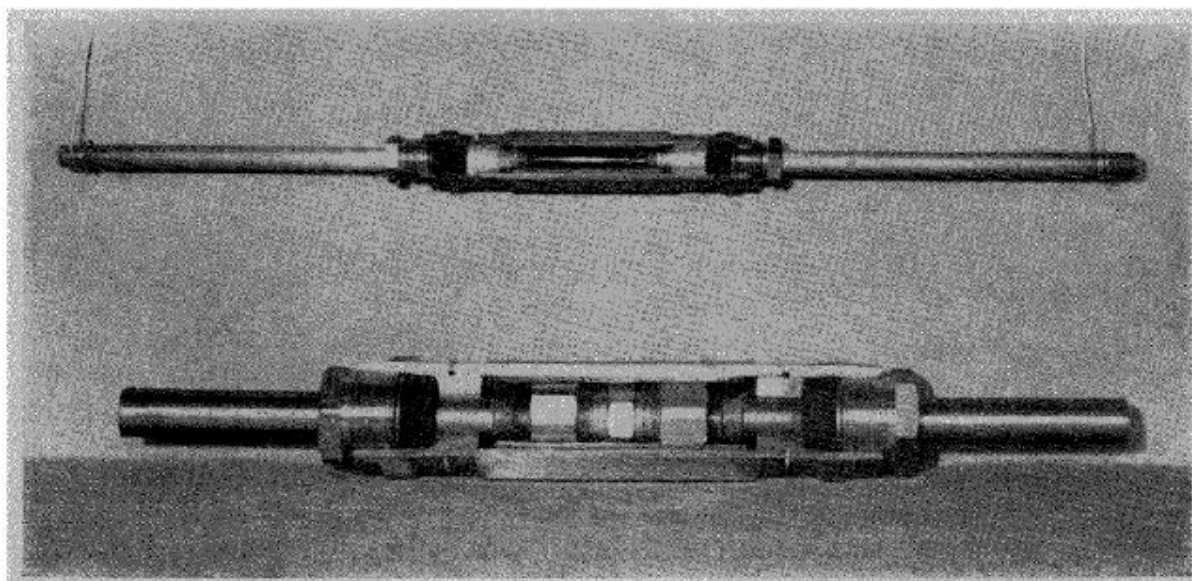


Fig. 4. — CÂBLE PYROTÉNAX : JONCTIONS élanches.

Illustration 85 : Câble à isolant minéral et à gaine métallique

Source : *Les caractéristiques à prescrire pour la sécurité des conducteurs électriques*, Paris, Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, 1939, p. 189.

Ce matériel, tout à fait atypique, résiste à une flamme de 800°C pendant 30 mn, supporte trois fois son intensité nominale pendant 60 mn et n'est pas affecté par les lances à incendie pendant 27 heures. Son emploi dans les chaufferies et les salles des machines des navires se développe dès 1935.

2.5.C. L'apport de l'archéologie subaquatique

Des artefacts de cette période existent en nombre restreint dans quelques musées maritimes, mais ce patrimoine ne se prête pas à des observations ou des mesures, sa préservation étant légitimement primordiale. *A contrario*, les océans réservent nombre d'objets à étudier, les épaves étant relativement inaccessibles aux dégradations humaines. Parmi l'estimation des 2 500 000 épaves au fond des mers de la planète, certaines concernent les navires objets de cette recherche et parmi celles-ci, quelques unes sont à faible profondeur, en particulier sur les côtes bretonnes.

Ayant observé des fragments de canalisations sur des épaves durant mes récentes plongées, j'ai procédé à une analyse sommaire d'un de ces objets. La pièce est de petite dimension, environ 32 cm, mais ce fragment de câble est suffisant pour mener une série de constats et de mesures physiques.

Ce câble provient de l'épave du cuirassé allemand *Thuringen* lancé en 1911 et coulé en 1921 au sud de Gâvres, à Lorient. L'épave est disloquée mais distante de 200 à 300 m du

²⁵² Le terme Pyroténax est devenu un mot courant, tout comme frigidaire pour réfrigérateur.

bord. Après des tempêtes, on trouve parfois sur la plage des morceaux de canalisations gainées de plomb. Un échantillon collecté en octobre 2018 a été conservé dans de l'eau douce avant d'effectuer des relevés et des mesures physiques. Les résultats sont très convaincants, ce produit ayant encore de bonnes caractéristiques électriques après avoir subi une immersion ininterrompue d'une centaine d'années. Durant son long séjour dans l'océan, des organismes se sont fixés et développés sur ce support, sans toutefois altérer l'épaisseur de la gaine protectrice.



Illustration 86 : Prélèvement archéologique d'un câble au plomb 1911

Source : Collection personnelle

Ce câble comporte deux fils conducteurs en cuivre et une gaine de protection en plomb. Le diamètre des conducteurs de cuivre est d'environ 1,1 mm, son usage pouvait être d'alimenter un luminaire ou un appareil de faible puissance.

Ce fragment de canalisation a subi de nombreux efforts mécaniques, il n'était plus raccordé mécaniquement à la coque ou à un autre objet : son parcours entre l'épave et la plage de sable a été très cahotique.

Une mesure sommaire de ce fragment permet de constater un isolement supérieur à 2 M ohms entre chacun des trois composants, la gaine en plomb et les conducteurs en cuivre. La continuité des fils de cuivre est bonne, les fils n'ont pas subi de dégradation électrolytique.

L'annexe 5 reprend l'ensemble des informations et mesures sur cette source archéologique.

2.5.D. Le courant alternatif et ses régulations

Dans les années 1880, la question des avantages comparatifs du courant alternatif et du courant continu s'est posée en France comme ailleurs. La Revue Industrielle fait état de résultats de mesures d'éclairage comparant des lampes alimentées selon les deux modalités. Les essais sont effectués dans le laboratoire de la maison GRAMME et l'article d'Hippolyte FONTAINE conclut en défaveur du courant alternatif avec un facteur 3²⁵³. Cette issue n'empêche pas la généralisation du courant alternatif dans les réseaux terrestres, avec une diffusion par zones géographiques.

La Marine française n'ignore rien des attraits du courant alternatif à terre, car en octobre 1905, le Ministre de la Marine décide d'équiper le port de Brest de turbo-alternateurs triphasés de 750 et 950 kW.

En 1913, l'US Navy réalise un navire charbonnier à propulsion entièrement électrique, l'*USS Jupiter*. Ce navire de soutien déplace près de 20000 T et son exploitation est un succès. Les deux génératrices²⁵⁴ sont des alternateurs de 5450 kW sous 2300 V à 33 Hz. Cela ouvre une voie qui sera dans un premier temps exploitée par la marine de commerce, les flottes militaires restant prudentes sur les performances dans la durée d'un tel matériel. En effet, en 1917, l'US Navy²⁵⁵ poursuit l'automatisation de sa flotte et ses derniers cuirassés disposent de puissants générateurs. L'installation standard comprend quatre turbo-générateurs en courant continu, chacun de 300 kW. Ces générateurs débitent en 240 Volts pour un réseau en 230 Volts.

Dans les années 1920, le succès de l'*USS Jupiter* remet en cause le règne du courant continu à bord. Le pas est franchi avec les destroyers de la classe *Farragut* lancés en 1934. Il s'agit de navire de 1400 Tonnes Washington et d'une longueur de 104 m. Ces destroyers²⁵⁶ reçoivent une installation complète en courant alternatif 230 Volts, triphasé en 60 Hz. La puissance est fournie par deux turbo-alternateurs de 125 KVA. Il s'agit de navires équipés de deux chaudières mazout et leurs besoins en puissance électrique sont relativement faibles.

La tension de 230 Volts permet l'utilisation de la norme commerciale de 200 Volts pour les moteurs, ce qui simplifie l'approvisionnement. Dans le cas présent, les principaux avantages attribués au courant alternatif sont la simplicité de conception, la robustesse et la fiabilité des génératrices et des moteurs, une diminution des pièces de rechange. L'exploitation de l'installation est plus efficace, les étincelles des collecteurs ont disparu ainsi que les courants électrolytiques vagabonds et les effets perturbateurs sur le compas magnétique. Les principales difficultés tiennent à l'alimentation de secours pour les auxiliaires vitaux. Ces derniers restent alimentés sur des batteries. La répartition de l'utilisation de la puissance entre les deux types de courant est l'une des questions majeures pour la sécurité de fonctionnement. Ainsi, deux dynamos en 120 volts entraînées par un moteur à courant alternatif fournissent l'alimentation en courant continu des projecteurs et de la batterie de stockage. Enfin, la conception des tableaux électriques est plus complexe car certains auxiliaires nécessitent des vitesses variables, obtenues avec des moteurs hydrauliques.

253 *op. cit.*, 1879b, p. 263.

254 ROBINSON, *op. cit.*, 1914, p. 191.

255 McDOWELL, *op. cit.*, 1917, p. 442.

256 T. E. CASSEY, *op. cit.*, 1932, p. 457.

Sans détailler les tableaux, il apparaît toutefois des écarts significatifs avec des matériels similaires en courant continu :

- l'encombrement de l'appareillage est supérieur, effet du passage de deux à trois pôles du triphasé,
- la présence du régulateur de tension,
- le contrôle des excitatrices,
- l'existence de plusieurs jeux de barre : 230 V triphasé, 120 V mono phasé, 120 V continu,

La continuité de service est obtenue par la répartition des utilisations sur neuf jeux de barre, chacun ayant une alimentation priorisée et même sécurisée dans le cas des usages en courant continu avec batterie de stockage.

La question de la stabilité de la tension est un problème nouveau pour les concepteurs. En effet, les exigences à bord sont fortes car les appels de charge atteignent aisément 25 % des capacités nominales lors de manœuvre et l'US Navy demande une tension stable à 1 %. De telles amplitudes ne se rencontrent pas sur les réseaux de production à terre, du fait du foisonnement des charges et des génératrices. D'autre part, l'expérience acquise avec les dynamos du standard marine ne peut pas se transférer : les régulations compound intègrent la variation de charge directement dans les circuits magnétiques d'excitation, sans dispositif intermédiaire. Pour un alternateur, la régulation de la tension alternative s'obtient en modifiant le courant continu de l'excitation : l'interaction directe n'est pas envisageable. Les régulateurs sont des dispositifs à rhéostat motorisé qui donnent des temps de réponse bien supérieurs aux performances des dynamos compound.

Le système comprenant une centrale AV et une centrale AR, le couplage en parallèle des alternateurs est une particularité supplémentaire, d'une difficulté assimilable au couplage de dynamos en quantité et à distance.

Selon l'utilisation du moteur, les techniciens retiennent des moteurs à induction à cage d'écureuil ou à rotor bobiné. Pour obtenir des vitesses variables, le recours à une interface hydraulique est parfois utilisé.

Les destroyers de la classe *Farragut* sont le palier technique où le courant alternatif tente de s'imposer à bord. Il faut toutefois faire avec les systèmes préexistants qui nécessitent le maintien du courant continu. Cela pose la question de l'utilisation proportionnée, question qui est encore d'actualité en 2019. D'autre part, une étude comparative conclut à un surpoids de 20 % pour une installation en courant alternatif comparée à son homologue en courant continu. Ce chiffre concerne un projet de croiseur de 10 000 T en excluant les moteurs et les régulateurs.

Comme toute étude, ce type de conclusion peut être piloté ne serait-ce que par le choix de son périmètre. Cette étude peut aussi être à charge, car ces résultats influencent les équilibres économiques des industriels du secteur : une étude technique est parfois un travail de bureau dont les conclusions attendues font implicitement parties de la commande. Seule une comparaison de prototypes construits serait en mesure de donner des retours d'expérience fiables. Cette source unique reste donc à valider.

2.6. La particularité du croiseur Emile BERTIN

2.6.A. Une base de configuration classique

Le réseau électrique de l'*Emile Bertin* est en 235 V courant continu. La production d'électricité est assurée par quatre turbo-dynamos de 200 kW chacune, réparties par paires dans les tranches machines avant et arrière au niveau du premier pont. Ces machines ont une surcharge temporaire admissible de 266 kW, soit 30 %. Leur ampérage en surcharge est alors de 1130 A.

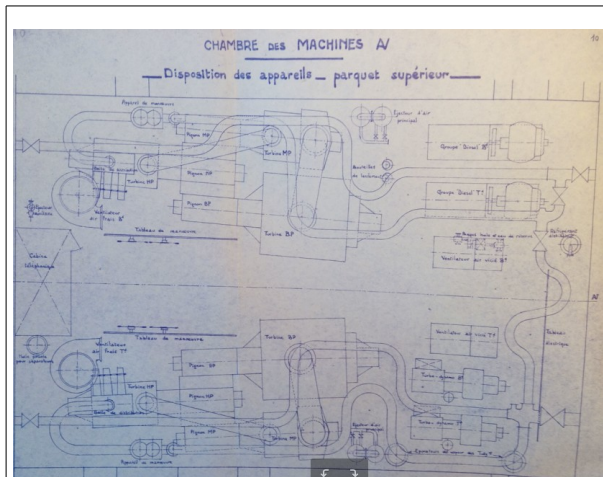


Illustration 87 : Implantation machines AV

Source : SHD Brest

Le croiseur dispose aussi de trois groupes électrogènes de 100 kW à moteur diesel.

La salle des machines avant abrite également deux des trois groupes diesel, le troisième diesel dit d'urgence se trouve au niveau du pont du gaillard d'avant dans le rouf, immédiatement derrière la tourelle arrière. Au mouillage, s'il n'utilise pas les installations à terre, le navire est alimenté par les deux diesels de la tranche des machines avant.

En service normal à la mer, la station génératrice principale AV alimente le circuit principal Bâbord et le circuit principal Tribord est alimenté par la station génératrice AR.

2.6.B. Un tableau de distribution AV spécifique avec des verrouillages

Les deux dynamos de la machine AV peuvent se coupler entre elles, les deux dynamos de la machine AR peuvent se coupler entre elles, les deux dynamos des groupes diesels des machines peuvent se coupler entre elles. Mais il ne peut pas y avoir de couplage entre dynamos ne faisant pas partie d'un même groupe. La dynamo du groupe diesel placée sur le pont ne peut se coupler avec aucune autre.

Cet ensemble de règles de couplage des génératrices est simple dans le texte mais source d'erreurs sur le terrain. Des incidents ayant déjà eu lieu par le passé sur d'autres installations, la Marine opte pour des dispositions préventives qui interdisent les manœuvres non souhaitées. En octobre 1934, alors que la construction est presque terminée, un travail de retouche est confié à la société MERLIN GÉRIN.

C'est un dispositif de verrouillage purement mécanique à clé amovible BOURRÉ. Auparavant, des verrouillages ont été réalisés avec des transmissions d'informations électriques entre tableaux, mais les dispositifs n'ont pas rendu les services attendus, trop complexes ou trop faciles à déjouer. Les verrouillages mécaniques font partie de la culture technique navale, car des dispositifs similaires se retrouvent sur les tubes lance-torpilles, sur les culasses des canons entre autres.

Le dispositif de clés détermine les positions autorisées des cinq disjoncteurs du tableau principal AV lors de quatre configurations du système électrique. En effet, le tableau AV répartit trois sources possibles (turbo-dynamo, diesel, arrivée extérieure) selon leurs capacités de production et leurs interdictions de couplage.

2.6.C. Une conception classique sans innovation

Le bâtiment est divisé en neuf secteurs de distribution, à savoir : sept secteurs des fonds (lettres A à G) et comprenant chacun une ou deux tranches consécutives. Deux secteurs des hauts complètent l'installation. Dans chaque secteur, une boîte de jonction principale comprend un interrupteur-inverseur de changement de circuit Bâbord ou Tribord. En aval de cet inverseur, le circuit de groupe dessert les récepteurs du secteur par l'intermédiaire de boîtes étanches de fusibles et de dérivations

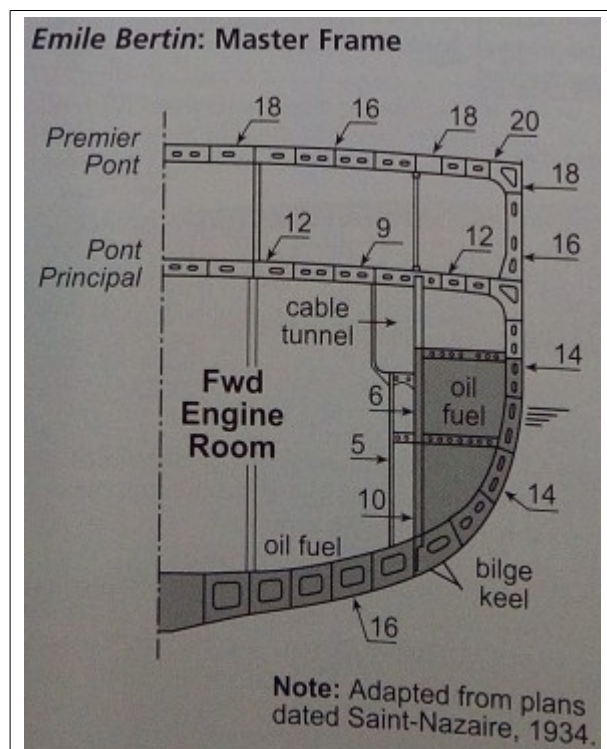


Illustration 88 : Emplacement des tunnels de câbles

Source : Jean MOULIN et John JORDAN, French cruisers 1922-1956, Annapolis, Naval Institute Press, 2013, p. 98

Le passage des canalisations entre l'avant et l'arrière emprunte un tunnel, disposition constructive classique et éprouvée.

Pour respecter la symétrie des équipements et contribuer à la sûreté d'alimentation, les deux circuits principaux cheminent par des tunnels, un bâbord et un tribord.

Ces tunnels sont protégés par le blindage des ponts et sont situés au dessus de la ligne de flottaison.

Chaque circuit principal aboutit dans le secteur correspondant sur une boîte de fusibles à deux dérivations.

Une suggestion est rédigée par le bord en mars 1934, l'équipage commençant à s'approprier le fonctionnement des installations. Le point concerne l'alimentation du compas gyroscopique par le diesel de secours, en particulier lorsque le bâtiment est à quai et doit appareiller. Cette demande est électriquement très simple, mais elle raccourcit considérablement le délai pour que le navire puisse quitter le port. En effet, le temps de montée en vitesse d'un gyrocompas est d'une dizaine d'heures, et cet instrument essentiel de navigation est alimenté par les turbo-dynamos. Cela nécessite l'allumage préalable des chaudières et rallonge les délais. La proposition améliore les dispositions initiales, donnant plus de réactivité au navire.

La finalisation de cette proposition est un exemple de concertation réussie entre un bâtiment et la DCN, ces deux structures se plaçant ensemble au service de la mission militaire. Le dialogue au sein de la collectivité des électriciens a probablement facilité cette issue fructueuse.

2.7. Conclusion du chapitre 2, les choix s'annoncent

En 1889, la machine GRAMME à courant alternatif²⁵⁷ fait partie des génératrices connues au titre du « *nouveau matériel naval* ». L'absence de collecteur et de balais est bien identifiée comme un avantage ainsi que la possibilité d'utiliser cette machine pour alimenter des bougies JABLOCHKOFF. Mais ce matériel ne répond pas à la préoccupation du moment, alimenter en courant continu les projecteurs à arc.

La question se repose quelques années plus tard. Des attitudes sont quasi dogmatiques, tel ce propos²⁵⁸ dans la revue « *La lumière électrique* » d'août 1894 : « *les courants alternatifs dont l'emploi n'aurait aucune raison d'être à bord des navires.* » L'auteur pose cette affirmation pour soutenir l'absence de présentation des dits courants dans l'ouvrage qu'il commente, à savoir le livre de MINEL intitulé « *Electricité appliquée à la Marine* ». En 1894, en France, l'heure du courant alternatif à bord n'est pas encore arrivée. Il n'y a donc pas de controverse, les dynamos vont désormais régner à bord pendant des décennies.

La nature de la génératrice étant figée, la fiabilisation du système électrique devient essentielle car la continuité de l'éclairage intérieur en dépend et dès 1895, la rapidité d'action de l'artillerie. Les premières dispositions multiplient les génératrices qui sont dédiées chacune à un seul groupe de récepteurs. Pour répondre à l'avarie d'une dynamo, le système est configuré avec des câbles et des tableaux électriques aptes à restructurer l'ensemble si besoin. Ces dispositions sont complexes et sources de fausses manœuvres. La conception du système évolue alors vers un unique réseau où toutes les génératrices sont couplées. Pour sécuriser les moyens de productions, les dynamos sont réparties sur plusieurs tranches du navire, généralement à l'avant et à l'arrière. Faute de régulation et d'automatisation efficaces, la conduite d'un tel ensemble de machines à courant continu nécessite un savoir-faire pointu, en particulier lorsque l'artillerie est en action. Dès lors, ce type de système a atteint ses limites d'adaptation incrémentale, avec les ressources du moment.

Dans les systèmes terrestres, la guerre des courants s'est achevée par la reconnaissance des avantages du courant alternatif pour le transport d'énergie. Plusieurs facteurs interviennent dans cette décision, les principaux étant la concentration des producteurs et le besoin de transport entre les sites de production et les villes.

En mer, les avantages des courants polyphasés ne convainquent pas réellement. Ainsi, *Le Normandie*, fleuron de la technologie électrique en 1935, est basé sur un système électrique en 110 Volts, courant continu. Sur ce paquebot, vitrine du savoir faire maritime français, le système comporte des groupes compensateurs pour gérer le plan de tension.

257 LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. Pl_XXIII.

258 *La lumière électrique - Tome 23*, Paris, 1894c, p. 244.

Une autre référence fiable provient de l'étude des cuirassés allemands livrés en dommage de guerre. Cette analyse²⁵⁹ fine des options techniques est réalisée en 1921 sur le cuirassé ex-autrichien *Prinz Eugen*. Les concepteurs allemands ont opté pour un système électrique fondé sur quatre dynamos (1 200 kW au total) avec une distribution majoritaire en courant continu et une conversion partielle (20%) ensuite en courant alternatif (240 kVA). L'ingénieur du Génie Maritime MESTRAUD préconise d'inverser les facteurs et de concevoir un cuirassé avec une production de base en courant alternatif dont une partie serait convertie en courant continu. Il constate que l'ensemble de l'éclairage intérieur et la plupart des petits moteurs pourraient être simplifiés pour fonctionner en triphasé. Les petits moteurs sont robustes car sans collecteurs, ni balais. Des transformateurs statiques remplaceraient les compensateurs tournants. Leur maintenance est facile, voire quasi inexistante. Le système qu'il suggère comprend quatre alternateurs avec un réseau en 50 Hz et des conversions ponctuelles en courant continu pour les tourelles d'artillerie. Sa suggestion reste sans suite.

Ces quelques faits rappellent la difficulté pour les décideurs d'arbitrer entre plusieurs options d'un système technique. L'US Navy est téméraire et expérimente la propulsion électrique en surface dès 1912. Elle poursuit dotant des croiseurs de courant alternatif en 1930. A l'opposé, la Royal Navy reste accrochée au courant continu et en limite l'usage : en 1906 les tourelles des dreadnought ont une motorisation hydraulique. Outre-Rhin, les bâtiments de la flotte reçoivent un puissant parc de production, très complexe. De son côté, la Marine Nationale conserve sa doctrine du courant continu.

Cette diversité de posture souligne, si besoin en était, la place centrale des hommes dans l'évolution des systèmes : la technique ne s'impose pas d'elle-même, son évolution se lit au travers des choix faits par les groupes humains qui la déploient.

259 *Revue Générale de l'Electricité - Tome IX - N°22, 1921c, p. 757.*

3.Marins et électriciens

Introduction au chapitre 3

Au début du XX^e siècle, la carte postale est un support banal d'échange de courrier entre personnes éloignées. Alors que la lettre sous enveloppe ne permet qu'un échange par l'écrit, le choix d'une carte postale offre la possibilité d'un partage iconographique entre l'auteur et le lecteur. Cette carte porte au verso la date du 15 avril 1914 et le lieu du port de Toulon.

Dans un décor construit pour mettre en scène de manière comique un groupe de matelots, une équipe de quatre électriciens travaillent avec leurs outils.

Une dynamo avec son collecteur est au premier plan à gauche. Sur la droite, on aperçoit un tableau de distribution de l'éclairage avec ses équipements : cadran de mesure, interrupteurs à couteaux, porte-fusibles, lampe d'éclairage.

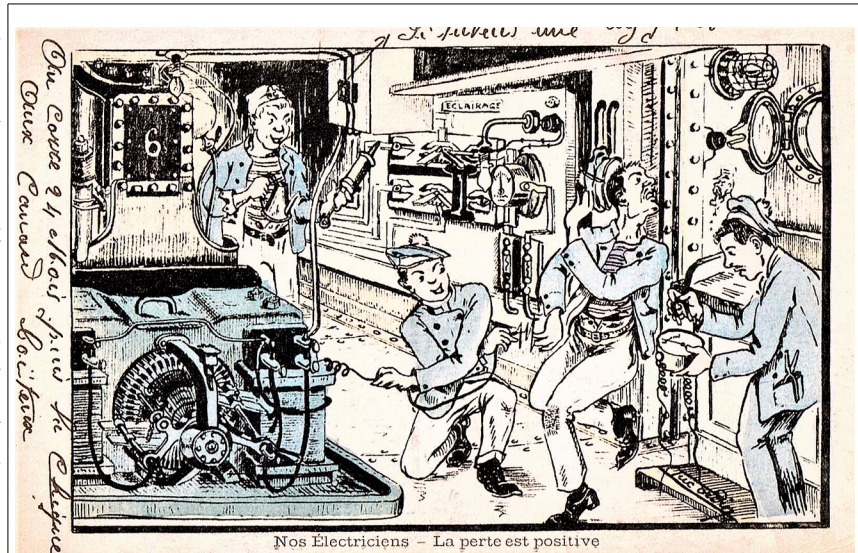


Illustration 89 : Une carte postale « Nos électriciens : La perte est positive »

Collection personnelle

Les instruments de travail sont identifiables : une pince dans la poche de veste, un cadran de mesure, un aimant en fer à cheval, des conducteurs volants et des burettes à huile. Enfin, en haut à droite, le globe du luminaire du local est conforme aux modèles robustes implantés dans les ateliers ou les salles de machines. Plus significatif, ce local de travail des électriciens dispose d'un hublot sur l'extérieur : ce détail est un attribut important, certainement envié par d'autres spécialités du bord qui doivent travailler dans des locaux aveugles tels les chauffeurs et les mécaniciens, par exemple.

Le choix d'une carte postale humoristique montre la communauté d'appartenance du rédacteur et du destinataire. L'affichage des travers du métier d'électricien est une connivence entre initiés qui partagent un savoir et un vocabulaire réservés à ceux qui savent. Le dessin de cette carte en couleur est assez sommaire, les quatre personnages portent la tenue des matelots avec le bâchis et les chaussures réglementaires. Aucun gradé n'est représenté dans cette scène, la bonne humeur règne dans l'équipe. La reprise au genou d'un pantalon de travail conforte la véracité de la scène, la publicité de ce détail n'étant probablement pas du goût de la hiérarchie militaire : les matelots s'adressent à leurs confrères. Alors qu'un matelot semble perplexe devant un cadran de mesure, deux autres matelots se préparent à utiliser l'électricité pour faire une farce et soumettre le quatrième personnage à un choc électrique. Le détournement du matériel par les ouvriers est une pratique classique qui se retrouve dans de nombreux corps de

métier, c'est quasiment un rituel d'appartenance. De même, le titre de la carte postale est assez abscons pour un non-électricien : « La perte est positive ». Comprenne qui pourra, car pour le commun des mortels, au terme « perte » est associé le concept de soustraction, de négatif. Or, les électriciens ont l'air tout à fait contents et satisfaits de déclarer que « La perte est positive » !

Cette mise en scène présente la recherche d'un défaut d'isolement sur un réseau de distribution électrique du bord. La source électrique est une dynamo à courant continu, d'un modèle assez ancien (1895 ?) car le circuit magnétique est massif et les bobinages de l'inducteur sont encore parallélépipédiques. Les pôles positif et négatif de la dynamo sont apparents, ainsi qu'un embryon de système de distribution à deux conducteurs isolés. Une tâche quotidienne des électriciens consiste à vérifier l'isolement des conducteurs par rapport à la masse métallique de la coque : cet isolement doit être suffisant pour chacun des conducteurs des deux pôles du réseau électrique. Si un conducteur présentait un isolement dégradé, on disait à l'époque « il y a une perte » qui était selon le cas une perte négative (si elle concernait le pôle négatif) ou positive (si elle concernait le pôle positif). Les conséquences de la « perte » pouvaient être imperceptibles pour un être humain, mais aussi bien lui délivrer un choc électrique très désagréable, voire une électrocution fatale. Dans le cas présent, notre électricien reçoit un choc assez sévère, si l'on en juge à l'arc électrique représenté et aux mouvements désordonnés du corps. D'aucuns diraient que ce sont les risques du métier et qu'il faut savoir les prendre avec humour !

Cet affichage du travail réel des électriciens à bord ouvre plusieurs registres de lecture pour l'historien. En premier lieu, le matériel électrique connaît des pannes dont la fréquence ne doit pas être anecdotique puisqu'un corps de métier, une spécialité du corps des équipages, est dédiée à son exploitation. La bonne efficacité du navire à la mer et surtout au combat dépend en partie de la réparation rapide de ces matériels. Le champ des pannes qui relèvent de l'électricien est vaste, il comporte aussi un volet mécanique non négligeable : les burettes à huile font partie de la caisse à outil du matelot électricien, qui a la charge de tous les moteurs électriques du navire, y compris sous l'aspect mécanique. Dans une seconde approche, la lecture des objets du système technique n'est pas aussi immédiate que peut l'être l'examen d'un matériel mécanique : la compréhension du fonctionnement attendu de chaque objet demande des connaissances du domaine électrique. Ainsi, comment s'explique la perplexité du matelot face à un cadran et à un aimant en fer à cheval ? De même, la compréhension du système technique global – le système électrique du bord – demande une certaine maîtrise de l'abstraction, la « circulation du fluide électrique » n'étant pas aussi concrète que l'effort dans un cordage ou l'effet d'un jet de vapeur. On peut donc aussi lire dans ce dessin une volonté de souligner le caractère noble de cette spécialité, mise en scène dans une activité complexe souvent méconnue. L'argot des marins affuble en effet les électriciens des surnoms de « tête d'ampoule » ou de « fusible », en référence aux activités récurrentes d'exécutant peu qualifié. Enfin, un troisième niveau de lecture nous est ouvert si l'on observe la pratique décrite dans cette « recherche de la perte » : alors qu'un électricien peine manifestement à interpréter la mesure affichée sur un cadran, un autre – plus astucieux – réalise un branchement avec la dynamo, inflige un choc électrique à un collègue et localise ainsi « la perte » ! Cette méthode est interdite par les règlements de l'époque, mais probablement pratiquée discrètement à l'insu de la hiérarchie. Ce trait d'humour entre initiés s'apparente donc aux partages des secrets d'efficacité du métier. Il participe aussi au rappel de la pratique collective d'une certaine mise à distance de la hiérarchie. Par ailleurs, les formations officielles de la spécialité expliquent comment réaliser ces mesures en travaillant en sécurité.

L'historien des Sciences et des Techniques étudie les objets dans leur contexte au sens large, que ce soit dans leurs systèmes techniques environnants ou dans son système socio-technique. Dans le cas de cette étude, plusieurs intervenants mettent en œuvre des techniques électriques tout au long de la vie de l'objet : le concepteur du navire, le constructeur des matériels électriques, le chantier de construction navale, le port d'armement, l'équipage en mer, les ateliers d'entretien à terre. Chaque intervenant contribue *in fine* à l'efficacité globale du dispositif, son savoir-faire est imbriqué avec les savoir-faire des autres acteurs. Selon le rôle dévolu à chacun de ces acteurs dans le processus, les pratiques professionnelles interfèrent, se complètent ou se perturbent. Ainsi, le savoir-faire du constructeur génère un équipement répondant aux caractéristiques exigées pour être embarqué. Lors du chantier et de l'implantation à bord, les performances de l'appareil peuvent être modifiées. Le marin en situation- c'est-à-dire en mer et au combat- devra utiliser au mieux ce qui est à sa disposition, il fera avec les moyens du bord. Chaque contributeur doit avoir des compétences adaptées et pertinentes, mais son savoir faire ne porte que sur un nombre réduit de facettes de l'objet ou du système technique.

Connaître la formation reçue par chaque contributeur est une clé de lecture du rôle qui lui est attribué dans ce processus imbriqué. En juxtaposant les champs de l'ensemble de ces formations, nous verrons apparaître le système socio- technique dans son aspect prescrit par l'institution. En effet, la transmission de connaissance n'est pas neutre, elle emporte avec son contenu technique des choix implicites de pratiques et formate ainsi les organisations. Et réciproquement. La situation décrite dans la carte postale nous rappelle l'écart entre le travail prescrit et le travail réel : elle confirme à l'historien qu'il se doit de garder une réserve nécessaire face à une source émanant de personnes « faisant autorité », y compris lorsqu'il s'agit d'ouvrages pédagogiques, de manuels ou d'aide-mémoires professionnels.

Le dessin caricatural de cette carte tranche avec les représentations d'usage représentant le navire et les officiers du bord. La communication institutionnelle, pour ne pas dire la propagande, privilégie l'affichage du bâtiment, instrument de puissance, et de son commandement, incarnation déterminée d'une volonté de puissance. Cette carte humoristique est l'un des rares témoignages de cette population des « invisibles », agents modestes qui font l'Histoire et qui sont porteurs d'un savoir-faire indispensable aux processus techniques.

Cette carte postale sera notre chenal d'accès à l'organisation des compétences électriques pour cette collectivité très spécifique qui vit au quotidien en mer et qui y livre des combats. La maîtrise de l'usage de l'électricité est bien sûr une affaire de connaissances et de pratiques, donc de formation. Nous allons nous intéresser aux dispositifs mis en place par les marines militaires pour que leurs équipages soient collectivement efficaces et performants lorsqu'ils utilisent des matériels électriques.

3.1. Les métiers d'électricien en 1875

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, les connaissances scientifiques autour de l'électricité atteignent un palier propice à leur appropriation par des techniciens. De nombreuses applications diverses sont imaginées, certains usages sont destinés directement à la population alors que d'autres ne concernent que l'industrie et ses procédés de fabrication. Avec la compréhension des phénomènes d'induction et plus généralement de l'électromagnétisme, moyennant une machine tournante, il devient possible de convertir une énergie mécanique en énergie électrique. Alors qu'en 1831 la machine de PIXII confirme en laboratoire la faisabilité de transformer une énergie mécanique en courant électrique, la

dynamo réversible de GRAMME ouvre en 1869 un vaste domaine d'applications industrielles. Quelques outils de modélisation des phénomènes magnétiques et électriques sont alors disponibles pour les techniciens, à charge pour ceux-ci de concrétiser ces nouvelles connaissances théoriques en équipement répondant bien aux attentes des utilisateurs. Pour l'innovation technique, la marine militaire est un domaine spécifique car il croise des exigences fortes, exigences inexistantes dans les autres activités de la société.

En premier lieu, le milieu marin est humide, corrosif pour les métaux, en mouvement permanent, inhospitalier pour l'homme qui doit se prémunir d'un naufrage. La marine de commerce sait intégrer ces contraintes, mais sa finalité est pacifique : il s'agit de transporter des marchandises ou des passagers. Par ailleurs, le contexte de la marine militaire rajoute des exigences supplémentaires car, comme le synthétise parfaitement Jean BOUDRIOT, un navire militaire est une plate-forme d'artillerie. Les équipements du navire sont utilisés en situation de combat, donc ils doivent avoir, selon la terminologie militaire, des qualités défensives et offensives. Les matériels doivent être robustes, car ils sont dans un contexte agité avec des chocs violents, des risques réels incendies, d'explosions, d'avaries, de voies d'eau. Les dispositifs doivent être performants, fiables, faciles d'emploi y compris après des avaries ou avec un équipage décimé. Le navire doit avoir une certaine autonomie, ne pas être contraint de retourner fréquemment dans un port et donc pouvoir réparer si besoin les appareils défaillants.

C'est dans ce contexte que le savoir-faire des marins électriciens se construit en se professionnalisant au fur et à mesure des expériences acquises et partagées entre gens de différents métiers. Issu de l'électricien généraliste, les marins électriciens militaires développent des compétences propres qu'il est impossible de lister de manière exhaustive. Les principales²⁶⁰ spécificités des savoir-faire relèvent des particularités du navire, plateforme militaire et machinerie d'artillerie navale.

3.1.A. La profession à terre à la fin du XIX^e siècle

Un navire étant construit dans un port, un détour rapide par les pratiques à terre s'impose avant de se focaliser sur les particularités du métier en mer.

3.1.A.a. Un savoir-faire hétéroclite et de multiples compétences

En 1880, l'univers des électriciens est très disparate, à l'image des connaissances disponibles et de l'attrait que ce domaine suscite. Le qualificatif d'électricien recouvre plusieurs activités, qui vont de l'expert scientifique universitaire au conducteur de dynamos, sans oublier les concepteurs-fabricants de machines, les ouvriers bobineurs ou les artisans poseurs de matériels. En observant de manière macroscopique chacune de ces activités, il serait possible de détailler de multiples savoir-faire et de relier entre eux tous les acteurs de cette chaîne de valeur technologique. L'imbrication entre ces électriciens, le lien entre ces maillons, c'est l'objet électrique qui est compris par chacun selon son prisme de lecture et de compréhension. Ce qui différencie ces électriciens entre eux, c'est justement leur prisme de représentation de l'objet, le champ observé, leur domaine d'action et leur interaction avec d'autres métiers.

Quelques acteurs sont mentionnés ci-dessous et cette présentation n'échappe pas au biais de la notoriété de certains métiers. Néanmoins, pour un technicien, la pierre de touche d'un « bon concept » est sa concrétisation dans un objet efficace. La réalisation de cet objet

²⁶⁰ : les sous-marins et la T.S.F sont des spécialités hors champ de ce document

s'appuie nécessairement sur ce qu'il est convenu d'appeler des « tours de main », savoir professionnel indispensable apporté par de nombreux « ouvriers invisibles ». ces travailleurs manuels²⁶¹ sont souvent absents des présentations du progrès technique, alors que leur contribution est tout aussi incontournable que celle des scientifiques ou des ingénieurs.

A tout seigneur, tout honneur : en premier lieu, des physiciens universitaires s'attellent à défricher les phénomènes qui se font jour, au fur et à mesure des travaux en laboratoire.

Pour un scientifique ou un ancien élève de l'Ecole Supérieure d'Electricité, une dynamo est une machine tournante siège de champs électromagnétiques qui sont calculables au travers d'une formulation mathématique où intervient le calcul intégral et des produits vectoriels. Selon le cas, la description de la machine est très fine, car la recherche d'optimisation du circuit magnétique demande une compréhension détaillée du phénomène de fuite et de réaction d'induit. Son savoir-faire s'appuie sur les travaux scientifiques internationaux et sur les dernières avancées du domaine. Les possibilités de modélisation s'appuient sur des descriptions mathématiques, des traitements d'équations et des expérimentations. Les moyens de simulation physique²⁶² sont analogiques et donnent accès à des valeurs de courant de court-circuit.

L'ingénieur assure une continuité entre la physique théorique et le pragmatisme d'une mise en œuvre industrielle. Alors que pour le physicien, le conducteur électrique est un fil idéalisé, l'ingénieur se confronte à la réalité d'un matériau imparfait et en situation: de multiples facteurs ne peuvent être ignorés, les plus fréquents étant l'échauffement, les caractéristiques mécaniques, l'interaction avec les isolants et enfin la dégradation des objets sur la durée.

L'activité de concepteur-fabricant d'une machine tournante requiert fondamentalement une intégration de différentes compétences scientifiques et techniques. Calculer les champs électromagnétiques dans les carcasses magnétiques relève d'une démarche scientifique empirique. Les propriétés magnétiques des aciers et des tôles de fer sont certes décrites dans un environnement théorique, mais l'assemblage en volume d'une structure de matériaux magnétiques transforme les données du problème. La structure métallique est hétérogène, car les carcasses assemblées comportent des joints magnétiques dont les effets sont plus observés et appréciés que calculés. Faute d'une modélisation détaillée et de calcul minutieux, le concepteur est un homme de l'art qui jongle entre des arrondis et des coefficients afin de prévoir au mieux les flux magnétiques de la machine en projet. La conception mécanique mobilise un savoir complémentaire et différent, porteur d'une autre dimension opératoire intégrant la résistance des matériaux et le travail des métaux. La partie « composants électriques » de la machine est du domaine de l'électricien bobineur, homme de l'art dont les gestes déterminent en grande partie les qualités magnétiques et diélectriques de l'objet fabriqué. Enfin, la réalisation mécanique des pièces ainsi que leur assemblage sont des affaires de mécaniciens tourneur-ajusteur, hommes habiles autour d'un établi, d'outils à main et de machines outils. Pour que cet amalgame électromécanique fonctionne globalement correctement, tous ces contributeurs se retrouvent devant l'ouvrage assemblé, chacun étant alors sollicité pour finaliser des réglages ultimes. Le dialogue entre ces métiers passe par un vocabulaire partagé, verbalisation du mélange des pratiques et des savoir-faire. Une

261 Un propos entendu dans un atelier mérite réflexion : Un travailleur manuel est un intellectuel dont le cerveau est tellement bien fait qu'il sait faire travailler ses mains.

262 *Revue Générale de l'Electricité - Tome VII - N°22*, Paris, 1920b, p. 764.

compréhension mutuelle du domaine technique mis en commun est une des clés de la réussite. La normalisation des schémas²⁶³ est décidée en 1920, sans caractère strictement obligatoire.

L'ouvrier bobineur est un électricien apte à concrétiser dans une carcasse métallique un « tricotage » de fils de cuivre recouverts d'un isolant. Le peignage de cet écheveau demande certes une dextérité et une force manuelle, mais aussi une excellente compréhension de la distribution des conducteurs dans l'espace des encoches. En effet, la parfaite position géométrique des conducteurs est déterminante pour que le champ électromagnétique soit la réplique réelle des calculs théoriques préalables. La pose compacte des spires influe aussi sur les conditions thermiques que subissent les isolants, les points chauds dégradant les matériaux enrobant les fils. Mais cette juxtaposition des fils ne doit pas endommager mécaniquement l'épaisseur de l'isolant de chaque conducteur, les gestes du bobineur font donc appel à une pratique nourrie d'expériences acquises sur de multiples machines aux géométries variées. Le calage mécanique des multiples faisceaux est un travail minutieux, de même que la soudure des « chignons » sur les lames du collecteur. Il y a là un savoir-faire d'une autre nature, tout aussi indispensable à la bonne finalisation de la machine.

3.1.A.b. Un matériel entre l'artisanat et l'industrie

Le territoire français se couvre en équipements électriques par zone géographique, selon les acteurs économiques du moment et les opportunités locales. Lorsque les conditions d'appétence sont réunies sur une région entre un usage et une possibilité de production, le passage à l'acte concrétise un projet dans des formes techniques souvent uniques. En effet, les fabricants de génératrices ont des catalogues, mais les appareils évoluent régulièrement car la période connaît d'incessantes adaptations, au gré de la créativité des nombreux acteurs du marché. Les années 1881-1906 sont qualifiées par François CARON²⁶⁴ d' « *Explosion inventive* », ce qui ne facilite pas l'émergence d'un consensus sur la définition de références pour un système technique électrique. En 1896, si l'idée du courant alternatif commence à s'imposer en France, le courant continu est bien présent²⁶⁵ et tient sa place.

Dans un tel contexte, les difficultés rencontrées par les électriciens ne se limitent pas à la simple coexistence des deux types de courant alternatif et continu, car chaque fabricant propose des moteurs, des lampes et divers équipements dans des niveaux de tension de son choix. Pour les alternateurs et les moteurs en courant alternatif, la situation se complexifie avec deux facteurs spécifiques, faute d'un consensus sur une fréquence convenue et sur le nombre de phases (1, 2, 3, 4 ou plus).

Cette prolifération de pratique a deux origines :

- chaque inventeur est convaincu de bonne foi que sa solution est la meilleure et qu'elle présente un réel intérêt pour son client,
- dans un marché très ouvert en phase d'expansion, les options techniques bien implantées constituent de bonnes barrières protectrices face aux options de la concurrence.

Le temps est l'arbitre suprême, l'historien constate *a posteriori* quel est l'acteur industriel qui finit par imposer son choix, souvent grâce à sa position économique dominante. Ainsi, les réseaux publics en courant continu ont disparu au XX^e siècle pour des raisons techniques de production et de distribution. Mais concrètement, de petites installations à courant continu

²⁶³ *op. cit.*, 1920a, p. 455-469.

²⁶⁴ François CARON et Fabienne CARDOT, *op. cit.*, 1991.

²⁶⁵ Pour toutes questions relatives à cette période, l'ouvrage de F. CARON et F. CARDOT est une référence précieuse.

perdurèrent jusqu'en 1940 : ces systèmes artisanaux sont parfois le seul accès pour les populations rurales à un minimum d'énergie électrique²⁶⁶.

Le succès du courant alternatif n'est donc pas fulgurant, car il n'existe pas de standard pour ce type de courant. Avant la seconde guerre mondiale, le transport interrégional d'énergie électrique ne concerne que peu de sociétés du secteur. L'absence de standards pour la tension, la fréquence et le nombre de phases est à la fois une cause et le corollaire de ces systèmes ilôtés. Dès 1910, les réseaux terrestres en courants alternatifs confirment néanmoins l'intérêt d'un parc de production avec des alternateurs : la simplicité de leurs dispositifs électromécaniques de protection et de régulation n'ont pas d'équivalent pour les génératrices à courant continu. Cet avantage permet de déployer un système sur une importante zone géographique. Or, le contexte d'un navire est fondamentalement différent, l'espace est borné et l'avantage de cette simplicité n'y présente pas d'intérêt majeur. C'est le besoin de puissance pour les usages à bord qui, le moment venu, réinterrogera le choix entre courant continu et courant alternatif.

266 Jérôme LUCAS, *La fée électricité entre dans les campagnes bretonnes*, Langast, Editions Récits, 2015.

3.2. L'avènement des électriciens dans la Flotte

Si l'état-major de la Flotte n'est pas convaincu d'une innovation, les équipements concernés et leurs spécialistes ne franchissent pas la coupée d'un bâtiment militaire. Ce n'est qu'après avoir été éprouvées à terre que les nouvelles techniques sont accueillies à bord avec précaution et réserves. L'équipage s'adapte alors à ce nouveau matériel et réciproquement. En effet, l'expérience à la mer complète toujours les essais à terre et elle apporte souvent son lot de modifications, marginales ou non. De son côté, l'apprentissage des gestes est adapté au contexte maritime et militaire, ce qui génère parfois des pratiques uniques.

3.2.A.a. Un besoin initial provenant des mines vigilantes

Les premières déclinaisons du fluide électrique concernent la mise à feu à distance d'explosifs. Pour la Marine, il s'agit de mines vigilantes qui sont déposées dans des voies navigables qu'il convient d'interdire à l'ennemi. Cela concerne par exemple des ports pouvant faire l'objet de tentatives de blocus. Les navires adverses doivent évoluer à proximité des côtes pour les menacer avec leur artillerie : l'emplacement des mines dormantes défensives est donc prédéterminé selon le contexte . La France²⁶⁷ dispose d'un seul type de torpilles vigilantes , le modèle 1878 à fonctionnement électrique.

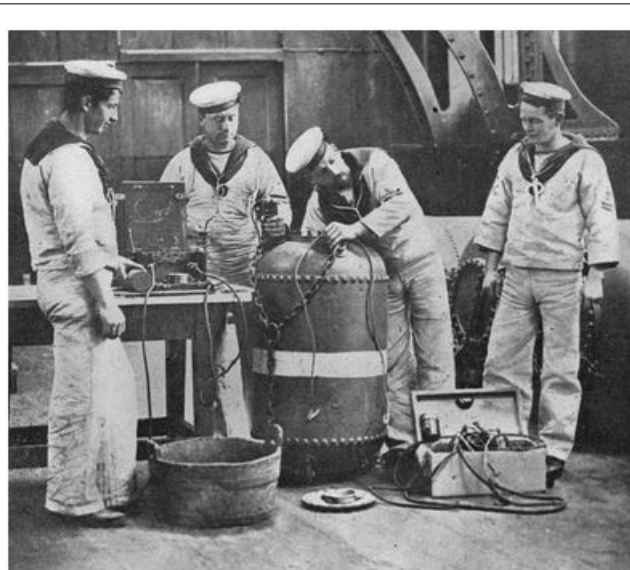


Illustration 90 : Réglage d'une mine à contact électrique 1914

Source : The Manchester Guardian History of the War - 1914, Vol. I.. [John Heywood Ltd, London, 1914]

Ces marins de la Royal Navy interviennent sur une mine dont la mise à feu est électrique.

La filiation entre les spécialités d'artificier et d'électricien est manifeste, l'outillage est la pierre de touche de cette proximité professionnelle.

Toutefois la complexité des techniques et la prolifération des usages électriques conduit ensuite à l'autonomie, puis à l'indépendance de ces deux métiers.

Dans un premier temps, les artificiers conservent quelques gestes d'électriciens, mais au milieu du XX^e siècle la spécialité d'électricien d'armes fait son apparition, une spécialité engendrée par les nombreuses déclinaisons de cette technique souche.

La mise à feu des mines vigilantes est commandée depuis des forts côtiers par un dispositif comprenant des piles électrochimiques et des interrupteurs. Les artificiers torpilleurs surveillent à distance l'état des conducteurs et celui de l'amorce électrique de l'explosif. Selon le site à protéger, les mines sont réparties en plusieurs groupes et le pupitre de

²⁶⁷ *op. cit.*, 1913a, p. 95.

déclenchement gagne ainsi en complexité: les artificiers deviennent alors plus des électriciens que des pyrotechniciens²⁶⁸.

L' énergie nécessaire à ces opérations est relativement faible, elle est fournie par un ensemble de piles électrochimiques. Les compétences sont focalisées sur le câblage, sans aucune utilisation de machines tournantes électromagnétiques. Ce savoir-faire est toutefois un socle solide indissociable des pratiques électriques, quel que soit le type de courant.

De manière pragmatique, ces installations de fils torsadés constituent pour les marins les prémisses du déferlement des autres équipements électriques. Ce sont des ouvrages spécifiquement militaires par leur nature d'explosif et aussi typiquement marins par leur environnement de mise en œuvre. Ces premiers pas sont à la frontière entre les deux univers bien connus de la Marine, la terre et la mer. C'est l'occasion de définir les conditions de bonne conservation des câbles en les maintenant dans des conditions d'humidité suffisantes pour éviter le craquèlement de l'isolant. Ces procédures terrestres sont reprises sur les navires mouilleurs de mines pour préserver les qualités des canalisations en attente d'immersion.

3.2.A.b. Les arsenaux s'électrifient et montrent l'exemple

Les arsenaux maritimes assurent l'entretien des bâtiments de la Flotte, ce qui nécessite parfois leur passage en cale sèche. Ces opérations exigent d'importantes pompes d'épuisement des bassins de radoub, activité particulièrement énergivore assurée classiquement par des machines à vapeur.

Par ailleurs, la construction navale mobilise de nombreuses machines pour usiner les métaux, travailler les tôles et réaliser les coques des navires. Le parc des machines-outils s'appuie sur des moteurs à vapeur, implantés de manière centralisée avec une distribution de force par des arbres de transmission et des poulies. L'atelier de construction automobile ci-dessous est représentatif des industries métallurgiques de la fin du XIX^e siècle.

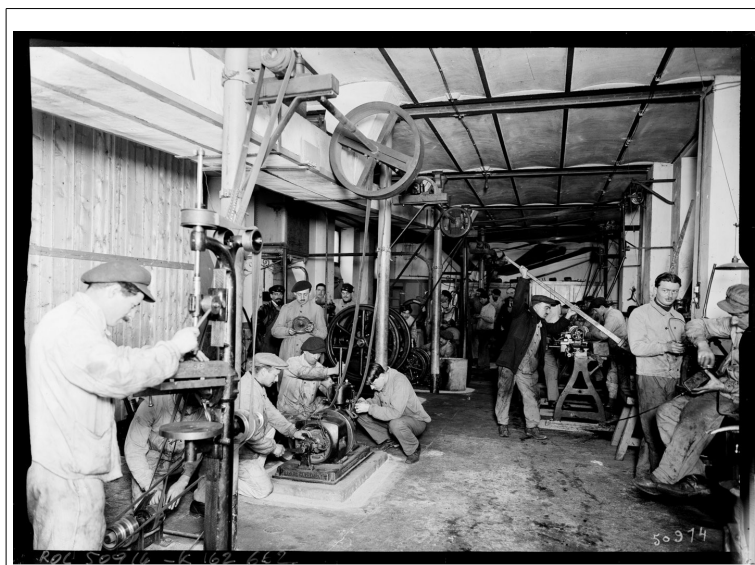


Illustration 91 : Distribution de la force motrice par courroie - 1918

Source : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53003968q>

Dans un même atelier, un tel système comprend souvent plusieurs arbres de transmission accrochés au plafond, chacun de ces arbres intermédiaires étant équipé de poulies de diamètres variés pour recevoir les courroies plates.

Au plancher de l'atelier, les machines outils sont entraînées par ces courroies plates : un dispositif de cylindres à tambours étagés permet de choisir entre différentes vitesses de rotation.

Les arsenaux et les chantiers navals substituent à l'ensemble chaudière + moteurs à vapeur un autre ensemble, plus souple d'implantation : chaudière + moteur à vapeur + dynamo + moteurs à courant continu. Avec ce système électrique, le réseau de distribution de

vapeur entre ateliers disparaît et est remplacé par des canalisations électriques. Dans un premier temps, chaque atelier conserve un moteur central et une distribution de la force motrice par arbres de transmission au plafond et de multiples courroies, une par machine raccordée. Dans un second temps, certaines machines outils reçoivent une motorisation électrique directe et indépendante : cette configuration sans courroie prouve facilement son économie et son efficacité, elle se retrouve à terme dans les ateliers à bord des cuirassés.

Les ports et les arsenaux sont de véritables villes dédiées à la construction et la maintenance des navires militaires. Comme dans les autres usines civiles, grâce à une certaine perméabilité aux innovations motivée par la nécessité d'offrir les meilleurs services possibles aux navires, les usages électriques entrent donc massivement dans les ports militaires. La croissance des besoins en électricité y rencontre donc l'inévitable question du choix du courant dans les années 1910.

Dès 1908²⁶⁹, une usine centrale d'électricité alimente l'arsenal de Brest. L'usine centrale de Cherbourg est décidée en 1911 avec des turbo-alternateurs en haute tension. La décision de doter le port de Toulon d'un équipement similaire est prise en 1912. L'usine centrale de Toulon comprend quatre groupes turbo-alternateurs d'une puissance totale de 10000 kW en 25 Hz sous 5 000 Volts. Alors que l'éclairage est en basse tension triphasée, les autres usages sont en courant continu ou en courant alternatif : la coexistence est impérative, ne serait ce que pour assurer la charge des sous-marins. Enfin, l'arsenal de Lorient reçoit en 1913 des groupes électrogènes diesels dans l'attente de la construction d'une usine centrale similaire à celles de Toulon et Cherbourg.

L'électrification des arsenaux s'échelonne donc entre 1907 et 1913. Cet investissement de l'État porte ses fruits²⁷⁰, le rendement total de la main d'œuvre de la Directions des Constructions Navales s'est accru : le nombre de journées dépensées par tonne construite est de 102 journées pour la construction du cuirassé *La République*, il passe à 81 journées sur le sous-marin *Jean-Bart* avec un objectif de 70 journées par tonne.

3.2.A.c. L'arc électrique franchit la coupée

Alors que l'éclairage par arc électrique se répand dans les rues, certains ateliers s'y convertissent car un niveau d'éclairage puissant permet de travailler efficacement. Les chantiers de construction avec de puissants projecteurs bénéficient aussi de cet apport, particulièrement utile lorsque les délais d'immobilisation des navires sont contraints. Le chargement du charbon dans les navires n'est plus dépendant de la lumière solaire, l'arc photoélectrique modifie les relations entre les marins et leur logistique portuaire de support.

Le chapitre 1 a montré le rôle particulier joué par le projecteur dans la défense contre les torpilleurs. C'est avec l'arc électrique que les électriciens ont franchi la coupée et c'est à juste titre que ce symbole est le signe de reconnaissance de ce collectif professionnel. L'arc électrique se vit de multiples manières dans la marine, mais il est le plus souvent le révélateur de dysfonctionnement. *A contrario*, cet arc peut être l'effet voulu car ses propriétés sont recherchées : l'effet lumineux est une source d'éclairage et l'effet thermique permet la soudure de métaux.

²⁶⁹ Rapport au Sénat n°137 - séance du 29 mars 1913, Paris, 1913a, p. 267.

²⁷⁰ *op. cit.*, 1913a, p. 23.

L'arc électrique est le compagnon de l'électricien.

L'arc électrique est le grand frère des étincelles, qui sont nécessaires pour la mise à feu de charge.

Les spécialités de Torpilleur et d'Electricien ont bien un gène commun.

A noter que l'éclair est intégré dans le code vestimentaire des électriciens à bord, avec de multiples déclinaisons²⁷¹.



Illustration 92 : Insigne de spécialité d'électrotechnicien (Marine Nationale Equipage)
Collection personnelle

De manière schématique au XIX^e siècle, tout l'art de l'électricien réside dans la maîtrise de l'arc et le contrôle des étincelles. Figure réduite de l'arc, l'étincelle est un symptôme qui évoque pour le professionnel un dysfonctionnement prélude à une panne souvent plus sérieuse. La cause d'étincelles peut être un mauvais isolement : c'est le cas du contournement d'un isolateur fixe pour cause d'humidité. Alors que le courant ne devrait pas circuler, l'étincelle est la trace visible d'un canal gazeux conducteur. De mauvais contacts entre pièces conductrices produisent aussi des étincelles : c'est la situation que l'on rencontre lorsque les balais d'une dynamo sont déformés et qu'ils ne frottent plus efficacement sur le collecteur. Alors que le courant devait circuler sans obstacle, l'étincelle indique une conduction parasite par un canal conducteur gazeux, en l'absence d'une surface de contact. L'électricien va alors s'attaquer à la cause pour éviter l'effet indésirable et prévenir ainsi une électrocution ou un incendie.

En 1885, l'équipage côtoie déjà nombre d'équipements électriques d'ampleur modeste : les sonneries, les transmetteurs d'ordre, le téléphone et la mise à feu d'explosifs. Tout cela est alimenté par des piles électro-chimiques, sans présenter un danger important d'électrocution ou d'incendie. Avec le projecteur, l'ordre de grandeur des énergies mises en jeu change et le revers de la médaille est réel :

- le défaut d'isolement avec le risque d'une électrocution parfois fatale,
- le contournement des isolants par un arc ou des étincelles avec le risque d'incendie,
- une complémentarité nécessaire avec le mécanicien, détenteur de la force motrice indispensable à la génératrice.

En prenant de l'étoffe à bord, le domaine électrique quitte les usages modestes, tel la téléphonie et les sonnettes. Véritable appui à la navigation, à l'habitabilité et aux armes, les outils électriques se rendent incontournables et modestes, tout en exigeant un savoir-faire et des hommes pour délivrer le service attendu. La diversité des outils, la taille du système électrique et la rationalisation des tâches aboutissent à un nombre croissant de spécialités pour les électriciens.

²⁷¹ La représentation d'un arc dans les insignes d'uniforme donne une mesure fiable de la diffusion de l'électricité au sein des différentes spécialités. En 1997, sur les 62 insignes de spécialités, 15 intégraient un arc électrique. (<http://www.netmarine.net/tradi/symbolique/insignes/brode/index.htm> Consulté le 21/07/2015)

3.3. La famille des électriciens autour du navire militaire

Un navire est un objet fabriqué par les hommes et utilisé par les hommes. Si l'on peut admettre que les premières pirogues monoxydes étaient creusées par leurs utilisateurs, la construction des bateaux importants fait appel à de nombreux acteurs et à des métiers distincts. La famille des électriciens de marine est un de ces corps professionnels. Néanmoins, il est important de distinguer au sein de cette profession les contributions apportées suivant le cycle de vie du bateau.

Sans entrer dans un détail exagéré pour notre propos, il est essentiel de scinder la phase de conception – construction du bâtiment à terre de celle de son service à la mer. Les acteurs de chaque phase agissent dans leur champ de contraintes et œuvrent pour la finalité qui leur est assignée. Cette situation est banale et se rencontre dans toutes les organisations qui distribuent les rôles au sein de leurs contributeurs. Ces répartitions, basées sur une discrimination des attributions et des pouvoirs, sont très souvent source de conflits aux interfaces. Ces frictions sont révélatrices du contenu réel du métier, elles mettent au jour les imperfections des acteurs et leur régulation.

3.3.A. Les constructeurs du navire

Les arsenaux maritimes sont dédiés à la construction des navires de la Flotte. Ces organisations se sont adaptées au fur et à mesure des choix du pouvoir politique, tout particulièrement depuis le XVI^e siècle. Cette riche histoire a fait l'objet de nombreuses recherches²⁷², y compris pour les périodes contemporaines²⁷³. Les éléments ci dessous entendent apporter un complément aux recherches déjà menées, en se focalisant sur le seul domaine concerné par l'électricité.

3.3.A.a. Les ingénieurs du Génie Maritime

Ils constituent le squelette de l'organisation des Constructions Navales, leur effectif est structuré dans le corps du Génie Maritime qui n'est accessible qu'aux anciens élèves de l'Ecole Polytechnique. Les grades de ce corps prestigieux ont des assimilations avec les officiers de marine. La pyramide hiérarchique comprend les grades d'inspecteur général, de directeur des constructions navales, d'ingénieur et de sous-ingénieur. Le nombre de postes pour chaque grade est fixé dans la loi et est ajusté en tant que de besoin. L'effectif du corps est stable sur la période : 129 en 1876, 110 en 1896 et 155 en 1914. Les missions du Corps sont essentielles pour la Flotte, car la qualité des bâtiments au combat est le résultat de leur construction à terre. A ce titre, les ingénieurs de la Direction des Constructions Navales sont souvent en situation d'arbitrage technique, une fois que les décisions politiques ont défini les orientations structurelles de la Flotte.

En 1925, le Bulletin d'Information du Génie Maritime publie un article²⁷⁴ relatif aux ingénieurs navals et comparant la structure française à son homologue de la Royal Navy. L'effectif du corps du Génie Maritime est de 160 ingénieurs, tous grades confondus, alors qu'outre Manche, l'effectif est de 256 ingénieurs. Les ingénieurs britanniques assurent des tâches plus spécialisées que les ingénieurs français. Ainsi, parmi ces 256 ingénieurs, 44 sont

272 Catherine ABEGUILLE-PETIT, *Marine et industrie en Bretagne : l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIII^e et XIX^e siècles*, Rennes, Université de Rennes 2, 2002.

273 Marlène NEE, *Arsenal & activités associées : les industries militaires à Cherbourg 1900 – 1939*, Caen, 2008.

274 « Bulletin d'information du Génie Maritime », 1925a, p. 154.

des ingénieurs électriciens auxquels sont adjoints une vingtaine d'assistants. Concernant les effectifs de la main d'œuvre, les arsenaux maritimes français (hors Saïgon) comptent 20 000 ouvriers pour 47 500 en Grande-Bretagne. L'étude reste factuelle, tout en insistant sur l'écart des périmètres d'intervention des ingénieurs entre les deux pays ce qui rend *in fine* la comparaison impossible. Enfin, le statut des ingénieurs britanniques est mixte, certains sont militaires mais la plupart sont civils. L'article ne conclut pas formellement, mais les chiffres présentés incitent à penser que les ingénieurs polytechniciens assureraient des missions plus stratégiques que leurs confrères et ce avec une meilleure efficacité d'encadrement. Cet article est à charge et il manque cruellement d'éléments pour conforter le raisonnement implicite suggéré.

En 1894, le cours d'électricité de l'école d'applications du Génie Maritime est très descriptif et donne une liste des différents équipements que peut rencontrer un jeune ingénieur. La majeure partie de l'ouvrage²⁷⁵ (153 pages sur 237) se cantonne à des rappels théoriques et à des informations sur divers types de piles. L'éclairage est mentionné en quelques lignes, sans détailler l'écart entre l'éclairage à terre ou sur un navire : les ingénieurs ont en charge les installations portuaires et la Flotte. Plus laconique encore, la question des dynamos et des étincelles aux balais est certes expliquée avec schéma et formules, mais la conclusion s'impose : « *le calage des balais n'a pas une grande importance pratique* ». Ce désintérêt professoral pour les applications concrètes ne fait pas nécessairement des émules, nombre de rapports et revues abordent au contraire ce type de problème avec un pragmatisme étayé par des modélisations scientifiques.

Les publications des « Carnets du Génie Maritime » sont l'occasion de diffuser une certaine standardisation des méthodes et des matériels. Avec les conférences sur des sujets techniques du moment, les ingénieurs reçoivent ainsi une formation continue qui n'en a pas le nom. Par la rédaction des notes et circulaires ministérielles, les ingénieurs structurent aussi les pratiques professionnelles.

Le prestige du Corps n'épargne pas sa critique ainsi que la mise en cause de son organisation et de la pertinence de certaines décisions. La dualité « ingénieurs et marins » est particulièrement ressentie lors des accidents dramatiques imputables en partie à l'absence de dialogue entre « constructeurs et navigants ». En 1907, après les explosions des soutes de munitions du cuirassé *Iéna*, d'aucuns²⁷⁶ demandent le rajeunissement du conseil supérieur de la Marine : des officiers à trois galons y amèneraient des exigences réalistes et modernes. D'autres suggestions concernent l'intérêt d'une part, de faire naviguer l'ingénieur du génie maritime et d'autre part, que tout ingénieur de l'artillerie passe deux ans à bord d'un cuirassé comme chargé en chef de l'artillerie.

L'esprit de ces deux dernières suggestions est partiellement mis en place en 1913. Ainsi, les ingénieurs²⁷⁷ en charge dans les ports de la réparation des torpilles suivent une formation identique à celle des officiers torpilleurs, y compris trois mois d'embarquement. Cette spécialisation concerne par an deux ingénieurs du Génie Maritime, qui pourront être désignés d'office faute de volontaires. Ce rappel de l'autorité hiérarchique souligne l'importance du cloisonnement « constructeurs et navigants » et la difficulté d'y mettre un terme. Les ressorts de cette résistance tiennent probablement plus des logiques de corps et à leur prérogative que d'un rejet de la dimension pratique et matérielle de la technique.

²⁷⁵ *op. cit.*, 1894b, p. 162.

²⁷⁶ *Navigazette* n°936, Paris, 1907d, p. 2.

²⁷⁷ *Navigazette* n°1273, Paris, 1913b, p. 4.

Il ne faut pas sous-estimer les racines de ce cloisonnement, phénomène très fréquent dans les corporations qui oeuvrent de fait conjointement sur un terrain à se partager. Une hypothèse serait d'associer l'attachement des officiers de marine aux statuts de leurs ancêtres, issus de la noblesse. Les constructeurs ne se revendiquent pas de cette filiation, étant rattachés à la sélection au mérite : l'École Polytechnique est une création post-révolutionnaire. D'autres hypothèses sont tout aussi recevables, car les organisations industrielles contemporaines connaissent des difficultés similaires de posture entre métiers contraints à une co-réalisation d'un système technique ou à une co-activité lors d'un chantier. Ce qui est observé en 1907 tiendrait alors plus d'un banal avatar lié à l'industrie que d'une crispation identitaire de certains officiers de marine.

La critique du cursus des Ecoles d'application de l'X reste un sujet de polémique, parfois virulent. En 1927, Henri BOUASSE, professeur des universités à Toulouse, met en cause la capacité des jeunes ingénieurs de 24 ans, rompus aux exercices de « taupin », à concevoir une machine apte à fonctionner. Il plaide pour l'observation des phénomènes comme un remède à l'abus du raisonnement déductif et n'hésite pas à souligner une erreur commise²⁷⁸ par Emile BERTIN, directeur des constructions navales, dans son mémoire sur les carènes. Il reste toutefois difficile d'apprécier la réalité statistique de ce lieu commun attribuant à la hiérarchie une fascination pour les théories générales couplée à un désintérêt pour les activités manuelles.

La carrière des ingénieurs polytechniciens du Génie Maritime se déroule dans le cadre de procédures administratives rigides et de vacances de postes au sein d'une pyramide hiérarchique fixe. Les promotions et les augmentations de rémunération sont strictement contingentées, ceci explique certaines démissions pour intégrer l'industrie privée et y aller « pantoufler²⁷⁹ ». Si la généralisation de la pantoufle des ingénieurs du Génie Maritime pose un problème au Ministère de la Marine, le port de la pantoufle est lui réglementaire²⁸⁰ pour les électriciens. Ce choix peut sembler surprenant, les charentaises n'étant pas réputées pour leur qualité mécanique d'équipement de protection individuelle (EPI en français de 2018). Dans le cas de ce matelot issu de la conscription, la pantoufle est une protection toute relative qui devrait lui éviter une électrocution fatale et lui permettre de retourner vivant à la vie civile. Il y a donc deux pantoufles réglementaires dans la Marine, une pour le personnel embarqué et l'autre pour les ingénieurs du Génie Maritime.

278 Henri BOUASSE, *Résistance des fluides - L'esprit Taupin*, 1928, p. 22.

279 La pratique de la pantoufle des polytechniciens est déjà mentionnée dans « l'Argot de l'X », édition de 1894.

280 *Bulletin officiel de la Marine - Tome 143 - Circulaire du 18 mai 1921*, Paris, 1921d, p. 528.



Illustration 93 : Électricien en pantoufles

Collection personnelle

La caractéristique d'une pantoufle en feutre est son caractère isolant qui limite les risques d'électrocution dans un navire où la plupart des parois sont métalliques et conductrices du courant.

Ces chaussons isolants dits « bains de mer », sont attribués à chaque électricien et TSF (officiers mariniers compris) appelés à travailler dans les compartiments d'accumulateurs des sous-marins.

Sur la carte postale ci-contre, le marin électricien manipule une pince aux abords d'une pile électrochimique dans un bac de verre. Une manœuvre malheureuse aboutit à un arc et le marin sursaute sous le choc.

Protégé par ses pantoufles, ce dernier manifeste son incompréhension et son attente impatiente de la fin de son service national.

3.3.A.b. Les cadres, la maistrance et les ouvriers de l'arsenal

La structure et l'organisation des arsenaux maritimes est particulièrement complexe et son histoire fait l'objet des travaux de David PLOUVIEZ qui souligne les liens entre la construction navale, le développement industriel et la métallurgie. Les arsenaux du XIX^e siècle sont traversés par l'évolution des structures de fabrication et les grands courants idéologiques de la société civile. Ces aspects ne relèvent pas de la présente recherche, mais ils en constituent une certaine trame de fond qu'il est judicieux de garder à l'esprit.

En ce qui concerne la main d'œuvre des arsenaux, les dates clefs sur la période sont les suivantes :

- 1907 et une évolution législative qui redistribue le pouvoir interne avec la création de commissions paritaires d'avancement pour les ouvriers,
- 1912 et le rééquilibrage de ces commissions d'avancement au profit de la hiérarchie,
- enfin, les conflits sociaux préalables à l'arrivée du Front Populaire.

Le plan de charge des arsenaux est éminemment fluctuant, il dépend des ressources allouées par le Parlement et de la politique navale, lorsqu'elle existe. Cela se traduit concrètement par des niveaux variables d'activité et une organisation qui structure sa main d'œuvre en un élément stable, les ouvriers inscrits des arsenaux, et un élément variable, les ouvriers auxiliaires. L'État n'a aucun lien juridique permanent²⁸¹ avec les ouvriers auxiliaires.

281 Dans la novlangue du XXI^{ème} siècle, ce sont des contractuels ou des intérimaires.

Les compétences stables des arsenaux reposent donc sur la qualification et la formation des ouvriers inscrits : les écoles de la maistrance et des apprentis répondent à ce besoin. Sur la période 1880-1935, cette formation professionnelle est profondément remaniée²⁸² afin de s'adapter aux nouvelles technologies et aux nouvelles techniques de production.

En 1914, la réorganisation des arsenaux²⁸³ ouvre une reconnaissance aux agents techniques principaux en charge des travaux. Ce personnel militaire technique prend l'appellation d'officier des directions des travaux avec quatre grades (principal, 1^{ère}, 2^e et 3^e classe) qui correspondent à quatre grades d'officiers de marine, d'enseigne à capitaine de corvette. Ces 413 officiers ont en pratique des fonctions d'ingénieur, mais le titre est réservé au corps du Génie Maritime. Dans l'exercice de leurs fonctions, les officiers des directions de travaux sont toujours subordonnés, quel que soit leur grade, aux officiers et ingénieurs du corps de direction dont ils relèvent.

Le personnel civil d'état est aussi concerné par cette réorganisation et les 1913 agents techniques se répartissent dans les six emplois nouveaux. Le recrutement s'opère à l'issue de l'Ecole technique supérieure (anciennement école supérieure de maistrance des arsenaux de la marine à Brest) et éventuellement de l'Ecole technique élémentaire. Ces formations sont les voies d'accès principales à ces emplois d'encadrement, une possibilité existe toutefois pour les ouvriers immatriculés ou auxiliaires ayant plus de six ans d'ancienneté.

Ce personnel civil est en filiation directe²⁸⁴ avec les maîtres entretenus du XVIII^e siècle, ses appellations ayant successivement maîtres principaux puis adjoints principaux de la Marine. Leur mission reste inchangée sur le fond, le contenu technique s'adapte le moment venu à la vapeur, à l'acier et à l'électricité.

La formation des ouvriers des arsenaux vise à doter la Marine d'une certaine indépendance face à ces fournisseurs, tant en compétence qu'en volume de main d'œuvre disponible. La qualité de cette formation est reconnue. Les interventions techniques du personnel des arsenaux sont efficaces, une fois dépassées les traditionnelles difficultés administratives et bureaucratiques.

Les ateliers des ports réalisent des travaux qui ne peuvent pas être exécutés à bord car les machines-outils et l'espace de travail y est particulièrement contraint. En 1925, l'atelier d'électricité de Toulon occupe une surface d'environ 2100 m² sur une hauteur de 11,4 m. Les 230 ouvriers et 70 apprentis disposent de machines spécialisées pour réparer les bobinages des moteurs et dynamos. Le parc machine comprend sept tours à bobiner, deux machines à tresser, une machine à guiper²⁸⁵ les fils nus et une tréfilerie de cuivre. Un petit atelier à bois et un local pour l'imprégnation complètent l'outillage précédent.

282 Jean André BERTHIAU, *Des maîtres entretenus aux ingénieurs (1819-1971)*, Paris, Université de Paris 4, 1997.

283 *Journal Officiel du 22 février 1914*, Paris, 1914b, p. 1713.

284 *Un corps au service de la Marine: les IETA*, Paris, Marine-Cols Bleus, 1973, p. 4.

285 Le guipage consiste à entourer un fil conducteur par une gaine isolante.



Illustration 94 : Atelier d'électricité de Toulon 1925

Source : Bulletin d'information du Génie Maritime, 1925, p. 253.

L'atelier peut réparer une large gamme de moteurs, allant du ventilateur au moteur principal d'un sous-marin.

La réparation d'un moteur de 300 kW est une opération complexe, tant pour l'induit que pour l'inducteur. Le démontage initial des inducteurs consiste à extraire des barres de cuivre d'encoches à l'aide d'une presse hydraulique. Les barres sont redressées, puis recouvertes d'isolants avant d'être recapotées à chaud.

Le démontage des induits porte sur des faisceaux souples et des barres rigides, qu'il convient de remettre en état avant de les réintroduire, puis de les frotter.

La réparation du collecteur s'achève par une succession de soudures à l'étain, le rotor étant vertical durant toute l'opération.

3.3.A.c. L'industrie et le matériel pour la Marine

Dès l'Antiquité, un navire est le résultat du travail coordonné de plusieurs métiers, les spécialités plus visibles étant la charpente, les voiles et les cordages. Nombre d'éléments d'un navire sont alors produits en dehors du chantier naval, ce dernier étant le site d'assemblage et d'achèvement du navire qui est au final armé pour prendre la mer. Les constructions navales de l'ère industrielle perpétuent ce schéma d'élaboration des navires et à fortiori des bâtiments de la Flotte.

La Marine s'appuie donc sur une infrastructure industrielle spécialisée dont les performances contribuent directement à la qualité du produit final, la plateforme d'artillerie navale. Cette infrastructure est très large, de nombreux domaines techniques étant *a priori* fournisseurs indirects des équipements embarqués. Une liste exhaustive serait fastidieuse, mais il est intéressant d'avoir un ordre de grandeur du champ couvert avec deux exemples, très différents dans leur nature. La sidérurgie fournit les aciers pour tous les bâtiments dans des volumes dont l'unité de compte est le millier de tonnes. Parmi ces aciers, les blindages des cuirassés peuvent être livrés en plaque de 30 cm, marché de masse exigeant une logistique très particulière. A l'autre extrémité des fournitures industrielles, l'optique et l'horlogerie sont des productions tout aussi clé pour l'efficacité de l'artillerie de ces navires militaires. Le complexe militaro-industriel des flottes militaires est une réalité dont le bon fonctionnement repose sur des contrats et des marchés, ainsi que sur une collaboration pérenne entre tous ses acteurs.

L'industrie électrique fait partie des fournisseurs de la Marine, cette activité présente plusieurs attraits pour les fabricants : une référence utile pour l'image commerciale, des exigences qui stimulent les techniciens, une recherche appliquée qui est financée au travers des prototypes achetés par la Marine, une maintenance à réaliser sur 20 ans au moins et un client solvable. Plusieurs industriels interviennent pour la Marine, qui sait répartir ses marchés entre plusieurs acteurs afin de les stimuler tout en se préservant une certaine sécurisation de ses achats.

L'étude du jeu d'acteurs industriels n'est pas le cœur de cette thèse, mais il est possible d'en observer quelques effets et d'en connaître certains acteurs. Ainsi, la fourniture des projecteurs photo-électriques est répartie en France entre les sociétés HARLÉ-LEMMONIER et BRÉGUET, chacune ayant des produits techniquement proches : les fournitures sont sur un même palier d'innovation incrémentale. Elles sont donc similaires et coexistent dans une saine gestion de la répartition des approvisionnements. Une analyse comparable peut être faite pour les fournisseurs de dynamos, de câbles et de tableaux : l'organisation du marché se limite à quelques acteurs industriels dès 1895.

A contrario vers 1930, le leader américain General Electric propose une vraie nouveauté avec la propulsion électrique des bâtiments de surface. Ce saut technologique est une commande de l'US Navy qui entend étudier les possibilités de l'électrotechnique à son maximum afin d'obtenir de nouvelles performances tactiques pour sa flotte. Cette rupture conceptuelle remet en cause le standard du courant continu à bord, mais les difficultés de jeunesse de cette option ne sont pas compatibles avec l'imminence d'un conflit majeur.

La collaboration entre l'industrie électrique et la Marine mériterait de nombreux développements, tant le sujet est vaste. De manière très schématique, il est utile de retenir plusieurs phases dans la vie d'un navire :

- la phase de projet et de conception, durant laquelle les marchés ne sont pas finalisés et les fournitures sont en cours de définition. La créativité n'est bridée que par la rédaction des concepts, quelques principes intangibles régulent toutefois les projets trop ambitieux. Le Génie Maritime a un rôle déterminant dans cette phase amont, sa compréhension globale du projet et sa capacité à stimuler des innovations sont des atouts majeurs.
- la phase de réalisation, durant laquelle les acteurs se confrontent sur le chantier avec des matériels et leur environnement concret. Cela s'achève lors des essais de recettes, jalon d'ultimes arbitrages et du constat factuel du résultat atteint. Les cadres et la maistrance des arsenaux sont les hommes de l'art, experts dans les dimensions opérationnelles du chantier et dans les détails des ouvrages.
- la phase d'activité au service, période essentielle et principale du bâtiment. C'est dans l'action et sur la durée que les équipements électriques révèlent leurs qualités. De manière pragmatique, un matériel qui ne fait pas parler de lui est un bon choix. La difficulté pour l'historien est alors l'absence de traces, que ce soit comme fournitures embarquées ou lors d'entretiens faits dans les ateliers du Port.
- l'inévitable phase de retrait du service et de déconstruction ne présente pas d'intérêt pour notre étude.

Durant chacune de ces phases, la répartition des rôles est très variable selon les ressources disponibles dans les arsenaux et les tensions diplomatiques ou militaires. Les aléas du plan de charge touchent le personnel des arsenaux et les industries électriques. A noter toutefois une certaine souplesse pour ces dernières qui réalisent une partie de leur chiffre d'affaires pour des flottes militaires étrangères. Au travers des ateliers des ports, la Marine acquiert et conserve un savoir-faire nourri de l'intervention sur les bâtiments en service. Ces compétences sont essentielles d'une part pour alimenter en propositions pragmatiques les nouveaux projets, d'autre part pour être dans un rapport de force équilibré avec les industriels et fournisseurs des marchés d'état.

3.3.B. Le personnel embarqué

Officiellement, en 1888, il n'y a pas d'électricien à bord des bâtiments de la Marine Nationale. 25 ans plus tard, en 1912, l'équipage du sous-marin *Gymnote* s'appuie sur 8 électriciens pour un effectif total de 24 marins non compris les deux officiers. Le ratio de 33 % est ici à un niveau particulièrement élevé qui s'explique entre autres par la propulsion électrique du navire. L'écart entre ces deux situations souligne la mutation réalisée en 25 ans.

Alors qu'en 1888, le savoir-faire électrique reste modeste et est insuffisant pour devenir une spécialité reconnue dans l'organisation, les sous-marins ont un besoin quantitatif fort et explicite de professionnels électriciens. Dans l'intervalle, le savoir-faire électrique était adjoint à un homme orchestre et polyvalent, le Marin Torpilleur-Electricien. En 1912, la polyvalence cède le pas à la complémentarité et l'organisation évolue de l'unique Marin Torpilleur-Electricien au binôme Marin Electricien et Marin Mécanicien-Torpilleur : le Marin-Electricien se détache des savoir-faire du mécanicien. On peut parler de l'enracinement graduel du métier sur les navires à partir de cette spécialité unique qui fait souche : elle donne lieu à une nombreuse filiation tout au long du XX^{ième} siècle, en particulier après le second conflit mondial.

3.3.B.a. Le « Service à bord » des électriciens

L'organisation d'un bâtiment de la Marine Nationale est régie par des décrets et des arrêtés ministériels qui définissent le « Service à bord ». Ces textes sont publiés selon le cas au Journal Officiel de la République Française, au Bulletin Officiel de la Marine ou dans des publications officielles rattachées au ministère de tutelle. Les arrêtés et décrets font l'objet de modifications régulières dont l'analyse détaillée pourrait être l'objet d'une recherche. A titre d'exemple, le décret « Sur le service des forces navales » pris initialement le 18 février 1928 connaît six modifications avant le 1^{er} janvier 1936. Dans le cadre de la recherche menée, l'examen d'un échantillon de ces textes donne des indices sur les changements induits par les objets électriques à bord. Sur la période 1880-1935, plusieurs textes décrivent les mesures d'organisation autour de l'objet technique et plus précisément sur les différentes missions confiées au personnel à bord.

Les textes charnières sont les suivants :

- les décrets sur le service à bord des bâtiments de la Flotte. Ce décret est pris par le Président de la République, sur proposition du Ministre de tutelle de la Marine et, selon la période, après avis du Conseil de l'Amirauté. Les décisions sont structurantes : elles concernent l'organisation générale du Ministère de tutelle de la Flotte, la répartition des missions entre les entités du Ministère, le concept de Forces Navales, la structure des États-majors.
- les arrêtés d'application du décret ci-dessus. Cet arrêté est pris par le Ministre de tutelle et décline le détail des décisions du décret. Le principe de répartition des responsabilités à bord est décrit ainsi que les missions des différents membres de l'équipage.

Ces textes constituent l'aspect formel de l'organisation et ils complètent le socle fondamental de la culture des marins. Issue de l'histoire collective, cette culture est un socle revendiqué par certains officiers de marine qui voient dans les bâtiments de combats des

« usines fortifiées ». L'extrême complication rend nécessaire la spécialisation du personnel, le matelot est remplacé par l'ouvrier, bref « *il n'y a plus de vrais marins , mais des gens qui en portent plus ou moins bien le costume* ». Devant le risque de profusion de spécialités, certains²⁸⁶ préconisent de les grouper mieux autrement. « *Avec un supplément d'instruction insignifiant, tout mécanicien, grâce auquel est assurée la marche des générateurs d'électricité, pourrait, sans peine devenir apte à suivre le cours de cette électricité tout au long de ses canalisations.* » Néanmoins, ce point de vue ignore la réalité des pratiques en sous-estimant les différences de compétences et en sur-estimant leur complémentarité.

Sur la période d'étude, au-delà des ajustements fréquents et mineurs des organisations, la Marine se restructure en profondeur et cadre ses transformations dans ses règlements à trois dates majeures : 1885 avec le phénomène torpilles, 1910 avec l'efficacité au combat et 1928 avec le concept de Forces Navales. A chacune de ces dates, un décret et un arrêté marquent les nouvelles doctrines : excellents marqueurs, ces textes sont une opportunité d'apprécier de manière quantitative et qualitative la place qu'y trouve l'électricité. Leur analyse synthétique est proposée ci-dessous, l'analyse détaillée et l'ensemble des extraits de ces textes sont dans l'annexe H.

Le tableau ci-dessous quantifie la répartition des articles qui traitent d'électricité dans la chronique des décrets et des arrêtés. L'année 1928 présente une anomalie dans le volume d'articles du décret, en nette contraction par rapport aux textes similaires précédents. La scission du décret « Service à bord » en deux décrets est la cause de cette rupture, le premier texte porte sur le service à bord proprement dit et le second décret reprend tous les articles concernant les marques et les honneurs. Il y a donc un changement de périmètre du décret sur la période.

La chronique observée est réduite, mais l'année 1910 est remarquable par le volume consacré de manière absolue et relative au sujet électrique. Cela s'explique parfaitement si l'on admet que l'année 1886 correspond aux premiers pas à bord, donc le sujet est peu documenté. L'effervescence des années 1900 nécessite un cadrage détaillé des usages de l'électricité sur les navires, ce qui se traduit par le doublement des textes sur le thème. Ces prescriptions réglementaires sont portées par l'arrêté qui attribue les charges et répartit les responsabilités dans l'équipage. Enfin, l'année 1928 ne se focalise pas sur une technologie devenue relativement banale à terre et à bord : les marins apprécient de faire court et concis lorsque le sujet ne mérite pas plus.

286 Pierre DE KADORE, *Les spécialités dans la marine*, Paris, Armée et marine -N° 51, 1907, p. 565.

		1886	1910	1928
Décret	Nbre total d'articles du décret	873	502	257
	Nbre d'articles sur l'électricité	10	8	16
	Ratio	1,1%	1,6%	6,2%
	Nbre de mots dans les articles sur l'électricité	378	234	567
	Evolution / 1886	100%	62%	150%
Arrêté	Nbre total d'articles de l'arrêté	726	714	618
	Nbre d'articles sur l'électricité	18	27	19
	Ratio	2,5%	3,8%	3,1%
	Nbre de mots dans les articles sur l'électricité	655	1489	567
	Evolution / 1886	100%	227%	87%

Tableau d'analyse quantitative du contenu des règlements versus électricité

En ce qui concerne l'électricité, la rédaction des règlements vise à expliciter ce qui est interdit et ce qui est prescrit. Les points mis en exergue et le choix des mots nous renseignent sur la représentation implicite de la technologie qui guide le rédacteur.

Une préoccupation traverse les trois rédactions : la prévention des incendies. L'éclairage avec des fanaux munis de flammes ayant été cause de nombreux incendies dans la marine à voile, la prudence reste donc de mise face à de nouveaux dispositifs d'éclairage, source de chaleur et donc risque potentiel. Les lampes doivent être éteintes lorsque les locaux ne sont pas occupés et le matériel ne doit être entretenu que par des électriciens.

Les textes de 1886 se focalisent sur le matériel associé à la mise à feu des torpilles. Il y est question de vérification de piles, d'immersion dans l'eau douce de câble en gutta et de projecteurs photo-électriques. La rédaction spécifie un niveau de détail, soulignant en creux une faible compétence de l'équipage.

Les règlements de 1910 formalisent des exigences de prudence face à la vague de nouveautés. Certes l'éclairage intérieur s'est répandu des soutes à la hune, mais les fanaux de remplacement doivent être disponibles en permanence. D'ailleurs, tous les semestres, le bâtiment se prive d'éclairage électrique pendant 24 h et vérifie que les lampes à huile et les fanaux à bougies sont opérationnels. L'approvisionnement en bougies stéariques ordinaires et pour fanaux existe toujours en 1922²⁸⁷. Les compas magnétiques sont perturbés par le courant continu, les étincelles et les échauffements sont traqués, tout particulièrement à proximité des soutes à munition. Enfin, le service « Torpille-électricité » voit ses attributions définies, y compris la configuration du système électrique lorsque le navire est au combat.

La rédaction de 1928 entérine la création du service « Electricité », un parmi dix autres entités au périmètre bien défini. L'électricité est plus fiable, l'éclairage de secours est électrique. La frontière entre électricien et mécanicien reste inchangée depuis l'origine : les mécaniciens conduisent la génératrice dynamo et son moteur, les électriciens sont responsables des installations en aval. Chaque service se voit assigner des dispositions périodiques ainsi que sa configuration en vue de la guerre et du combat. La technologie électrique est bien intégrée dans le système technique du navire et cette situation ne requiert

²⁸⁷ Bulletin officiel de la Marine - Tome 148 - Instruction du 12 aout 1923, Paris, 1923a, p. 563.

plus d'attention spécifique. Les exigences particulières sont désormais intégrées dans le savoir-faire professionnel commun : elles sont devenues un acquis du temps long

3.3.B.b. Le quotidien de l'équipage et des officiers-mariniers

L'activité quotidienne de l'équipage n'est pas décrite dans les règlements, mais elle est constituée de gestes professionnels en situation, de tours de main, autant de pratiques immatérielles et évanescentes. Les documents photographiques qui ont pour objet les flottes militaires sont pour la plupart des vues d'ensemble d'un bâtiment, quelques portraits de commandants et plus rarement des vues de l'équipage dans des compartiments techniques. Le corpus se réduit donc à trois plaques photographiques datées de 1898 environ, prises à l'intérieur de cuirassés de l'US Navy. Il s'agit des premiers cuirassés de l'US Navy, ce qui explique la large couverture photographique des trois cuirassés de la classe Indiana. Pour l'US Navy, ces cuirassés sont les derniers avant le bouleversement des dreadnought.

Les informations visibles sur ces documents sont en cohérence avec les matériels similaires de la Marine française : il n'y a pas d'écarts notables sur les technologies mises en œuvre. Il s'agit d'une dynamo de 16 kW (80 Volt et 200 A) qui tourne à 400 t/mn.

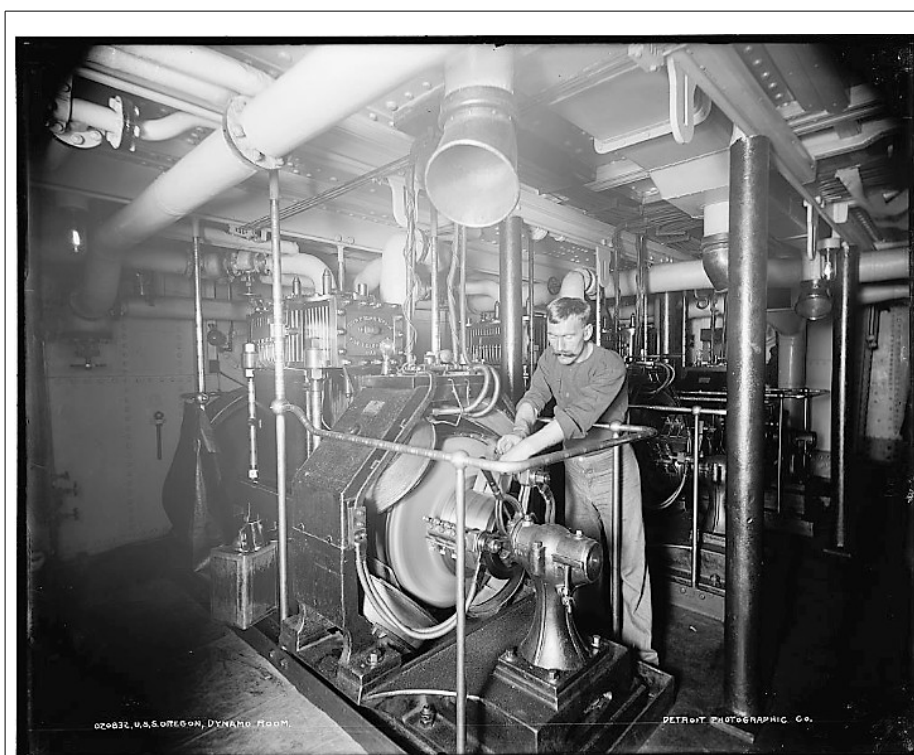


Illustration 95 : Électricien intervenant sur une dynamo en rotation

Source : Detroit Publishing Compagny Collection at the Library of Congress

L'*USS Oregon* est un cuirassé de 100 m de long et de 10000T.

Lancé en 1896, il fait l'objet d'un reportage photographique vers 1898 (entre 1896 et 1901), y compris sur les aménagements intérieurs.

La prise de vue de la tranche dynamo est posée, mais elle illustre bien le lieu de travail quotidien d'un marin électricien.

Ce document contient de nombreux indices sur les gestes du marin et sur son environnement physique professionnel. La salle des machines est vaste et abrite deux dynamos entraînées par des moteurs pistons. Ce cuirassé est un navire lourd, théoriquement stable en mer et peu sensible aux mouvements de houle. Néanmoins, le pourtour des machines

tournantes est muni d'un garde-corps qui protège les marins d'un choc involontaire avec des pièces en mouvement et sous tension. Ce garde-corps est aussi un point d'appui pour un travail périodique de maintenance, le nettoyage du collecteur. Cela consiste à *passer de la toile émerisée sur le collecteur, de l'essuyer avec un linge bien sec puis avec un linge très légèrement gras*. Ces gestes, qui sont indissociables²⁸⁸ des machines à collecteur, font partie du quotidien du métier et se réalisent alors que les pièces sont en rotation. Sur ce cliché où le marin prend une pose pour le photographe, l'intervention simule le remplacement d'un balai sur l'un des trois portes-balais. Là aussi, la manipulation est en charge avec présence de tension et circulation de courant: ce savoir-faire est expliqué dans des ouvrages, mais il est évident que son apprentissage nécessite une pratique auprès d'un électricien chevronné, pédagogue et apte à servir de modèle.

Un focus sur l'extrémité de la dynamo révèle des particularités de cette machine.

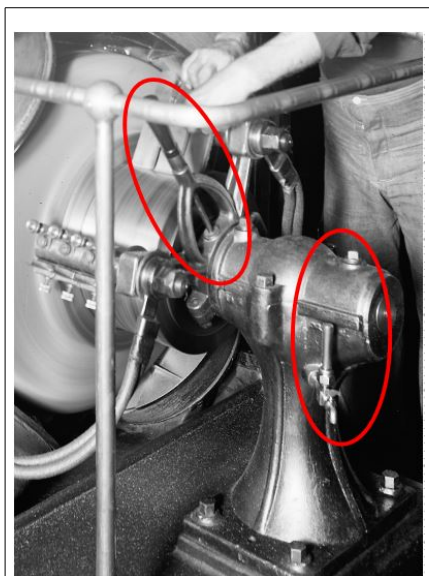


Illustration 96 : Maintenances sur une dynamo

Le palier de support est graissé à l'huile par barbotage. Ce détail est observable grâce au bouchon en partie haute du support, endroit par où se fait le remplissage, et à la présence d'un petit robinet en partie basse du carter, dispositif pour réaliser la vidange de l'huile par gravitation. Le graissage et la lubrification des mécanismes sont des activités essentielles de maintenance pour ce type de machine tournante. La présence d'un bidon d'huile sur l'autre côté de la machine confirme la fréquence de ces gestes.

La position des balais est réglable en marche à l'aide d'un levier qui déplace l'ensemble des porte-balais des deux pôles. Le calage des balais est fonction de l'intensité débitée par la machine et de la réaction d'induit que ce courant crée. Le raccordement des deux pôles par des conducteurs souples confirme la mobilité des porte-balais.

Les deux paires de pôles de l'inducteur de cette dynamo ne sont pas enfermées dans une protection mécanique, probablement pour faciliter les contrôles visuels des différentes pièces et faciliter les interventions de réparation.

²⁸⁸ *op. cit.*, 1921a, p. 60.

Ce second cliché montre l'un des deux tableaux de répartition fixés sur les parois du compartiment, l'un à bâbord et l'autre à tribord.

Le garde-corps est à nouveau présent et il est tout à fait indispensable pour manœuvrer en sécurité les interrupteurs du tableau. Ces interrupteurs à couteaux ont toutes leurs mâchoires sous tension, donc avec un risque de contact direct pour le personnel.

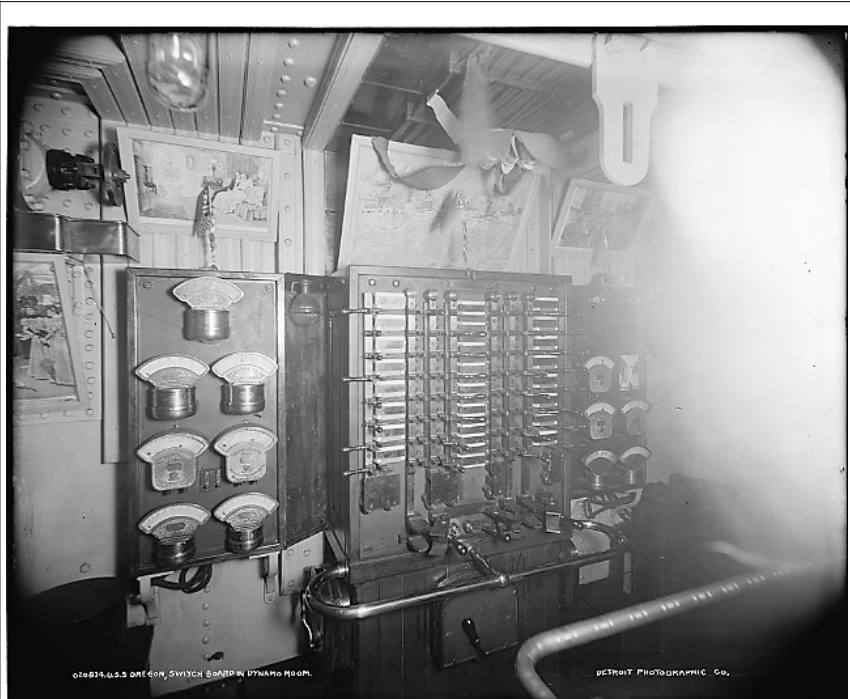


Illustration 97 : Tableau électrique avec interrupteurs à couteaux

Source : Detroit Publishing Company Collection at the Library of Congress

Ce tableau électrique est équipé d'instruments de mesure de part et d'autre du panneau central porteur d'appareillages de connexion. Les appareils de mesure sont des ampèremètres pour surveiller le transit sur les circuits, des voltmètres pour vérifier les tensions délivrées par les deux dynamos et une lampe de surveillance des « pertes à la terre ».

Sur la partie gauche de la photo, un miroir renvoie la vision des machines : cela donne à l'électricien qui est en face du tableau une information sur ce qui se passe derrière lui, soit pour surveiller une machine, soit pour échanger des signes avec un autre électricien qui travaille sur une machine. En effet, le niveau de bruit dans la pièce doit être très élevé, les moteurs à vapeur et les machines tournantes étant particulièrement bruyants.

En partie basse du panneau central, une poignée manœuvre un rhéostat de réglage.

Les raccordements de l'ensemble de ces appareils de commutation et de mesure sont en face arrière du tableau, les connexions avec les dynamos se font par des barres fixées au plafond.

La manœuvre courante consiste à basculer horizontalement les couteaux d'une mâchoire à l'autre, en faisant un mouvement de gauche à droite ou inversement. Cela établit ou supprime un courant, très généralement avec un arc. Le garde-corps évite donc qu'un mouvement du navire ne projette un marin sur les pièces sous tension du tableau.



Illustration 98 : Électriciens travaillant sur un tableau et une dynamo

Source : Detroit Publishing Company Collection at the Library of Congress

Ces trois photos concernent donc des matériels similaires et sont datées entre 1896 et 1901.

Plusieurs détails diffèrent entre les deux salles des machines, preuve que des navires de la même classe ne sont pas strictement identiques : les plus remarquables sont l'absence de piliers verticaux de renfort et la discontinuité du garde-corps autour du collecteur de la dynamo

L'*USS Massachusetts* est un cuirassé de la classe Indiana, tout comme l'*USS Oregon*. La comparaison entre les locaux des deux navires révèle un soin particulier pour faciliter l'exploitation des machines :

- une plaque verticale placée entre la machine à vapeur et la dynamo limite les projections de vapeur et de graisse sur les parties électriques. Cet écran est aussi un écran protégeant la dynamo du rayonnement thermique de la machine à vapeur.
- les câbles principaux de la dynamo cheminent par le plafond vers les tableaux de distribution. Contrairement au câblage de l'*USS Oregon* où les conducteurs sont tendus, les conducteurs d'évacuation sont ici posés en « queue de cochon » : cette disposition évite des efforts mécaniques sur les câbles et les cosses de serrage lors des mouvements relatifs entre les machines et la coque.

Les quatre électriciens prennent la pose pour l'occasion. Mais il n'est pas certain qu'un électricien manœuvrerait les interrupteurs en tenant d'une main la rambarde et de l'autre l'interrupteur. En effet, il y a conflit entre deux adages dans le cas présent. Le premier adage s'énonce : « Une main pour le bateau, une main pour le marin » mais pour un électricien, travailler une main dans la poche est une précaution pour limiter le chemin du courant dans le corps en cas d'électrocution.

L'électricien marin est ainsi un individu hybride, ce qui transpire dans son vocabulaire et ses pratiques. Il existe quelques nuances de formes selon les pays et leurs usages culturels. En 1895²⁸⁹, la recommandation de la Chambre syndicale des Industries Electriques est ampoulée et assez peu stricte dans sa forme : « *Pour éviter tout accident dans les manœuvres à*

²⁸⁹ Joseph LAFFARGUE, *Manuel de l'ouvrier monteur électricien*, Paris, B.TIGNOL, 1898, p. 519.

effectuer sur les appareils, on doit ... autant que possible, se servir d'une seule main, l'autre restant éloignée des appareils. ». En 1898, LAFFARGUE²⁹⁰ enseigne doctement à l'ouvrier français « *Il ne faut jamais toucher un appareil avec les deux mains à la fois* ». En 1913, le pragmatisme américain²⁹¹ est plus direct « *Keep one hand in your pocket* ».

On retrouve l'ascendance hybride des électriciens marins au travers de termes utilisés de leur manuel de référence. C'est ainsi que les circuits électriques où transitent une intensité excessive doivent être brisés : c'est le rôle des « brise-circuits²⁹² ». Ce terme, qui est apparenté au travail salvateur de la hache qui brise les cordages entravant une mâture détruite, disparaît du vocabulaire vers 1900. Par contre, la référence au matelotage avec le vocable d'épissure reste longtemps dans le vocabulaire officiel, bien au-delà de 1935.

Enfin, le marin électricien évolue dans la culture maritime traditionnelle, où le professionnalisme comble les absurdités administratives, démontrant ainsi ses qualités d'adaptation face à des injonctions paradoxales. Les électriciens ont des difficultés à recevoir un outillage adapté à leur métier. La recherche des défauts d'isolement dans les canalisations est une tâche banale, mais il faut attendre septembre 1923, donc après la première guerre, pour que la nomenclature générale²⁹³ d'armement mentionne un ohmmètre complet avec magnéto. Cette dotation ne concerne que les cuirassés et les croiseurs. Il y a là un paradoxe pour ne pas dire une contradiction avec l'obligation faite depuis 1912 au Service Electrique²⁹⁴ de vérifier quotidiennement l'isolement des canalisations et de manière hebdomadaire celui des génératrices. Dans ce cas, l'expérience permet d'arbitrer²⁹⁵ avec intelligence entre la doctrine et l'efficacité.

3.3.B.c. La mutation technique des officiers

Les officiers exercent le commandement à bord, dans leur domaine de prérogatives fixé par l'organisation du bâtiment. Pour commander à bon escient²⁹⁶, ils doivent connaître les métiers où leur autorité est attendue : cela nécessite des savoirs partagés, un langage commun, et une vision commune. Lorsque le domaine électrique prend une place incontournable, il devient un espace qui doit être pleinement dirigé efficacement par l'état-major afin d'en obtenir le meilleur et d'en éviter le pire.

Alors que la sous-communauté des électriciens de marine et plus encore des électriciens de la marine militaire se structure progressivement, il en est de même pour la communauté des officiers. Les officiers de marine étant « par nature » des artilleurs, certains officiers artilleurs prennent en charge les torpilles, donc la technique électrique ainsi que la TSF. Une autre filiation technique est possible, celles des mécaniciens, mais elle ne débouche pas sur la période d'étude²⁹⁷. Au XIX^e siècle, la promotion interne n'est pas dans la culture de

290 Joseph LAFFARGUE, Manuel de l'ouvrier monteur électricien, Paris, B.TIGNOL, 1898, p. 511.

291 O'CONOR, *Practical electricity*, New-York, THE NORMAN W. HENLEY PUBLISHING CO., 1913.

292 *Manuel du mécanicien torpilleur-PREMIERE EDITION - 2e et 3e Partie - Pompes de compression, Appareils photo-électriques*, France, Ministère de la Marine, 1890b, p. 74.

293 *Bulletin officiel de la Marine - Tome 148 -N° 28*, Paris, 1923b, p. 379.

294 *Bulletin Officiel de la Marine - Tome 125- N° 33*, Ministère de la Marine, 1912a, p. 935.

295 Un adage du management déclare que la désobéissance est une initiative qui n'a pas réussie.

296 Laurent MERER, *Bulletin d'études de la Marine - N° 45*, Ministère de la Défense, 2009, p. 47.

297 Les officiers mécaniciens deviendront des officiers techniciens, à terme intégrés au corps des officiers de marine. Ils seront alors des officiers de marine spécialisés Machine / Energie, dont l'électricité.

la Marine, le corps des officiers de Marine ayant une solide réputation d'attachement à la tradition et à une forme de corporatisme de classe. Néanmoins, une fois mis en place, le corps des officiers d'équipage donne des officiers ayant une spécialisation électricité.

Cette mutation technique peut créer des tensions au sein de l'état-major, situation classique où la hiérarchie est parfois débordée par une nouvelle technique qu'elle subit avec irritation et quelques désagréments pour les jeunes officiers²⁹⁸ incarnant cette innovation.

1- Les officiers de marine.

Les officiers de marine sont issus de l'Ecole Navale où ils sont admis par concours ou en sortant de l'Ecole Polytechnique. En 1913, le programme de cours préparatoire²⁹⁹ de l'Ecole Navale comprend 20 conférences qui traitent de l'électrostatique, de l'électrocinétique, du magnétisme et de leurs applications. Tous les officiers ont donc des bases en électricité, connaissances qui relèvent toutefois d'une culture scientifique très éloignée d'une application technique. Ces notions de physique théorique présentent une modélisation des phénomènes, elles permettent aux officiers de communiquer autour des objets mettant en œuvre ces principes.

Les officiers peuvent avoir une spécialité : officier canonnier, officier torpilleur et officier fusilier. Ainsi en 1895³⁰⁰, trois écoles de spécialité assurent l'instruction des officiers élèves et délivrent les brevets de spécialités. Ces formations sont destinées aux officiers subalternes et elles participent à leur appréciation globale en vue d'accéder aux grades d'officiers supérieurs. Bien que les officiers mécaniciens ne soient pas des officiers de marine, ils peuvent obtenir le brevet d'officier torpilleur.

Dès 1898, certains officiers torpilleurs³⁰¹ suivent les cours de l'Ecole Supérieure d'Electricité et y passent l'examen de sortie. Ces officiers torpilleurs électriciens sont affectés comme officiers électriciens à bord ou à terre.

La compétence technique de quelques officiers est reconnue par la hiérarchie militaire qui autorise la publication d'articles dans des revues spécialisées. Cette activité d'écriture est aussi un dérivatif à un certain désœuvrement lorsque l'intensité du service à bord ou à terre est modérée. Ainsi en 1879, le vice-amiral JAURÉGUIBERRY, alors Ministre de la Marine, autorise³⁰² la collaboration d'officiers de marine aux publications d'articles dans la revue La lumière électrique. La commission académique chargée d'examiner les travaux des officiers insérés dans la Revue Maritime signale les textes de qualité. Ainsi en 1893, le lieutenant de Vaisseau ABEILLE reçoit une médaille d'or³⁰³ pour son étude « *Installations électriques à bord des bâtiments de guerre* ». Cet article est intégré dans le corpus de cette thèse.

Les activités quotidiennes sur un bâtiment armé s'organisent autour de la conduite des équipements et de la maintenance du matériel. A bord, l'officier responsable du Service des Torpilles rédige tous les semestres un rapport sur le fonctionnement du Service. Dès janvier 1913, ce rapport³⁰⁴ est scindé en deux cahiers, l'un « *traitant ... exclusivement de tout ce qui se rapporte aux appareils électriques à la charge du service* ». Cette mesure est rendue

298 Sauvaire-Jourdan, *La marine de guerre*, Vuibert, 1910, p. 186.

299 *Bulletin Officiel de la Marine - N°6 (Principal)*, Ministère de la Marine, 1913c, p. 219.

300 *Carnet de l'officier de marine*, 1895a, p. 374.

301 *Revue du cercle militaire*, 1898a, p. 387.

302 *La lumière électrique - Tome 1-N°2*, Paris, 1879d, p. 1.

303 *op. cit.*, 1895a, p. 394.

304 *Bulletin Officiel de la Marine - N°4*, Ministère de la marine et des colonies, 1913d, p. 59.

nécessaire par l'importance des activités électriques, elle prélude une réorganisation des deux services à terme.

2- Les officiers mécaniciens.

Les officiers mécaniciens forment une corporation distincte du corps des officiers de marine. Le Corps des officiers mécaniciens est créé en 1860, la vapeur ne pouvant plus être reléguée à un statut excessivement annexe. Une certaine rivalité existe entre les deux corps, il appartient ici de ne pas la passer sous silence sans pour autant prétendre en déterminer les fondements ou les mécanismes. En synthèse, la presse spécialisée fait état d'une solde plus avantageuse pour les officiers mécaniciens, mais d'un déroulement de carrière plus ouvert pour les officiers de marine. Selon le député MESSIGNY³⁰⁵, rapporteur du budget de la Marine en 1904, les mécaniciens que « rien ne rattache au passé et dont le métier fait des serviteurs exclusifs du progrès industriel » ne peuvent être comparés au corps des officiers de marine « recruté à l'intérieur d'un cercle assez restreint, dans cette sorte de famille maritime qui ferme volontiers l'oreille à tous les bruits du dehors »

Dès 1901, la question³⁰⁶ se pose de rattacher l'électricité aux mécaniciens ou aux officiers de marine. Ce lien organique comprend une certaine charge de travail, mais surtout des responsabilités associées, qu'il faut replacer dans leur contexte : les officiers de marine sont des officiers de pont responsables de la stratégie et de la tactique à bord, ils sont dépositaires du pouvoir exécutif. Les officiers mécaniciens sont reconnus officiers combattants, mais dans les faits, ils n'accèdent pas au commandement d'un navire. Les officiers de pont souhaitent garder leur pouvoir hiérarchique, leur responsabilité au combat et ils entendent prévenir toute diminution de leur périmètre au travers d'un argument basé sur des équipements techniques. Or, dans la marine, l'électricité est la fille des torpilles, armes sous responsabilité d'un officier de pont. Le rattachement de l'électricité à un officier mécanicien reviendrait à dessaisir un officier de pont de certaines responsabilités et prérogatives de combat, ce qui à terme pourrait aboutir à confier le commandement exécutif d'un bâtiment à un officier mécanicien. Une frontière va stabiliser le partage de responsabilité entre ces officiers: le Service Electricité est une activité du pont alors que les Mécaniciens assurent la production d'électricité.

3- Les officiers d'équipage.

Le concept d'Officier des équipages est une réponse à plusieurs préoccupations, certaines d'ordre politique et d'autres d'ordre logistique. Ainsi en 1891, des députés demandent l'attribution aux adjudants principaux du statut d'officier, eu égard à « leur valeur, leur âge et l'ancienneté de leur service ». Cette reconnaissance est une satisfaction morale pour ces quelques membres méritants de la Maistrance, elle a une portée symbolique et politique. En pratique, ils ont le rang d'officiers avec une hiérarchie propre ne comportant aucune assimilation aux divers grades de l'Armée Navale. Le faible nombre de postes créés démontre le caractère d'affichage de cette mesure, qui ne vise pas à développer les compétences des éléments à potentiel. Les marins torpilleurs peuvent être concernées par cette mesure et donc, indirectement, des torpilleurs électriciens.

³⁰⁵ *Armée et marine N°3*, Paris, Armée et marine, 1904d, p. 59.

³⁰⁶ *Armée et marine N°11*, Paris, Armée et marine, 1901c, p. 214.

La loi du 10 juin 1896 vise entre autres à démocratiser le recrutement de la Marine. Un cours dénommé « Ecole des Elèves officiers » est ouvert aux second-maîtres des spécialités principales qui sont préparés au grade de Premier-maître élève officier avant leur promotion au grade d'Enseigne. Ce processus est en place avant l'apparition de la spécialité de Marin électricien, il peut donc s'appliquer aux marins torpilleurs. L'accueil des officiers de marine est assez réservé, comme en témoignent les propos suivants³⁰⁷ : « *Les idées de démocratisation actuellement à la mode ont fait ouvrir largement cette porte il y a quelques années. Les résultats produits n'ont pas démontré d'une façon péremptoire qu'on ait eu raison.* »

La loi de 1913 transforme explicitement l'Adjudant principal en Officier des Equipages de la Flotte, avec cinq classes. La grande guerre exige une extension numérique du corps et facilite la reconnaissance des équivalences de grade. En 1917, les cinq classes d'Officier des Equipages de la Flotte deviennent cinq classes d'Officier des Equipages. Numériquement, la loi du 4 avril 1917 crée 209 postes, au lieu des 110 postes équivalents antérieurs. Cette tendance se poursuit en 1919, la loi du 21 juillet portant cet effectif à 280.

C'est dans ce cadre que les marins brevetés Electricien peuvent accéder aux responsabilités d'officier.

La question de la promotion interne et surtout le passage de la maîtrise au statut d'officier doit s'étudier sur le temps long dans le contexte porteur de la mutation technique du navire de guerre et en situant cet ascenseur social dans l'évolution de la société civile. L'expertise technique est indispensable et elle n'est pas l'apanage d'une élite aristocratique. Ce mouvement de fond traverse la période, quelques marins électriciens en bénéficient³⁰⁸. Le commandement d'un bâtiment au combat reste toutefois une responsabilité distincte et globale à laquelle les officiers d'équipage ne sont pas préparés.

307 Sauvaire JOURDAN, *La marine de guerre*, Vuibert, 1910, p. 216.

308 Jacques TUPET, *Historique de l'officier du recrutement interne dans la marine*, Paris, Société d'études, 1995.

3.4. Quelles formations spécialisées pour les équipages ?

Cette question aborde les modalités d'appropriation de la technique par les différents acteurs, elle porte aussi sur les relations entre la technique et ses représentations. Pendant la période d'étude, l'interaction entre l'organisation de la Marine et les évolutions du système technique naval pointe des moments particuliers de cristallisation dans lequel l'électricité n'a qu'un rôle contributif : l'institution procède à des adaptations incrémentales pour mieux exister dans son environnement militaire international. Ses multiples composantes techniques, dont la technologie électrique, s'actualisent et les acteurs doivent ajuster leurs pratiques. Dans un tel système sociotechnique, les savoirs sont en construction et les marins expérimentent souvent « grandeur nature » de nouvelles réalisations. Ces expériences à la mer participent à la constitution d'un savoir spécifique, susceptible d'être transmis entre gens de métier. La difficulté réside dans la diffusion de ce savoir-agir qui n'est pas de l'ordre d'une connaissance littérale. Si l'on admet que l'on ne peut pas transmettre ce qui est de l'ordre de l'expérience, le dispositif de formation des marins est alors essentiel pour réussir l'insertion du matériel électrique à bord.

A l'issue de sa visite en 1874 de l'exposition universelle de Vienne, l'ingénieur de la Marine MADAMET rédige un rapport³⁰⁹ sur l'enseignement technique en Allemagne et en Autriche. Ayant observé que la pédagogie recourt à des objets plutôt qu'à des cours magistraux et que les élèves manipulent des modèles réduits de mécanisme, le rapporteur préconise une réorganisation des écoles de maistrance pour « *lutter contre la tendance malheureusement générale ... à tout apprendre par cœur* ». Il préconise donc de « *remplacer un enseignement purement mnémotechnique par des leçons ayant pour but de développer l'intelligence ... en s'adressant à leur esprit d'observation* ». Cette observation fera lentement son chemin. Elle est pleinement reprise en 1910 dans le décret sur le service à bord et surtout dans son arrêté d'application qui stipule dans son article 605 : *Les instructeurs doivent faire appel à l'intelligence de l'homme beaucoup plus qu'à sa mémoire*. Ce sont sur ces bases pédagogiques que l'instruction technique des marins électriciens est réalisée dès lors.

La formation des navigants est aussi un révélateur des pratiques existantes dans ce système socio-technique. La publication des manuels techniques est intimement liée à l'émergence des "écoles de spécialité", que la Marine met en place à partir des années 1910 afin de faire face à l'explosion de ses besoins en techniciens capables d'exploiter les installations. L'étude du contenu de ces ouvrages révèle une partie du fonctionnement prescrit du système socio-technique. Par contre, les normes de comportement ne sont pas accessibles car la transmission des savoir-être s'appuie très largement sur l'exemplarité et sur la reproduction de modèles. Le corpus de recherche ne contient que de rares photographies de marins en situation, les gestes professionnels sont très peu explicités dans les archives consultées, ces matériaux tenus restreignent donc la production d'un travail historique sur les champs du savoir-faire et du savoir-être.

3.4.A. Dans la flotte française

3.4.A.a. L'équipage

Pour donner un savoir-faire aux marins des nombreuses spécialités du Corps de l'équipage, la Marine s'appuie traditionnellement sur diverses écoles localisées, selon le cas, dans les flottilles ou dans une structure centralisée. Ainsi en 1908, avant la création de la

309 MADAMET, *Instructions et écoles*, Paris, Carnet du Génie Maritime, 1874, p. 221.

spécialité d'électricien, l'école des marins torpilleurs forme les torpilleurs et les torpilleurs sédentaires. Les premiers embarquent alors que les seconds sont affectés d'une manière permanente, aux défenses fixes des ports militaires. Les marins torpilleurs sont embarqués et ils assurent entre autres, le service des appareils électriques. Ils reçoivent pour ce faire une instruction pratique et théorique à l'école des marins torpilleurs : ils en sortent torpilleurs brevetés, à ne pas confondre avec mécaniciens torpilleurs.

Un mécanicien torpilleur peut être chargé de la conduite et de l'entretien des machines et des appareils électriques. Cela nécessite un certificat accessoire qui vient compléter le brevet de mécanicien : le certificat de mécanicien torpilleur. Les matériels électriques sont donc rattachés à plusieurs spécialités, situation transitoire par essence.

L'activité électrique reste secondaire et annexe. Tant que la polyvalence ne nuit pas à l'efficacité, cette disposition s'avère suffisante. Les limites de l'organisation sont atteintes en 1908 avec 21 brevets de spécialités et 13 certificats accessoires³¹⁰. Ces multiples attestations de qualification professionnelle ne comportent qu'un seul niveau, une exception avec le brevet supérieur de mécanicien qui existe dès 1907. La promotion en grade de l'équipage et son accession à la maîtrise sont donc essentiellement conditionnées par des notes, des points et des bonifications. Un mécanisme administratif complexe statue tous les semestres sur la liste d'avancement par ordre de mérite. Le cas de l'avancement au grade d'adjudant principal, aboutissement d'une carrière de maîtrise, fait l'objet d'une épreuve écrite et d'un examen oral sur les matières contenues dans le Manuel du marin torpilleur : il s'agit avant l'heure d'une validation des acquis de l'expérience, sans aucune autre formation complémentaire préalable.

Durant l'été 1911, plusieurs rapport argumentent la nécessité de structurer l'instruction du personnel subalterne de la Flotte, les matelots et des officiers marinières ayant d'importantes lacunes de compétences. Cela passe par la refonte de l'ensemble des spécialités et du dispositif d'instruction. Fort des bons résultats obtenus par la *branche* « Mécanicien », les dispositions prises pour les 19 spécialités³¹¹ existantes reprennent peu ou prou les règles retenues pour les mécaniciens en 1908. Le marin électricien relève dès lors de ce cadrage général qui scande la carrière du marin en deux parties :

- du grade de matelot à celui de second-maître, l'avancement se fait sans autre enseignement que celui nécessaire à l'obtention du brevet élémentaire de la spécialité,
- l'accession au grade de maître et de premier-maître est subordonnée à l'obtention d'un nouveau brevet dit «brevet supérieur», pour les seconds-maîtres, après un stage de six mois accompli dans l'école de la spécialité.

A l'origine, en 1912, le contingent est exclu de cette reconnaissance professionnelle. Une circulaire ministérielle³¹² établit en septembre 1913 cette possibilité de promotion au grade de quartier-maître pour les appelés qui étaient jusqu'alors limités au grade de matelot.

Le cycle adopté pour l'instruction du personnel subalterne des Equipages de la Flotte comprend trois phases distinctes et successives:

310 B.O.M. 1908 – N° 20 bis, Décret du 17 juillet 1908, art 23, p13

311 *Bulletin Officiel de la Marine - Tome 124*, Ministère de la Marine, 1912b, p. 422.

312 *op. cit.*, 1913b.

1° Le dégrossissement militaire et nautique opéré, pour toutes les recrues arrivant au service, dans les compagnies de formation des dépôts,

2° L'instruction particulière donnée, suivant des méthodes uniformes, dans chacune des écoles des spécialités, en vue de la formation des brevetés.

3° L'instruction complémentaire donnée également dans chacune de ces mêmes écoles, à un certain nombre de candidats sélectionnés par concours et qui a pour but essentiel la formation des échelons supérieurs de la maîtrise.

Lors de la mobilisation d'octobre 1914, 5 361 jeunes soldats sont incorporés³¹³ dans l'Armée de Mer. Ils sont qualifiés d'apprentis-marins dans les textes, le terme apprenti ayant le sens d'apprenant qui sera à terme marin. Ces nouveaux arrivants sont dirigés sur les cinq ports de la Flotte. Parmi les inscrits maritimes et les marins qui s'engagent pour un minimum de cinq années, ceux qui ont exercé une profession ou suivi un apprentissage d'électricien avant leur arrivée au service peuvent subir un examen ou un essai professionnel.

268 électriciens identifiés (soit 5 % du contingent de la Marine) passent les épreuves de l'examen à l'atelier central de leur port d'affectation. Selon la note obtenue lors de cet examen et les besoins du service, ils reçoivent un brevet provisoire de 1^{ère} ou de 2^e classe. Cet examen comprend une partie théorique et une partie pratique, dont le contenu³¹⁴ explicite la réalité du métier d'électricien à bord.

- Les « *travaux manuels* » consistent à réaliser avec la lime et la filière, un boulon avec écrou, gestes qui soulignent l'importance du savoir-faire d'ajusteur mécanicien dans le quotidien de la profession. Viennent ensuite la réalisation de jonctions diverses de câbles électriques, puis de soudures et brasures sur câbles.

- Les « *épreuves électriques* » abordent les concepts de couplage en série et en quantité, les montages de lampes avec des interrupteurs, la vérification de l'isolement ou d'un *brise-circuit*... et les précautions à prendre pour *greffer un circuit sur une canalisation*.

Une note comprise³¹⁵ entre 13 et 17 permet de délivrer un brevet provisoire de 2^e classe, une note supérieure à 17 donne accès au brevet provisoire de 1^e classe. A noter que les anciens élèves diplômés de l'Ecole Supérieure d'Electricité reçoivent d'office le brevet provisoire de 1^e classe.

Les matelots électriciens brevetés provisoires sont affectés au service électricité du bord avec le grade et la solde, suivant le cas, de matelot de 2^e ou de 1^{ère} classe. En terme de grade et de solde, l'obtention du brevet provisoire de 1^{ère} classe donne la même reconnaissance que le brevet élémentaire. De leur côté, les apprentis-marins sont nommés matelots sans spécialité après un an : ils ont alors le grade et la solde de matelot de 3^e classe.

313 *Bulletin Officiel de la Marine - Tome 130 - circulaire du 10 juillet 1914*, Ministère de la Marine, 1914c, p. 181.

314 *Bulletin Officiel de la Marine - N°2 (Principal) - arrêté du 31 décembre 1913*, Ministère de la Marine, 1914d, p. 160.

315 *Ibid.*, p. 154.

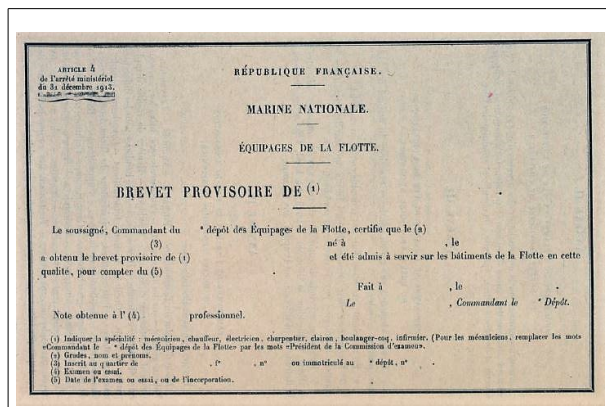


Illustration 99 : Brevet provisoire d'électricien

Source :B.O.M. 1914 n° 2 p 162

Les brevets provisoires ne donnent pas accès au grade de quartier-maître qui n'est accessible qu'aux brevetés élémentaires. Après un an de service durant lequel un complément d'instruction lui est donné, le jeune marin breveté provisoire peut se présenter à l'examen du brevet élémentaire, soit directement à bord, soit dans l'École de spécialité.

Le certificat de TSF n'est pas un brevet mais un titre qui « concerne des connaissances accessoires de la spécialité. »

L'obtention du brevet élémentaire procède d'un examen clôturant l'instruction en école de spécialité. En 1923³¹⁶, l'instruction à l'école des électriciens est de six mois pour un matelot sans spécialité et de trois mois pour un brevet provisoire. Une note supérieure à 14 à l'examen du brevet élémentaire permet une promotion d'office au grade de quartier-maître. Le contingent de formation des brevetés élémentaires est de 100 par trimestre, soit le tiers du contingent de canonnières ou de chauffeurs.

L'instruction de spécialité comprend l'étude du *Manuel du marin électricien* et des notions succinctes sur les sous-marins. Ce manuel, connu sous le N°5156 de la nomenclature des documents, est la référence pour l'élève qui peut s'y reporter durant son instruction, puis lors de son embarquement. Plusieurs éditions sont nécessaires sur la période 1912–1935. La première édition, inchangée³¹⁷ jusqu'en 1921, sépare les principes généraux de l'électricité (titre 1-94 pages) de l'application de l'électricité à bord (titre 2-95 pages). La rédaction est claire et s'appuie sur des schémas synthétiques. Les formules mathématiques sont absentes, des tableaux fournissent les éléments quantitatifs nécessaires pour les sections de conducteurs et les fusibles.

Les connaissances pratiques portent sur des notions de technologie, l'entretien du matériel et des travaux d'atelier. La part de petits travaux mécaniques est importante car le domaine d'intervention vaste : un électricien peut avoir à fixer de l'appareillage électrique sur des cloisons métalliques, mais aussi reprendre sur un tour un collecteur de moteur endommagé. Il exerce son métier dans un environnement métallique où son savoir-faire d'ajusteur mécanique est essentiel.

Dès 1914, les consignes pédagogiques³¹⁸ donnée aux écoles par l'arrêté ministériel sont claires et alignées sur l'esprit de l'arrêté du service à bord : « 1°Éliminer rigoureusement toutes les connaissances théoriques et pratiques qui ne répondent pas à l'utilisation normale

316 *op. cit.*, 1923a, p. 243.

317 Devient en avril 1921 le *Manuel du matelot électricien* N°5156 A

318 *Bulletin Officiel de la Marine - N°15bis - arrêté du 27 février 1914*, Ministère de la Marine, 1914e, p. 1246.

d'un breveté à bord d'un bâtiment moderne; 2°... ; 3° En principe, l'éducation se fait par des leçons de choses. Les théories proprement dites sont réduites au strict minimum. **Les leçons de pure mémoire sont proscrites.** » Le rejet des leçons de pure mémoire est exprimé de manière très ferme, avec une typographie particulière dans le texte original.

Cette exigence de méthode est à replacer dans le contexte de l'instruction publique qui accorde une place importante à la mémorisation et à la récitation par cœur. Cette pratique pédagogique facilite certes l'exercice de la notation par l'instituteur, mais il ne privilégie pas la compréhension des contenus par l'apprenant. La Marine opte donc pour une posture très ambitieuse, concrète et très certainement en phase avec la culture française du système D, qui se traduit sur les bâtiments par un savoir-être bien particulier : faire avec les moyens du bord.

L'examen de sortie comprend cinq rubriques avec un barème global sur 100 points. L'examen de spécialité et de connaissances ouvrières a un coefficient de 40, poids significatif en équilibre avec les formations intellectuelles, militaires et maritimes.

Pour le brevet élémentaire d'électricien, il n'y a pas de note éliminatoire et la note moyenne de 10 est suffisante.

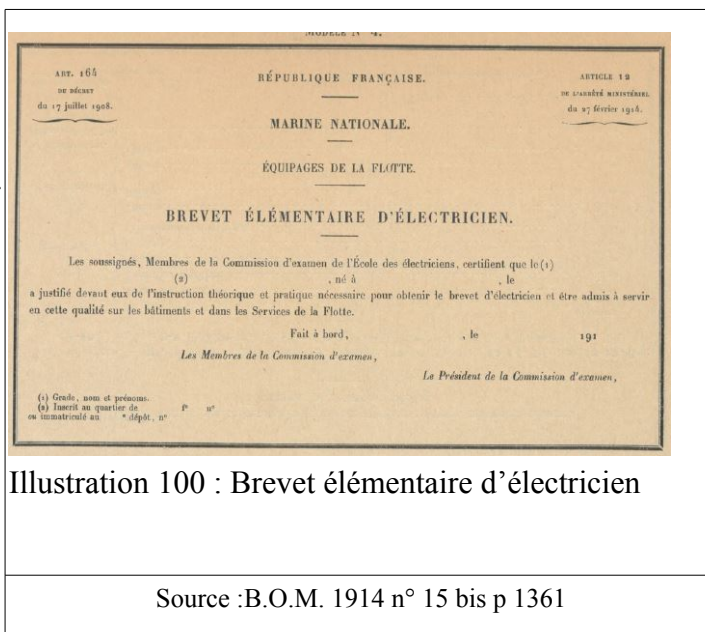


Illustration 100 : Brevet élémentaire d'électricien

Source :B.O.M. 1914 n° 15 bis p 1361

Au dos du brevet est inscrit l'extrait de la feuille d'examen, ces données peuvent contribuer à l'attribution de bonifications d'avancement.

L'obtention de ce brevet d'électricien est donc un sésame qui ouvre des perspectives, mais il peut être retiré en cas de négligence répétée ou d'inconduite. Le comportement des joyeux électriciens de la carte postale souligne bien l'écart possible entre les pratiques réelles et les prescriptions. Les négligences les plus fréquentes concernent le remplacement de brise-circuits par des conducteurs non fusibles, la réalisation de *greffes* de conducteur sans précaution, l'étanchéité du raccordement de moteur et autres gestes dangereux pour la collectivité. Comme dans la plupart des organisations, la réalité du terrain contraint parfois à contourner la règle et il arrive que ce comportement transgressif vienne non pas du matelot, mais de la hiérarchie. Ainsi, le journal « Le cri du Marin » rapporte³¹⁹ dans son édition du 2 octobre 1913 un passage de câble par une porte blindée étanche laissée ouverte, faute de réalisation par l'arsenal du percement d'une cloison avec un joint étanche isolant entre les compartiments. Cet unique exemple ne peut pas être extrapolé, mais il montre la difficulté du métier et l'écart qui peut exister entre la technique prescrite et la réalité des moyens du bord.

Après une année à bord d'un navire armé, un électricien breveté élémentaire peut être promu quartier-maître à condition qu'il sache *lire, écrire et un peu calculer*³²⁰. Cette exigence

319 LAYA, *Par les moyens du bord*, Toulon, Le cri du marin n°52, 1913a.
320 *op. cit.*, 1921a, p. XVIII.

minimale donne la mesure du rôle d'exécutant et, en creux, l'importance de la maîtrise qui organise le détail des travaux à bord. Le grade de second-maître est la dernière promotion que peut obtenir un matelot avec son seul brevet élémentaire. Toute règle ayant au moins une exception, la suspension des écoles de spécialités durant le conflit perturbe la cohérence du dispositif de formation et de promotion. Des dispositions transitoires³²¹, basées sur la notation obtenue et les réunions trimestrielles des Conseils d'avancement, débloquent cette situation, afin « *de concilier dans la mesure du possible, les intérêts des candidats au grade de maître avec l'organisation des spécialités* ».

Analyse diachronique du manuel de l'électricien

L'examen des candidats au brevet se base, pour la partie connaissance théorique, sur le contenu du manuel. Ce document officiel offre en quelque sorte une photographie instantanée de la pénétration de la technique électrique et de ce que ses serviteurs se doivent d'en connaître. Plusieurs éditions de ce cours existent dans les archives du Service Historique de la Défense, identifiées sous différents titres selon le contexte et les spécialités en charge de cette question. Le corpus d'étude comprend 11 versions différentes couvrant la période 1890 à 1947. Bien que n'appartenant pas à la période de cette thèse, la version 1947 de l'opuscule est très intéressante : son contenu et sa forme jalonnent la fin du règne du courant continu. En effet, le Manuel du marin électricien version 1947 est devenu trop dense (plus de 450 pages) et il nécessite deux tomes dont le second ne porte que sur le courant alternatif.

Sur la période étudiée, les manuels prennent plusieurs titres selon la spécialité de son destinataire. Ainsi, le Manuel du mécanicien torpilleur devient le manuel du marin torpilleur, puis du matelot électricien, ensuite celui de l'électricien et enfin celui du marin électricien.

Cette évolution « éditoriale » voit croître le nombre de pages consacrées à l'électricité, qui d'une activité accessoire pour le mécanicien torpilleur devient principale et plurielle pour le marin électricien. Une observation plus fine des thèmes portés par ces manuels montre la reconnaissance du courant alternatif dans le métier à partir de 1921. Cette date ne correspond pas au premier matériel en courant alternatif à bord, mais elle indique que le phénomène n'est plus marginal et que les nouveaux électriciens peuvent intervenir sur ce type d'équipements : leur formation ne peut plus être différée.

Le graphique ci-dessous couvre la période étendue de 1880 à 1947. En ordonnée, pour 8 des 11 versions disponibles, le nombre de pages consacrées à l'électricité est renseigné avec la sous-rubrique dédiée au courant alternatif. Avant 1921, le manuel ne traite que du courant continu. A partir de 1921, le manuel porte sur les deux types de courant. Sur la période, on peut constater que le volume des pages est quasiment multiplié par dix et qu'à partir de 1920, les cours sur le courant alternatif sont la contribution principale à l'étoffement du manuel. Ce phénomène, qui est mesurable et objectif, pourrait être qualifié d'une rupture épistémologique.

En 1966, le format change pour un classeur dont les pages peuvent être remplacées. Les feuillets ont dès lors une taille 18,5 x 25 cm, cela permet de revenir de 450 à 280 pages, avec un onglet rouge très visible séparant la partie courant continu du courant alternatif.

321 *Bulletin officiel de la Marine - N°25 - décret du 16 août 1915*, Paris, 1915c, p. 126-130.

Contenu du manuel de l'électricien

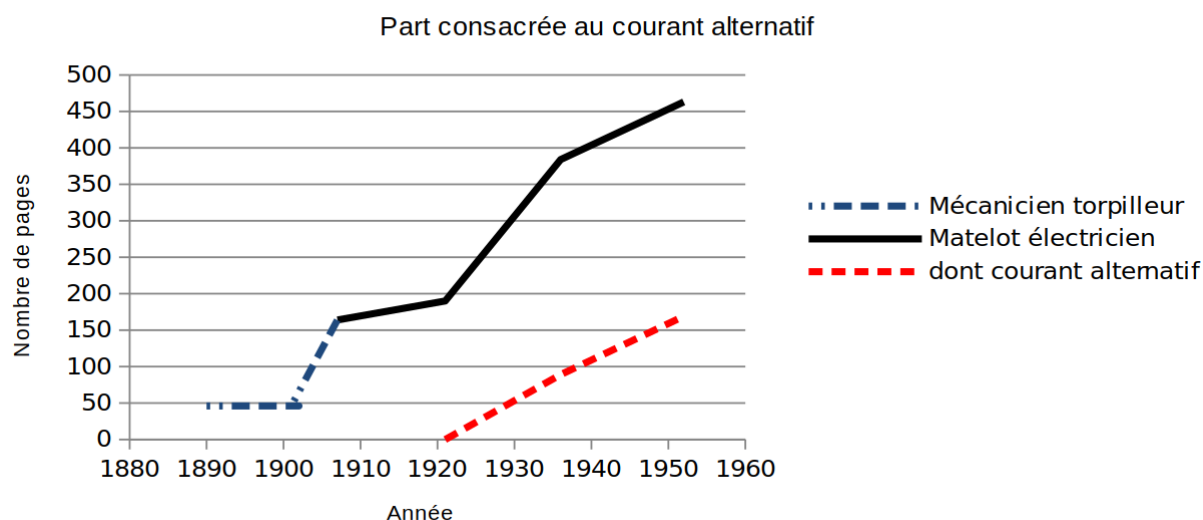


Illustration 101 : Analyse quantitative du contenu du Manuel de l'électricien 1880-1952

3.4.A.b. Les officiers-mariniers

La maistrance a un savoir-faire technique forgé par l'expérience et la pratique. Issue majoritairement de l'équipage, elle connaît les détails de la vie quotidienne des équipes et les gestes sur les matériels. Elle peut donc être une interface précieuse entre les officiers et l'équipage. Ses compétences sont essentielles, la maistrance est une charnière et non pas un relais : sa valeur ajoutée est de transformer un ordre global en une séquence d'actions simples qui aboutissent à l'objectif assigné. Cette place frontière est un véritable saillant-entrant: point faible lors de l'introduction de nouvelles techniques à bord, la maistrance qualifiée devient une ressource indispensable aux officiers de marine qui sont alors incompetents en pratique. La création des officiers des équipages issus de la Maistrance est une reconnaissance des meilleurs officiers mariniers mais aussi un relatif affaiblissement de ce corps intermédiaire qui partage dès lors son expertise technique. A terme, la Maistrance retrouve un certain pouvoir technique au travers de la multitude des spécialités d'électricien !!

En 1890, des apports théoriques dédiés à l'électricité sont ajoutés aux cours de l'école supérieure de Maistrance. Le livre support du cours de l'ingénieur du Génie Maritime CALLOU s'intitule « Electricité pratique ». Cette publication connaît un réel succès : une première édition de 347 pages en 1894 suivi d'une seconde édition de 393 pages en 1897 et enfin d'une reprise de 452 pages en 1904 par Max BAHON. En dix ans, le volume de l'ouvrage de référence croît de 30 %, preuve supplémentaire de la forte implantation de ces équipements à bord.

Dans son ouvrage initial de 1894, l'ingénieur CALLOU opte pour une rédaction pédagogique ciblée sur son public. Le texte est largement illustré (en moyenne une figure par page) et l'auteur s'attache à décrire la variété des matériels auxquels peuvent être confrontés ses élèves. Ces présentations sont souvent relatives, les équipements sont regroupés dans des tableaux et leurs caractéristiques principales sont mentionnées dans de multiples unités physiques. Dès 1894, la compétence exigée de la maistrance se détache nettement des connaissances générales attendues des quartiers-mâîtres.

Ce tableau est une synthèse des caractéristiques de six types de dynamos dédiées à différents projecteurs, du modèle installé sur les canots au modèle fixe équipant des cuirassés.

Les grandeurs physiques sont une aide à la représentation des différentes machines, ce sont des grandeurs qui parlent à l'homme de l'art. Six dimensions esquissent la machine, aucune ne faisant référence au volume ou au poids.

	Machine de 200 becs en série.	Machine de 200 becs compound.	Machine de 500 becs.	Machine de 1600 becs en série.	Machine de 1600 becs compound.	Machine de 4000 becs.
Différence de potentiel aux bornes. e	55 ^v	60 ^v	50 ^v	55 ^v	54 ^v	62 ^v
Débit maximum normal I	15 ^A	15 ^A	24 ^A	45 ^A	44 ^A	90 ^A
Résistance de l'armature r^a	1 ^Ω ,22	0 ^Ω ,52	0 ^Ω ,42	0 ^Ω ,22	0 ^Ω ,18	0 ^Ω ,13
Résistance du gros fil des inducteurs. r_s	3 ^Ω ,04	0 ^Ω ,385	0 ^Ω ,66	0 ^Ω ,54	0 ^Ω ,26	0 ^Ω ,18
Résistance du fil fin des inducteurs. r_d	»	19 ^Ω	»	»	18 ^Ω ,6	26 ^Ω
Vitesse de rotation normale. n	1600 ^r	1350 ^r	950 ^r	650 ^r	660 ^r	420 ^r

Illustration 102 : Unités physiques utilisées par la maistrance

Louis CALLOU, *Electricité pratique : cours professé à l'école supérieure de maistrance de Brest*, Paris, Challamel, 1894, p. 122.

Ces mesures physiques sont inaccessibles sans les instruments de mesure du métier : le volt, l'ampère, l'ohm, la vitesse.

L'ouvrage élargit son propos aux options techniques abandonnées, très certainement pour offrir un recul aux élèves et développer leur sens critique. La dynamo SAUTTER à double collecteur présentée au chapitre 1 est citée, mais l'auteur signale que cette configuration est restée sans suite.

La seconde édition de 1897 est revue et mise à jour après trois années seulement, car la matière enseignée est dynamique et les acteurs du secteur sont très créatifs. L'option pédagogique reste aussi affirmée : *Enseigner les notions pratiques indispensables des diverses branches de la science navale moderne, tout en laissant de côté les théories purement scientifiques, ...* Effectivement, les notions de physique retiennent les 45 premières pages, le reste de l'ouvrage s'attache à expliquer le fonctionnement de l'appareillage et ses particularités. Les formules mathématiques ne font pas appel au calcul différentiel, mais ne s'interdisent pas une racine carré. Des schémas comportent des forces ou des courants avec des flèches sans pour autant recourir au calcul vectoriel. Ce registre de rédaction est tout à fait suffisant pour détailler le bobinage et les collecteurs des dynamos. L'ouvrage passe par les installations à terre des arsenaux pour amener son lecteur à la spécificité des installations à bord. Le sujet du courant alternatif est effleuré et évacué au motif qu'il n'a pas d'application dans la Marine.

La question des balais des moteurs mobilise quatre pages et trois schémas de portée générale, sans se perdre dans les détails des différents constructeurs. Les propos concernent les aspects mécaniques (force de contact), électriques (résistance), géométriques (forme de la surface de frottement) ainsi que la maintenance (intervention en service) : la maistrance doit

avoir des outils pour organiser le travail des matelots, comprendre le pourquoi des gestes, être légitime techniquement et hiérarchiquement.

Le dernier chapitre (60 pages sur les 399 de l'ouvrage) traite exclusivement des installations électriques à bord des navires. Les nombreux exemples décrits déclinent des circulaires ou des instructions ministérielles qui justifient les options mises en œuvre. La réglementation technique est foisonnante, 14 textes concernent l'éclairage intérieur entre 1890 et 1896. Fort de son expérience, l'auteur conseille son lecteur qui aurait à calculer de nouveaux équipements. Il lui livre quelques simplifications argumentées et des tables de choix de matériels.

L'édition de 1904 amplifie l'instruction sur les installations à bord, 140 pages lui sont consacrées. Cette croissance s'explique par la complexité des nouvelles installations. En effet, alors que le couplage de dynamos n'était pas permis en 1897, le système électrique des cuirassés est devenu plus énergivore, ce qui amène maintenant à coupler des dynamos en quantité. Le couplage en quantité de deux dynamos consiste à connecter entre elles les bornes de sortie de ces deux machines lorsque leurs tensions sont égales, puis à obtenir que les variations de puissance appelée se répartissent harmonieusement entre ces deux machines. Cette opération présente des contraintes importantes et les électriciens doivent procéder à des réglages avant de manipuler des équipements munis d'automatismes. Ce changement de matériel n'est que le reflet d'un changement d'échelle de puissance, mais les savoir-faire s'adaptent. Pour cela, la haute maistrance étoffe son périmètre de compétences sans pour autant avoir besoin de s'approprier des outils mathématiques supplémentaires : son ouvrage de référence ne change pas de registre, mais il couvre un nombre plus vaste d'appareils et de situations.

La création du binôme Marin Electricien et Marin Mécanicien-Torpilleur met fin en 1912 à l'unique spécialité de Marin Torpilleur-Electricien. La réforme de l'instruction des équipages intervient la même année et elle conditionne l'accès aux échelons supérieurs de la maistrance (maître, premier maître et maître principal) à l'obtention du brevet supérieur. La formation n'est accessible qu'aux seconds-maîtres.

L'accueil de cette réforme fait des remous dans l'équipage, car elle change les règles du jeu et certains matelots anciens voient leur perspective d'avancement à la seule ancienneté remise en cause. De jeunes matelots obtiennent des promotions avant leurs aînés, sur les bases de travaux écrits³²² alors qu'ils auraient moins d'expérience. Des articles remettent en cause le sérieux du dispositif, parlent de « piston » et critiquent le fait que « naturellement, tout le monde recevra ... le Brevet Supérieur ». Les spécialités en extinction³²³ n'ont plus de réels espoirs de promotion. Ces remous ne semblent pas affecter le monde des électriciens pour plusieurs raisons :

- la création de la spécialité est une opportunité qui offre un espace vierge de promotion à conquérir,
- le discours technique de la spécialité nécessite un recours à l'écrit,
- à la différence des spécialités historiques de pont (manœuvre, fusilier, ...), la transmission du savoir-faire ne peut pas être assurée exclusivement par des acteurs de terrain.

322 Jean DESMER, *Le brevet supérieur*, Toulon, Le cri du marin n°23, 1913b.

323 Jean DESMER, *op. cit.*, 1913b.

L'expression d'une certaine contestation au sein des équipages ne se limite pas à ce point de la réorganisation. Il y a un mouvement plus profond qui mériterait une étude plus approfondie, indépendamment du sujet de cette thèse. L'interdiction³²⁴ du journal « Le cri du Marin » en septembre 1913 est un indicateur des tensions sociales existantes, sur fond de revendications du relèvement³²⁵ des soldes ou de railleries relatives à la multiplication d'insignes honorifiques.

L'enseignement du deuxième degré vise à combler des lacunes techniques et à développer l'aptitude au commandement des officiers mariniers. L'accès à ce cours est conditionné par la réussite au concours d'admission qui valide le pré-requis de leurs connaissances techniques et de leur valeur générale. En 1912, ce cours supérieur n'admet que 30 candidats. Avant de partir en école, les candidats admis font un stage de trois mois au dépôt de leur port d'origine afin de parfaire leur connaissance du manuel. Une note d'aptitude au commandement leur est alors attribuée. Ils suivent ensuite l'instruction durant six mois à Toulon.

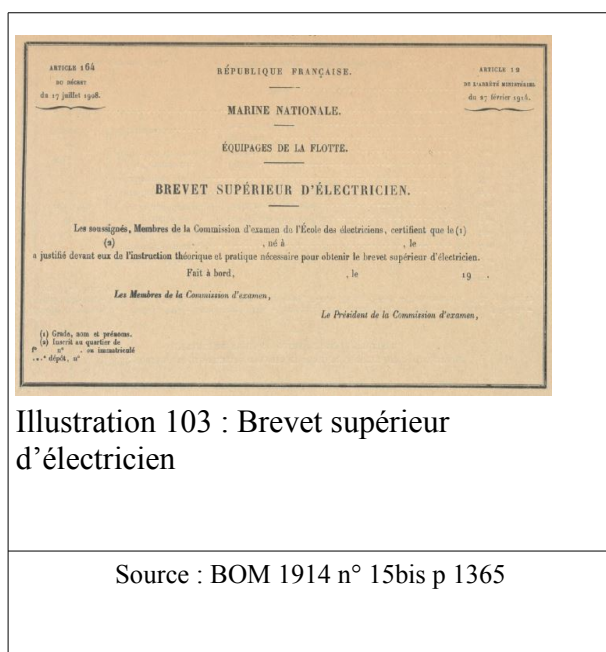


Illustration 103 : Brevet supérieur d'électricien

Source : BOM 1914 n° 15bis p 1365

L'examen de sortie comprend toujours cinq rubriques avec un barème global sur 100 points. *L'examen de spécialité et de connaissances ouvrières* a un coefficient de 40, poids significatif en équilibre avec les formations intellectuelles, militaires et maritimes.

Les coefficients sont identiques à ceux du brevet élémentaire, mais pour le brevet supérieur d'électricien, la note moyenne de 14 est exigée.

Une note d'aptitude au commandement est attribuée sur le livret matricule.

L'enseignement porte sur des sujets d'instruction générale, d'instruction nautique et d'aptitude au commandement. Le programme comporte aussi une partie administrative, la maîtrise supérieure étant un rouage clé des dispositifs administratifs qui gèrent les hommes et les matériels à bord. La partie technique est répartie en trois volets :

- la théorie,
- la description du matériel,
- la pratique,

Les cours ont lieu en groupes de 10, appelés séries. Les élèves du brevet supérieur participent à l'instruction des apprentis lors des travaux pratiques : cette mise en situation les prépare à leurs futures responsabilités hiérarchiques. Ils pratiquent *in situ* la délégation et le contrôle de gestes techniques, points faibles de l'ancienne maîtrise. Afin de consolider la culture maritime et technologique du gradé, son instruction porte aussi sur les sous-marins.

324 *Le cri du marin* n°58, Toulon, 1913e.

325 *Le cri du marin* n°42, Toulon, 1913f.

Un minimum de quatre visites à bord concrétise les apports théoriques reçus en salle. Les gradés aptes à une affectation sur ces bâtiments font en outre quatre sorties en surface et en plongée.

Le livre de référence de ce cours supérieur est le *Manuel du marin électricien*, N°5156 de la nomenclature des documents. Ce manuel est commun au breveté élémentaire et au breveté supérieur, les parties marquées d'un trait en marge s'adressent plus particulièrement aux gradés. Cette gestion des manuels est maintenant à la main de la Marine et elle ne dépend plus d'une édition externe. La mise à jour du contenu est sous contrôle, ce manuel fait partie du paquetage du breveté en instruction. Les prérequis pour une standardisation des compétences sont en place.

L'étude comparative de trois éditions successives de ce manuel, 1918 -1921 et 1936, confirme la continuité pédagogique initiale des cours de 1894, 1897 et 1904: la maîtrise ne s'encombre pas de théorie purement scientifique. La présentation de la règle du tire-bouchon est faite dans un registre que l'on peut qualifier de littéraire, ce qui est pertinent vu le savoir-faire attendu. Les notations mathématiques ne comportent toujours pas de calcul différentiel ou vectoriel. Toutefois, dans l'édition de 1936, quelques schémas représentent des compositions de vecteurs : les courants alternatifs s'invitent tardivement dans le cursus. Ces notions sont abordées en fin d'ouvrage (90 pages sur 390) et l'accent est mis sur l'usage extensif du moteur asynchrone dans les arsenaux. Trois emplois dans la Flotte sont cités : les tores des compas gyroscopiques SPERRY, les pompes submersibles du cuirassé *Lorraine* et les moteurs auxiliaires du *Thionville* (bâtiment ex-autrichien).

3.4.A.c. La formation en électricité des officiers

Dès 1880, l'organisation du service à bord confie au service Torpilles la responsabilité des équipements électriques. L'officier détenteur du brevet d'officier torpilleur est le chef de ce service, sa formation spécialisée l'ayant préparé à traiter aussi les questions électriques du bord.

En 1895, l'Ecole des Torpilles³²⁶ est établie à Toulon, à bord de l'*Algésiras*. Les élèves sont des officiers de marine et des officiers mécaniciens, désignés par le Ministre. L'instruction théorique et pratique dure cinq mois. Elle s'achève par un examen et la délivrance d'un brevet de spécialité d'officier torpilleur. Ce brevet doit être renouvelé après quatre ans et avant le terme de six ans, la durée de ce recyclage est de deux mois. L'Ecole accueille donc des élèves en formation initiale pour cinq mois au 1^{er} janvier et au 1^{er} juillet, puis des brevetés torpilleurs en recyclage intègrent ces formations les 1^{er} avril et 1^{er} octobre.

Une seconde voie d'obtention du brevet est ouverte aux officiers ayant une certaine pratique. Ainsi les lieutenants de vaisseau et les enseignes de vaisseau ayant 18 mois d'embarquement dont six sur un torpilleur peuvent se présenter directement à l'examen du brevet, sans suivre l'instruction initiale. Une dispense similaire existe pour l'examen de recyclage.

Le contenu du cursus d'officier torpilleur ne couvre pas la diversité des équipements à bord. Cela conduit à compléter la formation de certains officiers torpilleurs auprès de l'Ecole Supérieure d'Electricité. Après obtention du diplôme de sortie, ces officiers torpilleurs électriciens sont affectés à des bâtiments « *pourvus d'installations électriques*

326 *Carnet de l'officier de marine*, 1895, p. 374.

importantes »³²⁷. Il ne s'agit toutefois pas d'un brevet militaire nouveau, mais de la juxtaposition d'un brevet militaire et d'un diplôme civil professionnel.

Dès 1896, un cours élémentaire d'électricité pratique est réédité dans la bibliothèque du Marin³²⁸. La première édition étant antérieure, le sujet électrique est donc enseigné dès 1893/94 aux officiers torpilleurs par Henri LEBLOND, agrégé et professeur d'électricité à l'école des officiers torpilleurs. Une troisième édition³²⁹ en 1899 est enrichie, mais elle n'est plus rattachée à la Bibliothèque du Marin.

En 1900, l'instruction d'un officier torpilleur comprend une partie d'électricité théorique et des compléments très pragmatiques d'électricité. Les 187 pages du livre de cours³³⁰ d'Henri LEBLOND ne comportent pas moins de 83 schémas. Le vocabulaire mathématique exploite la trigonométrie, ce qui est sans difficulté vu la culture mathématique des officiers. Une analyse quantitative de cet ouvrage révèle que 100 pages sont dédiées à la présentation de 29 installations différentes à bord de la flotte, sans aucune référence à une quelconque doctrine du Service des Travaux: l'échantillonnage des bâtiments rend particulièrement délicate l'instruction des futurs officiers en charge d'équipements à configuration quasi unique. Une approche qualitative montre que les descriptions donnent aux futurs responsables une compréhension globale de l'exploitation du système, mais laisse de côté des aspects manuels: le réglage de la position des balais sur les collecteurs de dynamo n'est pas mentionné, ces gestes sont donc implicitement de la compétence de la maistrance.

En 1910, la formation du futur officier torpilleur dure dix mois et l'électricité tient une part importante dans cette instruction³³¹. En effet, « *des kilomètres de conducteurs électriques s'allongent dans la coque ... Leur installation n'a pas toujours très bien étudiée ...* ». Plus intéressant, Sauvaire JOURDAN confirme les indices existants sur la réalité de l'exploitation des installations à bord: les défauts d'isolement sont récurrents, comme le montre la carte postale introductive du chapitre. L'officier torpilleur, qui agit en fait comme le responsable du service électricité, participe avec ses aides à la recherche de « *l'isolement défectueux ... dans un effrayant écheveau de fils* »: sa formation est large et ne se limite pas aux intégrales ou autres formules mathématiques. Une certaine maîtrise du tournevis renforce ainsi son autorité hiérarchique auprès de la maistrance et des marins.

Par une circulaire³³² du 15 février 1912, le ministre DELCASSÉ modifie le mode de recrutement des officiers de spécialité: les enseignes de vaisseau de 1^{ère} classe ayant deux ans de grade suivent obligatoirement une spécialisation dans le canonage ou la torpille. Cette formation complémentaire intervient après la période dite de « formation maritime ». Si cette réforme perturbe les usages de successions dans les carrières, elle présente toutefois l'intérêt de mieux diffuser auprès des jeunes officiers de larges connaissances en électricité.

En septembre 1920, la Commission d'Etudes Pratiques du tir des torpilles et l'Ecole d'Application du Tir des Torpilles (E.A.T.T.) sont créées. L'E.A.T.T. est installée à Toulon et comprend une école à terre ainsi qu'une école sur le bâtiment *La Patrie*. Les élèves officiers y reçoivent entre autres une formation théorique, une pratique du démontage et du remontage des torpilles, ainsi que l'acquisition du savoir-faire pour le lancement de l'arme. Toutefois,

327 *op. cit.*, 1898a, p. 337.

328 Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1896.

329 Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1899.

330 Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, 187 p.

331 Sauvaire JOURDAN, *op. cit.*, 1910, p. 186.

332 *op. cit.*, 1912b, p. 306.

le champ de la formation est très vaste et le temps disponible pour l'instruction sur la direction du tir est restreint. Ainsi en 1922, dans sa conférence³³³ au Centre des Hautes Etudes Navales, le capitaine de vaisseau NIVET demande « *la scission entre le brevet d'officier électricien et d'officier torpilleur ; la torpille a certainement pâti jusqu'ici du fait que l'officier torpilleur avait pratiquement à s'occuper surtout du service électricité* ». Le 27 décembre 1924, de nouvelles dispositions³³⁴ définissent le brevet définitif d'officier torpilleur, obtenu après examen et 11 mois de formation. Les épreuves d'électricité représentent environ 20 % des coefficients de la note globale de l'examen.

Cette demande est cohérente avec les formations que les armées confient à l'Ecole Supérieure d'Electricité depuis 1898. A titre d'exemple, la promotion XXVI de l'ESE³³⁵ compte 163 ingénieurs diplômés en 1920 dont sept officiers délégués par le Ministère de la Marine. Il s'agit d'officiers subalternes, en début de carrière mais ayant déjà une expérience : quatre lieutenants de vaisseau, un mécanicien principal de 1^{ère} classe, un ingénieur de 1^{ère} classe du génie maritime et un ingénieur de 1^{ère} classe de l'artillerie navale. Le besoin d'un encadrement très compétent sur les questions électriques trouve une excellente réponse par une formation externe à l'institution, même si elle ne se traduit pas dans le langage militaire en terme de brevet, de grade ou de corps spécifique. Néanmoins, l'échantillon des officiers détachés du Ministère de la Marine est ouvert aux différents acteurs confrontés à cette technologie en devenir.

Le cursus de formation des officiers subalternes comprend par ailleurs d'autres écoles de spécialités, chacune étant destinée à accroître une compétence particulière d'ordre technique. Ces écoles comprennent un établissement à terre, pour les aspects théoriques et les travaux sur du matériel, ainsi qu'une école d'application pour la mise en œuvre en situation des enseignements reçus sur un navire dédié. L'ensemble de ces enseignements couvre un large savoir-faire, ce qui donne une forte légitimité à cet échelon hiérarchique, charnière entre les officiers supérieurs de l'état-major et la maistrance.

Le déroulement ultérieur de la carrière d'un officier passe par l'École supérieure de la marine, fondée en 1896, devenue en 1920 l'École supérieure de guerre navale. Une formation militaire supérieure y est assurée, elle donne aux officiers supérieurs des outils de compréhension pour leurs futures responsabilités dans les états-majors. Les questions purement techniques y sont abordées à titre d'information afin que les officiers supérieurs conçoivent la meilleure intégration tactique des moyens dont ils disposent. Les détails technologiques restent délégués aux officiers subalternes.

3.4.A.d. Les vaisseaux-écoles des électriciens.

Une saine gestion de la Flotte consiste à conserver des navires anciens en les retirant des situations de combat mais en les utilisant comme base logistique dans les ports. Nombre de bâtiments militaires terminent ainsi leur carrière en tant que ponton, navire atelier, hébergement ou caserne flottante, vaisseau-école dans le meilleur des cas. Sur la période 1880 –1935, les marins formés à l'électricité ont donc fréquenté, selon l'époque, plusieurs navires dédiés à l'instruction de leur spécialité.

Dans la continuité des pratiques issues de la marine à voile, le personnel subalterne embarqué est pour l'essentiel instruit à bord lors de sa première affectation. Cette formation

333 *Le problème du tir des torpilles*, Paris, Ecole de Guerre navale, 1922b, p. 42.

334 *Journal Officiel du 23 janvier 1925*, Paris, 1925b, p. 900-903.

335 *Revue Générale de l'Electricité - Tome VIII - N° 8*, Paris, 1920c, p. 34.

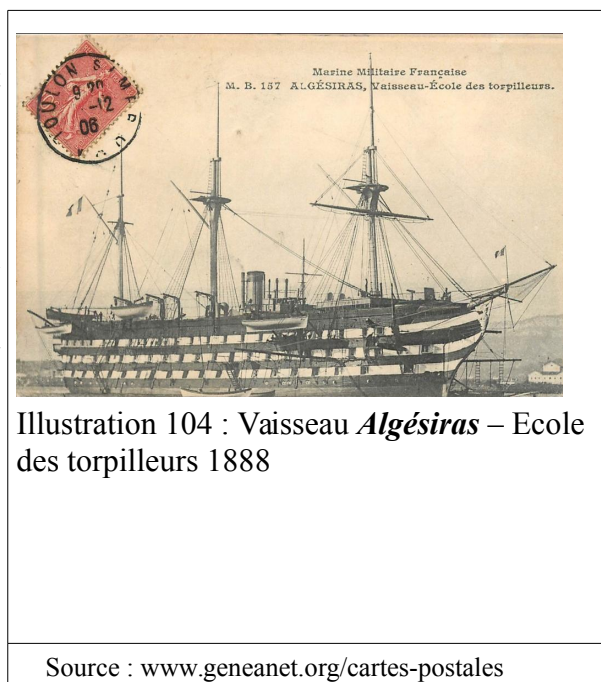
dépend donc en grande partie de la configuration du bâtiment, de sa taille et de la complexité de ses équipements, mais aussi du référentiel propre local. La plupart des brevets de spécialités sont délivrés par le bord, ce qui est un circuit court de reconnaissance des acquis et une opportunité de gestion locale des ressources. Si l'on se souvient qu'une des particularités de la flotte est d'être une collection d'échantillons, les mutations d'équipage entre différents bâtiments posent un problème d'homogénéité des brevetés. Mais, tout comme pour les mécaniciens, la technicité des torpilles, la complexité de leurs mécanismes et l'attention portée à cette arme ont contribué à la centralisation de l'instruction des marins torpilleurs.

En novembre 1891, une dépêche ministérielle³³⁶ attribue le bâtiment *Japon* comme annexe à l'école des torpilles. La dotation en matériel pédagogique est restreinte, le bord ayant à réaliser l'installation du système associé comprenant quatre génératrices, quatre projecteurs et l'éclairage intérieur. La fourniture de ces équipements permet d'offrir une plateforme technique globale et de réaliser des exercices très réalistes. Les quatre dynamos GRAMME à excitation série 1600 becs délivrent une tension de 70 Volts afin d'alimenter 32 lampes à incandescence, deux projecteurs de 60 cm et deux projecteurs de 40 cm. Cette installation reprend les pratiques usuelles « de fortune », des conducteurs sont cousus dans une gaine de toile de voile. La conduite des dynamos demande une coordination avec les vannes de vapeur : le marin-torpilleur apprend les gestes d'électricien.

L'*Algésiras* est un vaisseau de 90 canons lancé à Toulon en 1855. En 1888, il est affecté à l'école des mécaniciens-torpilleurs jusqu'à sa destruction par un incendie le 25 novembre 1906.

Sa structure le destine à une fonction d'hébergement ou de salles de cours, car la hauteur de son franc-bord le rend inapte au lancement de torpilles.

La présence d'une cheminée indique l'existence probable d'une chaudière à bord, donc la possibilité de procéder à des mises en œuvre de dynamos et de projecteurs photo-électriques.



La circulaire du 27 décembre 1911 met un terme aux pratiques existantes de formation élémentaire: aucun brevet de spécialité ne doit plus être délivré à bord des bâtiments. Cette décision transforme le cursus d'instruction des marins, les écoles de spécialités devenant le passage obligé pour obtenir un brevet de spécialité.

Mais le principe de réalité s'impose et dès février 1912, une circulaire précise que, de manière dérogatoire, le certificat d'aptitude à la T.S.F. peut être délivré par le bord, en particulier aux marins torpilleurs d'ancienne formation et aux électriciens. Il s'agit de répondre aux besoins locaux alors que le dispositif de formation centralisée n'est probablement pas en mesure de satisfaire au volume des demandes. Cette mesure va poser

336 Emile YTIER, *Note sur une installation d'éclairage de fortune faite à bord du Japon*, Paris, Revue Maritime et Coloniale - Tome 117, 1893, p. 145.

rapidement problème lorsque, fin mars 1912, tous les marins ayant la capacité TSF sont intégrés comme électriciens. Cette décision est fondée sur une approche administrative des métiers, s'appuyant sur une proximité faciale sans prendre en compte leur diversité technique réelle. En effet, l'utilisation des appareils de TSF ne fait pas appel aux dynamos, aux moteurs et autres appareils électriques : les marins dont la spécialité d'origine est Timonier et ayant la capacité de TSF de manière annexe sont souvent sans connaissance et sans expérience des autres matériels techniques du bord.

Le cuirassé *Marceau* est mis sur cale à La Seyne en 1882. A son entrée en service le 18 avril 1891, il est déjà techniquement dépassé. Il est affecté de 1906 à 1914 à l'école des apprentis torpilleurs.

Jusqu'en 1912, année de la création de la spécialité de matelot électricien, la formation de torpilleur comprend le volet électricité.

Le vaisseau-école *Marceau* est donc le lieu d'instruction pratique pour les marins en charge de l'électricité jusqu'à la mise en place de l'Ecole des Electriciens en 1912.

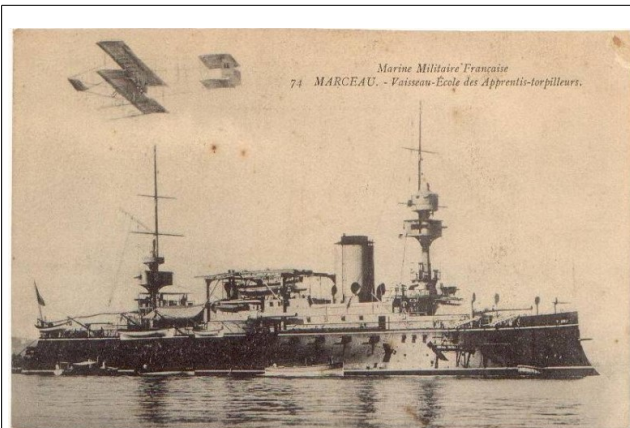


Illustration 105 :Cuirassé *Marceau* – Ecole des torpilleurs 1906

Source : forummarine.forumactif.com/

Après 1912, l'instruction des futurs brevetés Torpilleurs continue néanmoins avec ce bâtiment école.

Au printemps 1914³³⁷, l'état-major de la Flotte réorganise le dispositif de formation du personnel en créant deux Divisions d'Instruction, l'une dite de l'Océan et l'autre dite de la Méditerranée. Ces divisions indépendantes regroupent l'ensemble des écoles de formation et de spécialité, y compris les cinq écoles d'officiers. La Division d'instruction de la Méditerranée comprend huit écoles dont l'Ecole des électriciens et l'Ecole des chefs de postes TSF. Les commissions d'études de l'électricité et de la TSF sont rattachées à cette Division, gage d'un lien *a minima* de proximité entre les études techniques d'expertise et la formation professionnelle sur le sujet. Le commandement de chaque division est exercé par un contre-amiral entouré d'un état-major compétent sur les sujets enseignés : il s'agit d'un mécanicien inspecteur de 2^e classe ainsi que deux lieutenants de vaisseau brevetés de l'Ecole Supérieure de Marine, brevetés canonniers ou brevetés torpilleurs.

Les écoles sont installées à terre ou à bord, elles peuvent utiliser des locaux et des bâtiments annexes de la Division. L'instruction concerne l'ensemble du personnel (officiers, gradés et apprentis) et doit porter sur « *les méthodes nouvelles et l'évolution du matériel naval* ». La mission des écoles est en prise avec la réalité de la vie maritime, son enseignement n'est pas figé mais il assure en quelque sorte une diffusion et une promotion des changements au travers des équipages en instruction.

Les officiers instructeurs sont en fonction pour deux ans, renouvelables deux fois pour les officiers des équipages. Les officiers de marine doivent accomplir, par contre, une année de

³³⁷ Bulletin Officiel de la Marine - N°11 - arrêté du 5 mars 1914, Ministère de la Marine, 1914f.

navigation avant de pouvoir être à nouveau retenus comme instructeurs. La règle est encore différente pour les officiers faisant partie des commissions d'étude, la période de deux ans peut être renouvelée une fois. Cette gestion très pragmatique des rythmes de passage dans les fonctions ancre bien les enseignants aux réalités du bord dont ils ne restent pas longtemps éloignés, ce qui conforte leur légitimité professorale. Les travaux d'études ayant un cycle de maturation lent, un temps d'affectation plus long est nécessaire aux officiers membres de commissions d'étude.

L'instruction se finalise par un examen de spécialité, jalon important pour tout le personnel militaire. En effet, les notes obtenues lors de l'examen ne conditionnent pas uniquement l'obtention du brevet, mais elles influent sur les affectations et les avancements ultérieurs du candidat. Le dispositif est donc très cadré et la commission d'examen pour l'attribution du brevet élémentaire est présidée par un capitaine de frégate, assisté de deux lieutenants de vaisseau torpilleurs³³⁸. L'Etat-major de la Division est donc impliqué dans l'attribution des brevets, et donc dans la validation de la carrière potentielle du jeune marin. C'est un rôle essentiel pour affecter au mieux les hommes, préparer les futurs encadrants de la Flotte et obtenir ainsi le meilleur des hommes qui lui sont confiés.

Le croiseur protégé de première classe **D'Entrecasteaux** est lancé en juin 1896 et retiré du service en 1922.

Il est affecté aux écoles entre janvier 1912 et la déclaration de guerre.

Ce croiseur cuirassé de 120 m marque l'autonomie des moyens d'instruction pour les électriciens marins, qu'ils soient matelots ou officiers.

En 1912, cette école assure l'instruction des électriciens et des transfilistes.

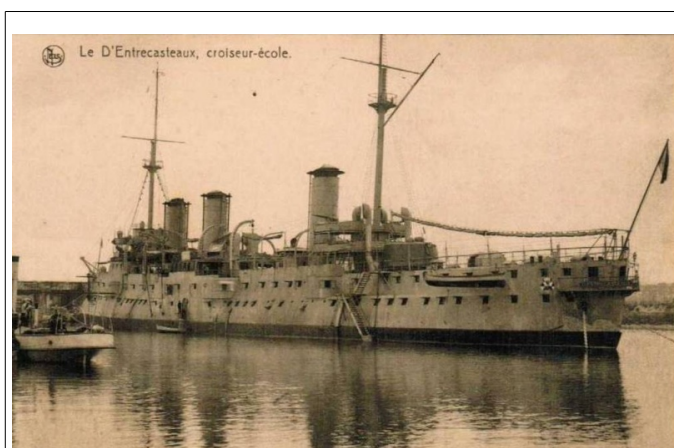


Illustration 106 : Le croiseur-école **D'Entrecasteaux** en 1912

Source : forummarine.forumactif.com/

La filiation apparente des techniques entre électricité et TSF est toutefois trompeuse et le décret du 4 mars 1912 se laisse abuser et incorpore dans la spécialité d'électricien les anciens timoniers dotés du certificat de capacité TSF. Mais dès fin juin 1912, devant l'insuffisance³³⁹ professionnelle de ces derniers, la Marine les embarque pendant deux mois sur le bâtiment-école des électriciens, le **d'Entrecasteaux**, pour un complément d'instruction théorique et pratique. Ces 180 marins sont formés en quatre contingents d'octobre 1912 à avril 1913.

³³⁸ *op. cit.*, 1914d, p. 156.

³³⁹ *op. cit.*, 1912b, p. 1422-1423.

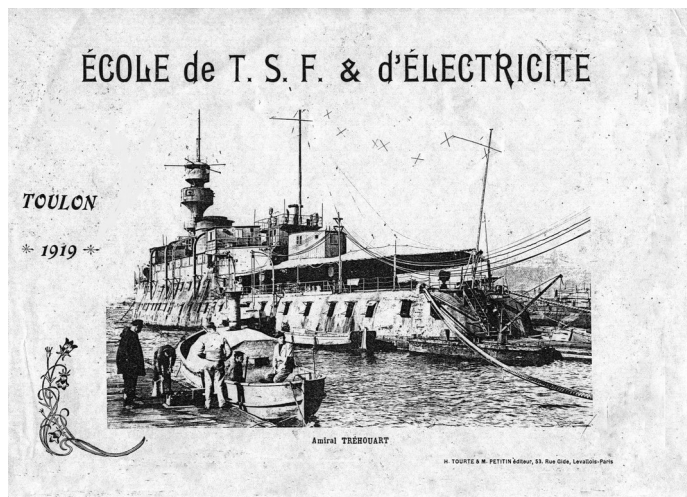


Illustration 107 : Cuirassé *Amiral Tréhouart* - Ecole des TSF 1919

Source : www.anciens-cols-bleus.net/

Le garde-côtes cuirassé *Amiral Tréhouart*, mis à flot en 1893; est affecté de 1914 à 1920 à l'école de TSF et des électriciens.

A ses débuts, l'activité de transfiliste relève d'un modeste certificat, mais la complexité des matériels conduira à une pleine reconnaissance au travers d'un brevet de spécialité.

L'*Amiral Tréhouart* est utilisé comme école à bord pour les futurs brevetés TSF.

Les officiers Torpilleurs sont de fait en charge du service Electricité et leur instruction pratique est assurée sur la bâtiment support de l'Ecole des mécaniciens et torpilleurs. Le cursus de formation trouve dans les équipements d'un cuirassé une complexité du système électrique adaptée à l'instruction pratique de ces officiers aux larges compétences techniques.

Le cuirassé *Patrie*, construit aux chantiers de la Méditerranée à La Seyne, est entré en service en 1907. Il est affecté le 15 septembre 1919 à l'école des mécaniciens et torpilleurs et est rayé du service en 1928;

A la création de l'Ecole des Officiers Torpilleurs, ce bâtiment prend en charge la partie pratique de l'instruction des officiers et abrite l'Ecole d'Application du Tir des Torpilles.

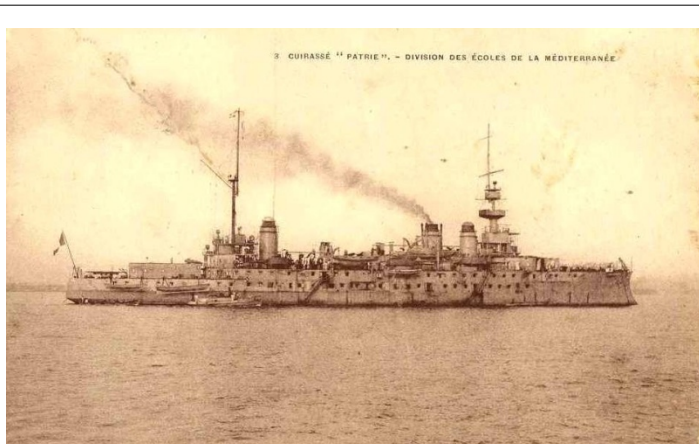


Illustration 108 : Cuirassé *Patrie* – Ecole des électriciens 1919

Source : forummarine.forumactif.com/

Le cuirassé **Condorcet** entre en service en 1911; en juin 1927 le cuirassé rejoint Toulon pour être aménagé en navire école des torpilleurs et des électriciens.

Il reste navire école de 1927 à 1931, mais il ne sort plus après 1933. Désarmé, il devient un navire-caserne.

La taille d'un cuirassé impose une organisation du système électrique parmi les plus complexes de la Flotte. Avec quatre dynamos à bord, les travaux pratiques couvrent la plupart des situations opérationnelles.



Illustration 109 : Cuirassé **Condorcet** – Ecole des électriciens 1927

Source : forummarine.forumactif.com/

Les effectifs des écoles mobilisent une part importante des marins : elle est estimée³⁴⁰ à 20 % des lieutenants de vaisseau, chiffre très important. Cela prête à humour outre-manche où l'on rapporte que «*l'accroissement d'importance du service des écoles compensait en France la diminution du nombre de navires de la flotte active.*» Le trait d'esprit contient probablement une part de vérité, mais il est certain que la formation des personnels est indispensable et que la technicité des installations nécessite un équipage qualifié et formé. L'adéquation des moyens à attribuer à l'enseignement est toujours l'objet d'appréciations multiples et divergentes, cet arbitrage difficile relève autant de la rationalité que d'un choix politique.

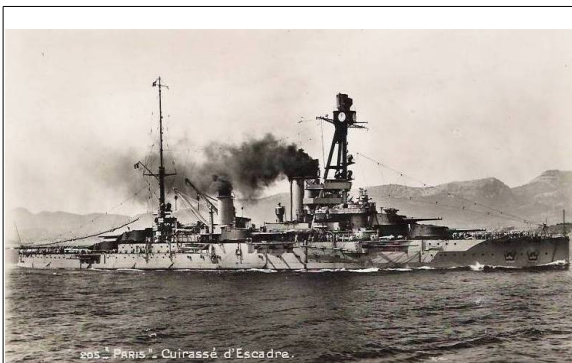


Illustration 110 : Cuirassé **Paris** – Ecole des électriciens 1931

Source : forummarine.forumactif.com/

Le cuirassé **Paris** est construit en 1912 aux Forges et Chantiers de la Méditerranée à La Seyne sur Mer et il entre en service le 1er août 1914.

Cuirassé de la classe Courbet, il fait partie des premiers dreadnought construits pour la Marine française.

En 1931, il est affecté à la division d'instruction comme bâtiment école des électriciens et des torpilleurs.

En 1935, après des travaux, il devient bâtiment école pour les timoniers et les chauffeurs.

340 Henri BERNAY, *Visite d'un navire chilien*, Paris, Le Yacht n°2385, 1928.

3.4.B. Dans les flottes étrangères

Le besoin de former les marins ne connaît pas de frontière nationale, la diffusion de la technique dans les flottes s'accompagne de formations spécifiques. Le contenu de ces cours est toutefois adapté aux rôles confiés par l'organisation propre à chaque marine. Il ne s'agit pas ici de mener une étude comparative exhaustive entre les principales flottes, mais simplement de faire ressortir quelques traits caractéristiques. Cette mise en perspective succincte donne à relativiser la présentation des choix français et elle contribue à argumenter pour une présentation non téléologique de l'histoire des techniques. La consultation de quelques archives apporte ainsi un éclairage sur la diversité des choix effectués.

Dès 1891, la formation des marins italiens peut s'appuyer sur des ouvrages spécifiques : la marine royale italienne dispose d'un « *Manuale del marino militare e mercantile* » rédigé par un capitaine de vaisseau très au fait du sujet. La qualité du manuel est appréciée et mentionnée dans la presse³⁴¹ professionnelle française. La pédagogie de l'ouvrage s'écarte des usages français, la présentation des aspects théoriques de l'électricité n'est qu'indicative et tournée vers les trois usages principaux du bord : la lumière, la mise à feu des engins et la manœuvre de divers engins. Le volet purement maritime traite de la régulation des compas et des électro sémaphores. Ce manuel est un relevé des applications multiples de l'électricité dans le service maritime et militaire. Le besoin d'un ouvrage exhaustif et non spécialisé correspond à la période d'expansion des systèmes électriques embarqués, système diffus dont la présentation n'est pas encore l'affaire des seuls spécialistes de la question.

De son côté, la Royal Navy réforme dès 1903³⁴² ses structures afin de mieux former ses mécaniciens et ses canoniers. La spécialité d'*Electrician* est créée en 1902³⁴³ à partir de la branche électricité de l'*Artificer* (mécanicien). La spécialité de *Radio Operator* se décline à partir du *Signalman* (sorte de timonier) en 1907. Selon la Royal Navy Electrical Branch Association, le premier *Electrical Officer* est nommé en 1918, puis la spécialité trouve sa place dans l'institution. Les électriciens portent un uniforme classique avec leurs insignes sur une bande vert foncé, ce qui leur vaut d'être surnommés « Greenies ». Les insignes de la spécialité comportent un éclair, symbole partagé avec les radios.

L'US Navy est ouverte aux pratiques des autres flottes qui sont dans un premier temps des références. Rapidement, l'US Navy mène ses propres recherches pour obtenir un leadership dans le domaine naval ; les premiers croiseurs à propulsion électrique en feront la démonstration en 1932. Concernant l'instruction de ses électriciens, la forme des mémentos³⁴⁴ datés de 1897 est du type Questions/Réponses, pédagogie du par-cœur qui ressemble à la

341 *La lumière électrique - Tome 16*, Paris, 1891, p. 146.

342 Jacques TUPET, *La nouvelle flotte française (1890-1914) - Carnet de la Sabretache 208*, Paris, La Sabretache, 2016, p. 17.

343 La RN Electrical Branch Association mentionne le 13 mai 1901 comme première attribution de la spécialité d'*Electrical Artificer*. (http://www.rneweba.org.uk/html/history_of_electrical_branch.html consulté le 26/4/2018)

344 KELLER et PIKE, *Roper's questions and answers for stationary and marine engineers and electricians*, Philadelphia, David McKAY, 1897.

version française³⁴⁵ datant de 1895 du Catéchisme d'électricité pratique. Le fond des deux documents diffère toutefois : le pragmatisme domine outre-atlantique avec des réponses qui spécifient les dimensions exactes du matériel, alors que le catéchisme français reste très descriptif avec une réponse longue de plusieurs pages, très littéraire dans son contenu. L'électrification de l'US Navy est tous azimuts, certainement stimulée par l'extension de l'électrification dans les villes américaines. Cette profusion de matériels embarqués doit s'appuyer sur des marins électriciens compétents qui sont formés dans plusieurs centres d'instruction. La place de l'électricité n'est pas anecdotique et elle ne fait que croître dans la flotte. Un lieutenant commander se risque à une prospective et déclare en 1917³⁴⁶ : « *It has been said that the moss-backed sailormen of the wind-jammers have been replaced in the navy of to-day by mechanics : it looks as if the sailor of the future will be mostly an electrician* ».

345 Ernest SAINT-EDME, *Catéchisme d'électricité pratique*, Paris, Bernard TIGNOL, 1895.

346 McDOWELL, *op. cit.*, 1917, p. 452.

3.5. Les électriciens de l'*Emile Bertin*

Les archives consultées au SHD de Brest et de Lorient apportent des instantanés sur la construction du croiseur *Emile BERTIN*. Les courriers échangés lors du chantier fournissent des exemples d'interaction entre les différents acteurs ainsi que les marges d'action de l'ensemble des participants. En matière électrotechnique, le contenu des pièces en archive couvre un spectre très large, allant du simple interrupteur à des arbitrages majeurs. C'est aussi un poste d'observation des rétroactions internes du système socio-technique. De nombreuses lettres explicitent les difficultés d'utilisation d'un matériel, l'exigence de faire face à des défaillances électriques dans les trois fonctionnalités attendues d'un navire militaire: l'artillerie (to fight), les manœuvres et le déplacement (to move) et la flottabilité (to float).

Le rôle d'équipage est une source parfaitement fiable qui détaille l'ensemble du personnel présent à bord à une date donnée. Cet état des effectifs est la référence pour le paiement des soldes et le décompte des services, son exactitude va au-delà des usages comptables car les informations de temps passé en campagne participent à l'avancement d'échelon ou de grade ainsi qu'au déroulement de carrière. Le rôle d'équipage de l'*Emile BERTIN* au 31/12/1934 fait état³⁴⁷ d'un effectif de 503 hommes, plus quelques passagers dont la présence s'explique par des travaux à finaliser. Ce chiffre de 503 correspond à un armement en période calme, l'effectif retenu par Jean ROCHE dans son Dictionnaire de la flotte française est de 675 hommes. La ventilation par grade est la suivante :

Etat-major: 21 dont

3 officiers supérieurs, 5 ingénieurs mécaniciens et 11 officiers subalternes,

Officiers mariniers : 86 dont

officiers mariniers supérieurs : 6 dont le premier maître électricien (soit 16,6%)

officiers mariniers subalternes: 80 dont 7 second-maîtres électriciens (soit 8,8%)

Equipage: 396 dont

quartier-maîtres : 134 dont 11 électriciens (soit 8,2%)

matelots : 262 dont 11 électriciens (soit 4,1%).

Hors état-major où un officier subalterne est chef du service électricité, les 30 électriciens représentent 6,2 % de l'effectif. Les deux spécialités prépondérantes du bord sont les canonnières et les mécaniciens, répartition parfaitement logique et cohérente avec la finalité d'un navire de guerre. Avec les réserves méthodologiques indispensables lorsque l'on analyse de petits échantillons, il semble que la spécialité d'électricien leur offre un bon positionnement dans la hiérarchie.

3.5.A. Du matériel en quantité et sa documentation

Hommes de technique, les électriciens ont besoin d'une documentation pour comprendre et agir sur le système qui leur est confié. Regroupés dans les atlas de coque, les schémas sont aussi indispensables aux professionnels que leurs instruments de mesure.

La schématègue du domaine électrique peut être estimée à une centaine de plans. Chaque plan est en format similaire au 2A0 (1,2m par 1,7m) ou plus grand, la densité de

347 SHD de Brest cote 4E3 4761/4762

renseignements sur chaque feuille est donc très élevée. Ce format assez encombrant est indispensable pour comprendre les interactions entre des composants du système, parfois éloignés de 50m entre eux. De petits carnets individuels complètent cette bibliothèque.

Les documents disponibles sont essentiellement au SHD de Brest, cote D-151, mais le hasard étant parfois l'allié du chercheur, les échanges cordiaux et fructueux avec Pascal ROBERT, chercheur associé au Centre François VIETE, m'ont donné accès à des archives non répertoriées de la bibliothèque de l'Ecole Nationale Supérieure Maritime.

En 1940, certains atlas de coques furent dissimulés aux occupants et des travaux de maintenance de la chaufferie des locaux de l'école ont permis de remettre ces documents originaux à la disposition des chercheurs.

L'atlas n°5 est incomplet, et seules les planches 35 à 55 sont rescapées. Il n'y a pas de plans de la structure générale des réseaux principaux d'énergie, les réseaux de téléphonie et d'alerte étant l'objet de cet atlas isolé.



Illustration 111 : Extrait de l'atlas de coque

Source : Bibliothèque de l'ENSM-Nantes

3.5.B. Les conditions de travail

La construction du navire comprend un nombre important de matériels électriques, donc nombre d'électriciens travaillent pour installer ces composants. Dans son rapport mensuel du 15/6/1934, le commandant fait état de 200 électriciens à bord. Ce nombre est insuffisant car la Direction de l'Artillerie Navale demande le 11/7/1934 de prévoir 10 à 15 électriciens de plus pour trois mois, effectif nécessaire pour livrer le navire en décembre 1934.

Les matériels électriques sont très présents sur le chantier et le risque d'électrocution est réel. Par courrier du 23/10/1934, le port demande la mise à disposition de 143 plaques signalétiques de *Mise en garde contre les dangers des installations électriques*. La réponse du 5/11/1934 arbitre pour 110 panneaux dont 25 sont libellés « *Courant alternatif Attention* ». Ce traitement spécifique souligne les réserves existantes face à cette forme de courant, peu commun à bord.

La dotation en matériel du Service électricité comprend une caisse de contrôle pour appareils de mesure à courant alternatif. Ce courrier valide des informations observées par ailleurs dans les cursus de formation des électriciens et dans les composants électrotechniques des pièces d'artillerie.

3.5.C. Le professionnalisme

Un courrier du 16/3/1935 mérite une attention particulière. Un dispositif de bouée de sauvetage à déclenchement électrique participe à la sécurité en mer de tout l'équipage. L'électricité est partout, elle s'est même immiscée dans le sauvetage. Les essais du matériel sont satisfaisants en septembre 1934, mais le mécanisme grippe en novembre 1934. Après enquête, un électricien incompetent a graissé les pièces mobiles avec de l'acide, d'où le dysfonctionnement lors de l'essai. Une vérification le 11/3/1935 confirme que le dispositif est à nouveau opérationnel. Les archives relatent de nombreux petits incidents qui sont des indicateurs précieux : le fait électrique est désormais présent et presque invisible, les électriciens rencontrent parfois des difficultés pour effectuer un travail de qualité.

3.5.D. Les gestes faits à bord

Il n'est pas envisageable de prétendre synthétiser l'ensemble des activités, mais une courte sélection permet d'imaginer quelques facettes du métier réel.

Surnommé « Fusible » ou « Tête d'ampoule », le matelot électricien intervient régulièrement dans tous les locaux. Les moteurs demandent une visite régulière, *a minima* pour remplacer des pièces d'usure, les balais ou charbons qui frottent sur le collecteur. Le nombre de ces matériels est conséquent, les bordereaux de commande avec le port sont édifiants. La dotation est d'un jeu de balai par an et par machine. En 1937, pour les seuls ventilateurs de coque, cela représente 140 charbons par an. Circonstance aggravante, les moteurs ne sont pas identiques, d'où l'existence de 74 types de balais en magasin. Enfin, les projecteurs consomment aussi des charbons, la dotation annuelle est de 600 crayons.

Certains équipements ont une importance militaire secondaire, mais leur défaillance persistante est très gênante. La machine à peler les pommes de terre tombe en panne en novembre 34, janvier 35, septembre 35 puis définitivement en mars 36. L'éplucheuse fait donc l'objet d'une demande à la signature du commandant. Ce courrier d'avril 36 n'est pas suivi d'effet, le bâtiment appareille sans cet appareil, d'où des corvées récurrentes pour les marins. Le 26/3/37, le commandant, de retour dans son port attache, ne peut que constater l'absence de réponse à sa demande.

Pour l'artillerie, l'exploitation en conditions réelles des moteurs révèle parfois des écarts avec les études en bureau. Ainsi, les fusibles des génératrices monophasées pour les moteurs d'orientation des tourelles de 152 sont sous-dimensionnés. L'appel de puissance a été sous estimé, et en mars 1938 le bord demande un stock de fusible de 32 A au lieu du calibre 20A.

Concrètement, les électriciens finalisent des mises au point lorsque cela est nécessaire.

3.6. Conclusion du chapitre 3, les pratiques se diffusent

Dès 1850, les industriels font passer les connaissances théoriques du phénomène électricité dans l'univers de l'économie. Prises dans le mouvement général de création technique, de multiples applications voient le jour et la fabrication de ces objets intègre les savoir-faire proches, essentiellement ceux de la métallurgie et de la mécanique. Les compétences électriques sont alors des avatars de compétences pré-existantes, situation transitoire qui débouche rapidement sur des métiers protéiformes, puis sur une professionnalisation des pratiques.

Les premiers usages à bord restent éloignés du cœur de la science militaire, ce sont des sonnettes, déclinaisons maritimes des applications terrestres de confort moderne. Avec la mise à feu des mines dormantes depuis des batteries côtières, les marins doivent manipuler des conducteurs, réaliser leur pose et leur raccordement avec rigueur car les enjeux sont autrement plus importants que le bon fonctionnement de sonneries d'appel. Dans la flotte française, les artificiers et les mécaniciens prennent en charge les savoir-faire électriques durant les 30 premières années de déploiement des matériels.

En 1912, devant le volume et la diversité des tâches à assurer, la création du Service Electricité à bord organise les responsabilités de cette nouvelle collectivité. La spécialité d'électricien et ses cursus de formation concernent l'ensemble de la pyramide hiérarchique, du matelot à l'officier. Le métier se recentre sur l'énergie électrique du bord, la spécialité TSF ne relevant ni de la même technologie ni des mêmes finalités.

Dès lors, les installations électriques sont omniprésentes et leur bon fonctionnement requis, quels que soient les aléas et les avaries que peut subir le navire au combat. Ces exigences de professionnalisme se traduisent dans les versions successives du manuel de formation du marin électricien. La taille de cet ouvrage passe de 50 à 400 pages entre 1890 et 1940. Sur la même période, la banalisation des objets électriques est actée : les décrets portant organisation du service à bord relèguent le sujet Electricité à un rôle de logistique interne, un parmi d'autres au service de la mission militaire.

A bord, certains dispositifs électriques fonctionnent avec du courant alternatif, en particulier pour transmettre des positions angulaires : le gyrocompas avec ses répéteurs répartis dans différents postes, le télépointage de pièces d'artillerie avec les faux canons et la direction de tir. A terre, les réseaux électriques des arsenaux sont en haute tension et en courant alternatif. Pourtant, dans l'ensemble des flottes, la référence pour l'énergie électrique à bord reste le courant continu³⁴⁸.

Loin de tout soutien terrestre, l'électricien en mer fait avec les moyens du bord, avec ses compétences et son expérience. C'est son savoir pratique qui complète l'outillage disponible lorsqu'il doit intervenir sur un nouvel équipement embarqué pour des essais ou parce que les contingences du moment l'imposent à bord. Dès les années 1930, le manuel de référence prépare le marin électricien au bilinguisme qui se profile, le courant continu et le courant alternatif vont bientôt requérir sa vigilance et ses bons soins.

348 Cette référence ne sera remise en question qu'après le second conflit mondial.

4.L'électricité au service de l'artillerie

Introduction du chapitre 4

Si l'on excepte les missions d'assistance et de renseignement, un navire militaire est dans la plupart des cas une plate-forme d'artillerie navale. Selon la mission et la taille de ce navire, les caractéristiques de son artillerie peuvent être modestes ou imposantes. Dans le cadre de cette recherche, l'approche ne concerne que l'artillerie classique que l'on peut définir comme la projection à distance d'un objet destructeur, objet inerte et non motorisé. Ainsi les torpilles apparues vers 1865 ne rentrent pas dans cette étude, alors que ces armes demandent néanmoins l'apport de moteurs électriques conséquents pour certaines manipulations préparatoires à leur tir. Les compresseurs d'air nécessaires au chargement moteur des torpilles relèvent des usages classiques de l'énergie électrique : ils sont rattachés de fait au système technique électrique, sans être une spécificité liée à l'artillerie.

Le cœur de l'artillerie navale concerne donc les canons et leurs projectiles. Plusieurs innovations de rupture ont été exploitées durant les années précédant la période étudiée, sauts qualitatifs liés principalement à la métallurgie et à la chimie. Alors que les poudres propulsent à grande vitesse des projectiles qui sont désormais perforants et explosifs, de son côté la métallurgie améliore sensiblement l'effet « cuirasse » avec des aciers adaptés au blindage. Cette actualisation continue des technologies, la qualité des blindages stimulant les pouvoirs destructeurs des obus et réciproquement, est une reproduction du duel du bouclier et du glaive, renouvelée dans ses moyens.

Cette course entre blindage et canon a pour effet d'alourdir considérablement le matériel : les navires augmentent d'une part leur blindage défensif et d'autre part leur artillerie offensive. Inéluctablement, la manœuvre de telles pièces requiert un auxiliaire de motorisation, la force humaine ayant ses limites. Dans un premier temps, la vapeur est le vecteur énergétique mobilisé puis, le moment venu, la souplesse de l'énergie électrique trouve sa place et joue son rôle.

En 1880, la motorisation électrique de puissance pêche par ses dispositifs de commande et leur localisation. Afin de réduire les chutes de tension, les interrupteurs doivent être proches des moteurs et être accessibles pour leur manœuvre manuelle. Cette contrainte n'est pas toujours réalisable sur un navire de guerre où il est souhaitable de pouvoir agir à distance sur des gros moteurs comme ceux des tourelles d'artillerie.

Le fonctionnement d'un moteur à courant continu implique d'agir sur deux circuits, l'inducteur et l'induit. Pour les petits moteurs simples où l'inducteur et l'induit sont alimentés en parallèle, un interrupteur bipolaire est l'organe global de commande. Par contre, les moteurs à vitesse variable ou les moteurs devant fournir un couple élevé au démarrage sont commandés avec des rhéostats afin de contrôler le champ électromagnétique : les organes de manœuvres sont plus complexes, souvent avec une dizaine de positions et de nombreux plots de contacts. De plus, ces organes sont traversés par de forts courants et ils doivent être à proximité des moteurs concernés.

Dans la télécommande d'un projecteur, l'opérateur agit sur le courant du moteur de pointage par un manipulateur. Les masses à déplacer restent modestes et les efforts mécaniques sont compatibles avec des moteurs de quelques centaines de Watts. Même dans un système électrique en 80 Volts, les chutes de tension ne dégradent pas le fonctionnement de

cet ensemble commandé à distance : la manœuvre d'un petit moteur par un interrupteur distant de 30 mètres reste techniquement possible.

Cette disposition n'est pas envisageable pour la rotation d'une tourelle, son moteur faisant plusieurs dizaines de kW : un étage intermédiaire s'avère indispensable. Pour bien comprendre la nature épistémologique de la difficulté rencontrée, une analogie est possible avec les cordages d'un voilier. Lorsque l'effort de traction sur un cordage est supérieur à la force d'un homme, les techniques de matelotage démultiplient l'effet de l'action du matelot : les systèmes de palans transmettent des forces surmultipliées, les nœuds gansés bloquent et débloquent des charges très importantes par une action insignifiante. Cet effet démultiplicateur existe dans de nombreux autres dispositifs mécaniques : la clef libère un navire en construction et le laisse glisser sur son plan incliné. Autre exemple en horlogerie, le système d'échappement par ancre bloque ou libère l'énergie motrice du mouvement. La jeune électromécanique est confrontée à cette difficulté : la commande des moteurs des lourdes tourelles blindées se cherche au travers de plusieurs réponses techniques.

Le matériel représenté ci-dessous équipe le cuirassé garde côte français *Le Tonnant* construit en 1891. La tourelle blindée abrite un canon de 32 cm, pièce de référence pour l'artillerie navale. Les essais officiels de tir ont lieu à Cherbourg le 10 décembre 1893 : c'est un succès complet pour un essai grandeur réelle avec un équipement de référence. Si la faisabilité de la motricité électrique d'une lourde tourelle est acquise, la solution technique reste toutefois à industrialiser.

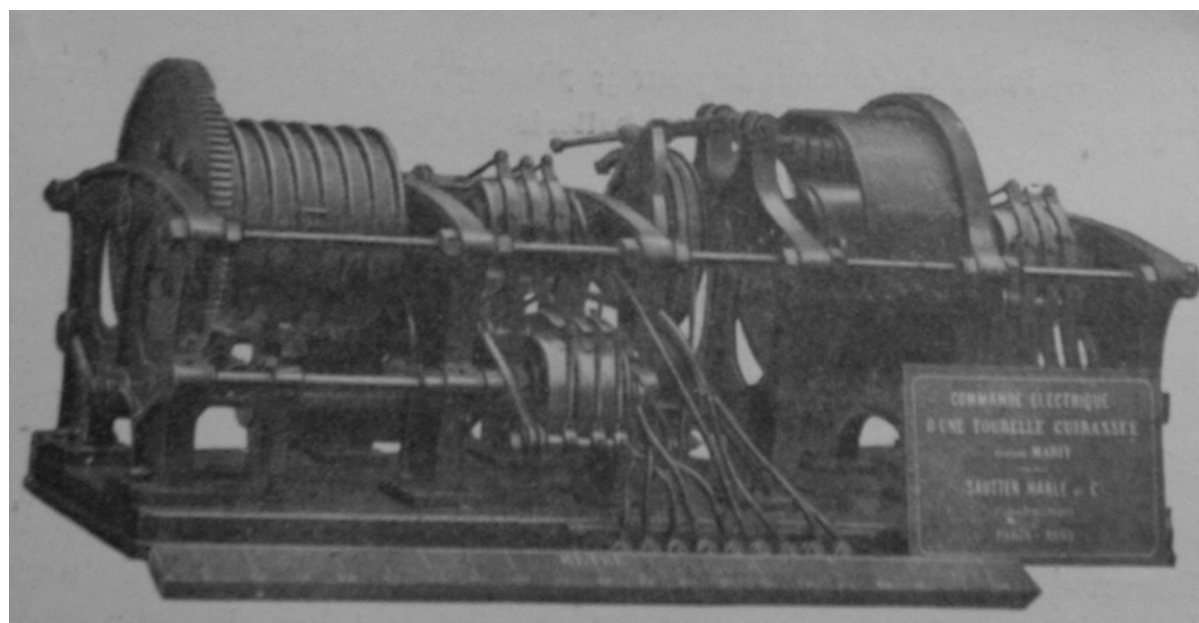


Illustration 112 : Commutateur de retour automatique de position -1891

Source : Bulletin de la Société des Électriciens - 1921 4ème série Tome 1 N° 5 cinpage 6

Plusieurs moteurs sont nécessaires pour l'ensemble des déplacements de la tourelle, du canon et de son approvisionnement en munition. L'ensemble des installations consomme 510 A sous 80 V, soit 40 kW environ. Le seul moteur de pointage absorbe 200 A, ce qui impose une importante surface pour les contacts d'interrupteur, de l'ordre du cm². Le problème de commande à distance de telles intensités est résolu avec un commutateur rotatif.

Le dispositif est un ensemble mécanique comprenant plusieurs cylindres de diamètres différents, tous concentriques autour d'un axe horizontal. D'une longueur d'environ 1,2 m, cet appareil comprend des cames et des contacts qui viennent tangenter la périphérie des tambours. Six contacts sont visibles sur la partie centrale et trois autres bagues de contact sont sur l'extrémité droite du mécanisme. La largeur des tambours assure une surface de contact suffisante pour l'intensité à commuter. Des connexions (9) de fortes sections sont disponibles en face avant.

Une fourchette d'embrayage permet de solidariser la rotation du moteur de commutation avec l'un ou l'autre des tambours. La position des contacts Ouvert / Fermé dépend du mouvement de rotation du moteur de commutation et de la hauteur des cames sous les contacts. La surface des contacts a une forte section, ce qui permet de commuter des courants importants (100 A), ici le courant de fonctionnement du moteur de rotation d'une tourelle blindée. La commande du moteur de rotation (1 à 2 A) s'effectue à distance avec un interrupteur de dimension modeste. Toutefois, l'ensemble du schéma électrique est très complexe³⁴⁹, il ne comporte pas moins de 451 fils conducteurs de toutes sections.

Cette photographie sera notre chenal d'accès à l'apport de l'énergie électrique dans l'artillerie navale, un usage très spécifique car intensif et bref.

Ce dispositif assure la commande de forts courants (100 A) avec des courants faibles (1 à 2A), c'est la brique élémentaire d'un appareillage de télécommande fondé sur la force électromagnétique pour déplacer un équipage mobile de contact. Ce commutateur rotatif est une adaptation fonctionnelle du collecteur des dynamos, le mouvement des pièces étant rotatif et les contacts étant glissants sur des bagues conductrices. Par ailleurs, les petits mécanismes électromagnétiques à noyau plongeur sont très communs, à la source des vibrations dans les sonnettes par exemple.

Dès 1891, un dispositif à mouvement alterné vient concurrencer ce commutateur à tambour : le *commutateur à relai* apparaît, objet d'un brevet en 1892. Ce mécanisme ouvre la voie à de multiples déclinaisons selon un principe très simple : un faible niveau d'énergie commande un autre niveau d'énergie, plus fort ou plus faible selon le cas³⁵⁰. Une analogie fonctionnelle avec d'autres objets techniques est possible : une serrure et sa clef. Ainsi, avec de faibles énergies en jeu, dans un contexte purement mécanique, la clef d'une serrure commande un niveau d'énergie bien distinct: un effort modeste sur la clef verrouille ou déverrouille la serrure, bloquant ou ouvrant une porte massive.

349 Jean REY, *La commande électrique des tourelles cuirassées*, Paris, Bulletin de la Société Française des Electriciens, 1921, p. 4.

350 Les tubes électroniques et les semi-conducteurs sont des technologies qui assurent ces mêmes fonctionnalités de base, avec les usages multiples que l'on connaît.

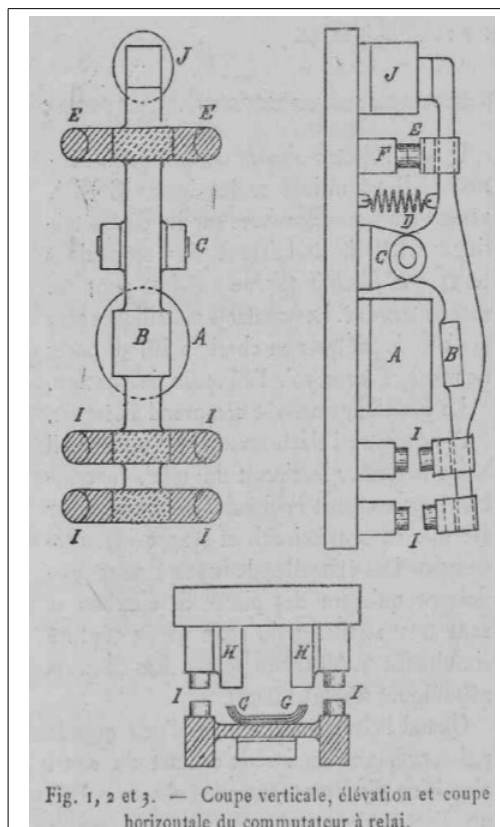


Fig. 1, 2 et 3. — Coupe verticale, élévation et coupe horizontale du commutateur à relai.

Illustration 113 : Relais à trois contacts

Source : *L'éclairage électrique - Tome VII-N°15*, Paris, Georges CARRE, 1896, p. 50.

Ce *commutateur à relai* -modèle 1892- est une étape majeure dans le déploiement de l'électricité car il ouvre un très vaste domaine où *L'électricité commande à l'électricité.*

Le commutateur rotatif assure déjà cette fonction, mais avec un interface mécanique complexe basé sur le mouvement rotatif : un cylindre peut prendre une infinité de position autour de son axe, possibilité excessive pour la plupart des commandes à assurer. Certaines actions séquentielles³⁵¹ peuvent relever de ce type d'appareils, mais il s'agit de mécanismes assimilables à de l'horlogerie plus qu'à des tourelles blindées.

Le commutateur à relais devient rapidement une brique élémentaire que l'on trouve dans des dispositifs de surveillance comme les protections contre des surintensités ou à retour de courant.

En fait, ces dispositifs remplacent l'action d'un opérateur électricien qui observerait un cadran de mesure avant d'agir sur un interrupteur.

Conçu pour agir à distance, le relayage devient très rapidement un auxiliaire qui se substitue à l'opérateur. En ce sens, il est le couteau-suisse du concepteur de système électrique et il rend possible l'intrusion de l'électricité dans des lieux et pour des usages non triviaux³⁵².

4.1. L'artillerie à terre et l'artillerie dans l'environnement marin.

La guerre de 1870 apporte des enseignements sur les usages possibles des nouveaux équipements, à savoir les obus percutants, explosant à l'impact, ainsi que le canon en acier rayé à chargement par la culasse. La portée des canons de campagne est de l'ordre de quatre à six km, ce qui exige une précision accrue dans le réglage de l'affût, le tir rasant n'étant plus confié au canon mais à la mitrailleuse.

La masse du projectile ne définit plus les canons, c'est désormais le diamètre en mm de l'âme du canon qui détermine le calibre de la pièce: les possibilités de tir pour un même fût sont diversifiées, tant en distance atteignable qu'en obus tiré. La balistique reste le socle de l'art de l'artilleur, mais les nouveautés techniques rendent son exercice encore plus complexe.

Durant les batailles terrestres, l'artillerie de campagne est dédiée à un théâtre d'action de dimension restreinte et les canons ont une portée de quelques kilomètres : d'un

351 L'électroménager grand public y aura massivement recours avec les programmeurs de lave-linge.

352 Les mémoires à relais des premiers ordinateurs en seront un excellent exemple.

encombrement relativement modeste, ces armes sont hippomobiles, sans avoir recours obligatoirement à la voie ferrée et à ses locomotives.

Pour être mobile, la masse de l'artillerie terrestre ne doit pas entraver excessivement ses déplacements : les fûts sont calculés pour des tirs courts avec des projectiles adaptés, l'âme d'un canon terrestre n'a pas la résistance exigée pour les usages marins. Ainsi les canons de BANGE de 155 mm tirent des projectiles de 9 kg : à calibre égal, les canons de marine tirent des charges deux à trois fois plus importantes. La nature des canons est différente, la structure du canon de marine - modèle de CANET de 1886- offre une résistance mécanique du fût élevée, d'où une meilleure utilisation de la dilatation des gaz lors du tir. Ces canons augmentent la vitesse initiale du projectile, ce qui améliore aussi le contrôle de la trajectoire et donc l'efficacité statistique du tir.

La recherche d'une artillerie performante et perforante reprend au début du XX^e siècle en Allemagne. L'objectif est de pouvoir détruire des tourelles blindées des fortifications françaises. L'industriel KRUPPS construit une pièce de 42 tonnes dont 13 tonnes pour le seul canon. Cet affût de 420 mm délivre à 12 km des obus de 400 kg. La cadence de dix coups à l'heure est faible et ce type d'artillerie lourde est rapidement concurrencée par l'aviation et les bombardements aériens. Néanmoins, les flottes conservent un attrait pour les canons de fort calibre. En effet, des cuirassés armés d'artillerie lourde peuvent porter des menaces dans des lieux lointains, avec une certaine souplesse d'action. L'environnement d'un navire est par contre exigü et source de nombreuses contingences. En effet, un tir de canon impacte l'ensemble de la structure de la coque, même si l'affût est équipé de dispositifs pour restituer cette énergie. Entre autres particularités, cette problématique d'environnement du matériel différencie l'artillerie terrestre de l'artillerie navale. Cela explique que les canons de 420 mm resteront des armes terrestres.

4.1.A. Les mouvements canon / cible

Frontière naturelle entre la terre et la mer, la côte est donc l'ultime base possible pour implanter des canons d'artillerie terrestre devant assurer une mission militaire maritime. Ainsi, le cas du tir sur un navire ³⁵³ est enseignée aux artilleurs terrestres en charge des batteries de défense côtière. En 1894, ce cours fait le constat de la principale difficulté de ce tir : la cible est mobile. La présence du vent est aussi une cause de perturbations sérieuses, mais *a contrario*, les buts sont de très grande dimension et les tirs sont facilement observables par leurs gerbes d'eau. Quelques calculs donnent à l'artilleur terrestre la dimension de ce contexte marin : le temps écoulé entre la mesure du but au télémètre et l'arrivée de l'obus est décomposé en trois phases, temps perdu, temps mort et durée du trajet. Le temps perdu correspond au commandement du feu par le chef de pièce après le pointage, il est estimé à 8 secondes, soit environ le quart du temps total. Or, durant ce temps, un but ayant une vitesse de 12 à 13 nœuds se déplace de 50 m. La difficulté est réelle et toute disposition contribuant à réduire les temps est une évolution incrémentale souhaitée par les artilleurs. L'auteur conclut sur la nécessité de tirer vite et efficacement, préconisations minimales qui font partie des fondements de l'artillerie navale embarquée.

Mais sur une plate-forme embarquée, la route suivie et la vitesse du bâtiment sont des données complémentaires essentielles, les mouvements du canon et du but se combinent. Toujours en 1894, Ernest NICOL explique le réglage du tir à la mer avec les deux seuls

³⁵³ Ch GAUTIER, *Service de l'artillerie dans la défense des côtes*, Paris, Ecole d'application de l'artillerie et du génie, 1894, p. 3.

éléments; la hausse et la dérive³⁵⁴. Mais il cite immédiatement dix paramètres qui déterminent l'efficacité du réglage de ces deux éléments, le problème est particulièrement ardu et sa résolution partielle progresse sur la période étudiée. Cela renforce l'exigence de rapidité globale d'un tir et de manière complémentaire l'importance de la cadence des tirs. Dans un tel contexte, une batterie de plusieurs canons ayant le même réglage est une réponse intéressante : le décalage temporel des mises à feu permet d'augmenter la cadence de tir sur le même but. Une autre conséquence est un gain global de poids, une tourelle double permet de gagner 30 % de masse par rapport à deux tourelles simples de même calibre³⁵⁵.

La recherche d'une rapidité globale d'un tir trouve plusieurs réponses distinctes qui peuvent se combiner, bien qu'étant de nature différente. Le premier volet de recherche porte sur la rapidité d'acquisition des données permettant d'orienter correctement le canon. Cette acquisition était particulièrement lente avec la marine à voile, les ordres étant transmis à la voix dans un contexte général excessivement bruyant. Le cornet acoustique fut un progrès, mais l'apport des sonnettes électriques et d'autres artifices de communications électromécaniques simples accélère cette communication entre la passerelle et les servants de la pièce d'artillerie. Le second volet de recherche de rapidité concerne le mouvement des canons en hauteur et en orientation. La mécanisation est une réponse, mais c'est un problème mécanique complexe où s'imbriquent vitesse et précision, le tout pour des objets massifs exigeant une énergie importante pour changer de position. La maîtrise de ces mouvements est un défi dans les années 1890, ce qui donne lieu à plusieurs options techniques dont le recours à l'énergie électrique.

En terme systémique, le système primitif homme-machine s'enrichit d'interfaces entre les hommes et les composantes de la pièce de tir. Certaines assistances soulagent l'officier de calculs délicats, d'autres accélèrent et fiabilisent les échanges d'information. Enfin, certains dispositifs sont des « amplificateurs d'énergie » qui finalisent les mouvements de ces lourdes pièces. Notre étude s'intéresse à ces seuls équipements, très exigeants en terme d'énergie électrique.

La quête de la rapidité globale et une confiance dans les systèmes techniques débouchent sur une intégration de la chaîne d'acquisition de données et de mise à feu : la télécommande de certains équipements réduit le temps global, certains intervenants humains n'étant plus dans la boucle. Cette approche se heurte à plusieurs écueils, mais sa mise en œuvre partielle se généralise dans les années 1930.

354 Ernest NICOL, *Traité d'artillerie à l'usage des officiers de marine*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1894, p. 229.

355 GOLDSMIT, *Cours d'artillerie navale*, Paris, École d'application du génie maritime, 1914, p. 200.

4.1.B. La puissance de feu et la précision des tirs

L'usage de l'artillerie légère et de l'artillerie lourde

Les pièces d'un diamètre inférieur à 75 mm sont désignées sous l'appellation d'artillerie légère par opposition aux pièces d'un calibre supérieur rattachées à l'artillerie lourde. Cette frontière correspond à des missions très différentes qui sont donc confiées à des canons de conception très tranchées.

L'artillerie légère est dédiée au combat de proximité avec des projectiles de masse modeste, entre 1 et 4 kg. Ce type d'obus permet de détruire des coques et des ponts non blindés, ceux des navires de commerce ou des torpilleurs. Le projectile de l'artillerie légère doit être à même de traverser toutes les tôles du torpilleur adverse, jusqu'à atteindre et avarier l'appareil moteur³⁵⁶. Le tir est organisé par les servants de la pièce, sans correction et calcul balistique sophistiqué. La cadence de tir pour l'artillerie légère est de l'ordre de 20 coups par minute, ce qui donne au pointeur la possibilité de corriger immédiatement son tir. La destruction d'un navire non blindé est possible et cette artillerie est très dangereuse pour l'équipage du navire sous son feu. Les pièces d'artillerie légère sont souvent dotées d'une protection partielle, dont la masse du blindage n'entrave pas la mobilité du canon. L'artillerie légère reste implantée sur le pont, contrairement à l'artillerie lourde.



Illustration 114: Exercice sur une pièce de 152 mm en 1904

Source : Collection personnelle

Cette illustration montre à voir le service d'une pièce de 152 mm située dans le pont d'un bâtiment.

Avec les réserves d'usage relatives au caractère posé de la prise de vue ainsi que l'affichage d'un large espace disponible et stable, l'image montre une équipe de sept artilleurs pour ce seul canon.

L'alimentation en projectiles ne nécessite pas le recours à une assistance motorisée sur ce pont. Le transfert depuis les soutes à munition n'est pas observable sur ce document

L'artillerie lourde concerne les gros canons, d'un calibre supérieur à 240 mm, qui ont pour vocation le combat à distance entre bâtiments ennemis. En 1880, ce type de canon doit parfois, selon la configuration de la plateforme, être déplacé pour son installation en vue du tir. Cette mise à poste³⁵⁷ demande des manipulations effectuées à l'aide de palans, de crochets dans les murailles et de ferrures. Les mouvements dans le plan horizontal sont guidés par des circulaires en bronze munies de crémaillère et de galets crantés.

356 ASCHBACHER, *Organisation du service de l'artillerie légère*, Paris, Revue maritime, Tome 175, 1907, p. 26.

357 *Aide-mémoire d'artillerie navale*, Paris, Librairie Baudouin, 1881, p. 157.

La généralisation du blindage de protection pour l'artillerie amène une implantation fixe des pièces d'artillerie au sein d'une tourelle. Les déplacements à assurer ne concernent plus seulement le pointage des pièces, mais aussi la rotation de la tourelle. Le blindage des tourelles évolue sur la période, tant en épaisseur qu'en zone protégée : le cuirassement des tourelles fermées est un fût-pivot s'appuyant sur le fond de la cale et non plus sur le pont.

La connaissance de la cible, un préalable à la précision d'un tir.

L'artilleur a besoin de connaître la position de sa cible pour régler son tir et le pointage du canon. L'observation visuelle est le premier vecteur d'acquisition de cette donnée essentielle mais la rotondité de la planète pose une limite géométrique à cette mesure. Ainsi, quel que soit l'instrument d'optique utilisé par un marin, l'horizon est à 8 km lorsque l'artilleur est sur un pont, soit à 5m au-dessus de l'eau. Dans une mâture à 20m, l'horizon s'éloigne à 16 km et si la mâture monte à 50m, le champ visuel est porté à 25 km³⁵⁸.

Avec l'allongement de la portée des pièces, il est possible d'engager des combats à une dizaine de kilomètre : l'intérêt de l'observation dans les hunes se renforce, à la fois pour détecter tôt l'ennemi et régler un tir à longue distance en restant autant que possible hors de la portée de ses canons. Le bâtiment est alors un système complet qui fait interagir ses observations et ses actions grâce à sa communication interne, à la voix puis par des signaux mécaniques, électriques ou téléphoniques.

Dans un second temps, vers 1910, la TSF et l'hydravion offrent des capteurs externes à la plateforme flottante d'artillerie, ils permettent d'augmenter considérablement la distance d'observation : à 500 m d'altitude, l'horizon est à 80 km. Cette distance ne correspond pas aux moyens d'artillerie du moment, mais il permet au navire d'anticiper sa tactique et de disposer de renseignements précieux.

L'électricité, en tant que média porteur d'un signal, est un élément technologique de la plateforme d'artillerie. Elle est citée ici pour mémoire, l'étude restant focalisée sur l'énergie électrique en tant que puissance au service de l'artillerie.

4.2. Les performances des obus

4.2.A. L'impact sur la manutention des obus et des gargousses

Le cuirassé *Amiral Duperré*, armé en 1883, est le premier cuirassé à barbette français. Le concept de l'artillerie barbette permet de protéger par blindage des canons latéraux de calibre restreint et ayant un débattement de tir limité par leur implantation latérale. Cette disposition est sans suite, l'architecture navale évolue vers un calibre supérieur des canons et vers des tourelles centrales. Le service des munitions à bord est représentatif des techniques disponibles avant la motorisation de cette logistique. Le transport des deux éléments constitutifs de la munition procède de cheminements par des monte-charges qui extraient les composants des soutes. La masse à déplacer ainsi que la cadence de tir demandent une énergie conséquente, ce qui nécessite une motorisation avec toutefois un mode dégradé sollicitant la force humaine.

358 Source : <http://www.astronoo.com/fr/articles/horizon.html> consulté le 10/12/2018

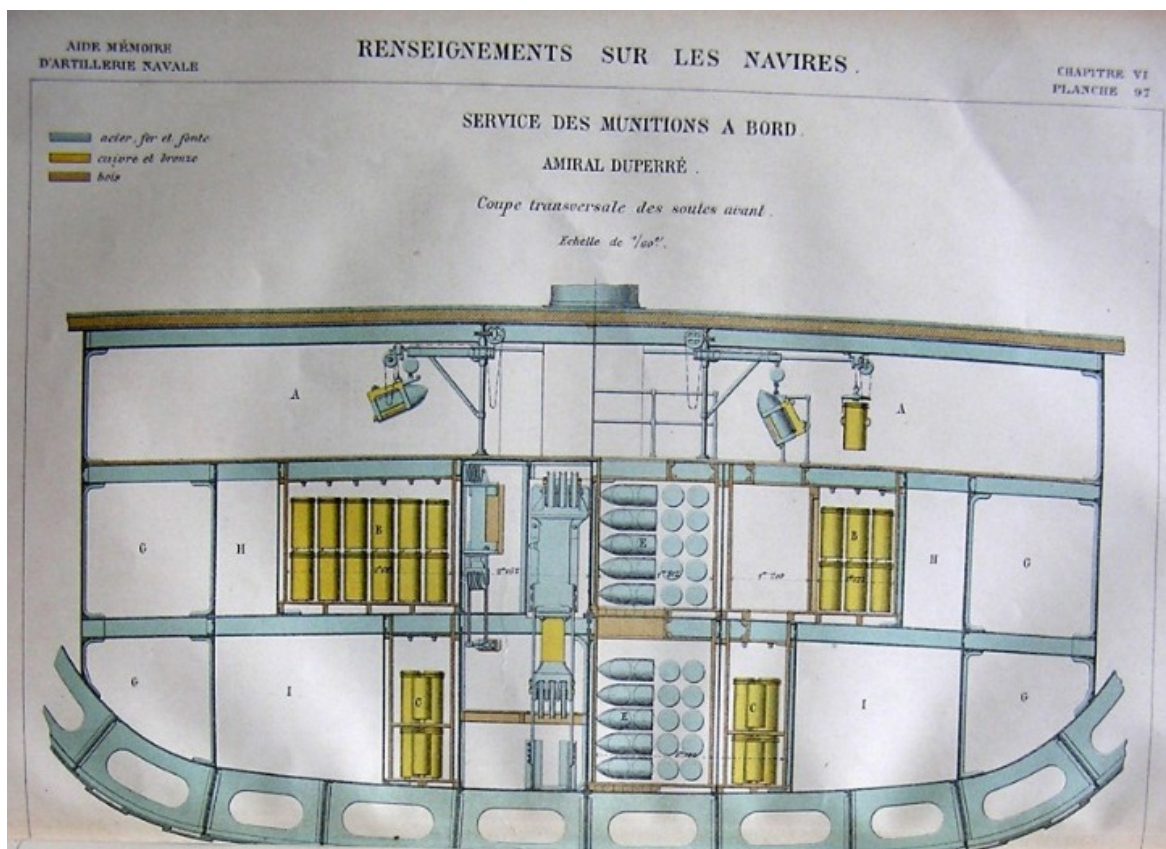


Illustration 115 : Convoyage séparé de gargousses et d'obus

Source : AAMM - Planches de l'Aide Mémoire d'Artillerie Navale Chapitre 6 - Les bâtiments - 1882

Cette planche illustre les manutentions préalables au chargement de la munition dans l'affût du canon. Lorsque les caractéristiques du tir sont déterminées, la constitution du projectile peut avoir lieu en regroupant la gargousses qui correspond à la distance requise et au projectile sélectionné. Certains projectiles peuvent être des obus explosifs ou des obus faisant une gerbe d'eau colorée, ces derniers étant des moyens de réglage des salves suivantes. En l'espèce, la logistique concerne des objets de plusieurs centaines de kilos qui doivent parcourir environ 10 m. Une assistance motrice est judicieuse, une relative sécurisation pour ne pas dire automatisation des mouvements est très rapidement mise en place avec des verrouillages mécaniques de fin de déplacement. Une attention particulière est portée à l'absence d'échauffements ou pire, d'étincelles, qui pourrait subvenir lors de l'utilisation de tels dispositifs.

4.2.B. Les canons et des tourelles blindées, une inflation des masses

Dans la compétition entre la cuirasse et l'épée, les éléments pragmatiques sont incontournables et finissent par devenir déterminants. Dans un mémoire présenté au sein de la Royal Navy en 1894, le directeur du service des constructions navales s'interroge sur la stabilité des cuirassés britanniques face aux masses du blindage en ceinture, à la hauteur sur l'eau des gros canons et de leurs tourelles protectrices. Mr WHITE, auteur du mémoire, affirme qu'une hauteur métacentrique variant entre 0,84 et 1,07m donne des résultats satisfaisants, tant pour les périodes d'oscillations que pour les possibilités de giration rapide. Le sujet est polémique par voie de presse et le mémoire est l'expression d'un acteur de cette controverse. Sans aller plus loin dans l'examen du fond du sujet, l'article recèle deux informations qui montrent les limites de l'art de l'ingénieur à cette époque. Mr WHITE constate un écart³⁵⁹ de

³⁵⁹ 359 *Revue Maritime et Coloniale, Tome 124, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1895b, p. 31.*

46 mm entre les calculs de la hauteur métacentrique et la mesure effectuée lors des essais : la modélisation théorique n'est pas optimum car l'écart est significatif. D'autre part, le débat sur la forme transversale de la coque et son effet sur le roulis tourne court avec un avis péremptoire « *C'est affaire d'opinion* ». Ces deux éléments montrent que les qualités nautiques réelles d'un cuirassé lourdement armé résultent d'interprétations et dépendent largement de l'institution qui s'exprime. Les constructeurs sont confiants dans leur œuvre alors que les navigateurs l'apprécient en contexte. Ce genre d'écart s'inscrit dans une histoire longue, jalonnée par de malheureuses réalisations, le naufrage le plus célèbre étant celui du *Vasa* en 1628.

La question³⁶⁰ des qualités nautiques des cuirassés concerne aussi la flotte française, le naufrage du *Bouvet* en est l'exemple comme l'a magistralement démontré l'Institut de Recherche de l'École navale en 2017.

L'amélioration des matériels de l'artillerie navale est permanente et cela interagit directement sur la masse des canons. En 1878, le calibre de l'artillerie du cuirassé *Redoutable* est de 274 mm. En 1906, le *Dreadnought* définit un quasi standard avec cinq tourelles doubles de 305 mm, soit une masse de 45 tonnes pour 13 m de long. Enfin, l'apogée des calibres est atteint en 1914 par la Royal Navy avec la classe *Queen Elizabeth* et le canon de 381 mm.

De tels équipements déterminent une architecture navale et imposent une motorisation dédiée. Dans l'organisation française, la maîtrise d'ouvrage des tourelles revient au corps de l'Artillerie Navale. Cette partition est conflictuelle et de fortes tensions existent entre les trois grands corps que sont, par ordre alphabétique : l'Artillerie Navale, le Génie Maritime et les Officiers de Marine. Il ne faut pas tirer de conclusions particulières de telles divergences de vue car elles sont consubstantielles à l'ingénierie et à la réalisation de projets. Selon les acteurs du moment, les arbitrages³⁶¹ sont en faveur d'une école ou d'une autre.

Les états-majors sont les observateurs vigilants du résultat des choix exercés et de leurs effets dans la vie du navire. Cette remise en cause permanente connaît des abus avec la flotte d'échantillon, mais elle aboutit aussi à limiter des excès, par exemple dans la croissance du calibre des canons.

4.3. Les mouvements des tourelles blindées et des canons

Indépendamment de l'énergie nécessaire à la mise en mouvement de lourds canons, la question de la cinématique navale est un préalable à l'orientation des pièces. Nous avons vu que la résolution de ce problème n'est pas triviale, y compris avec des hypothèses théoriques simplificatrices. Ainsi, avec les hypothèses de cap et de vitesse constants entre deux bâtiments adverses, les calculs aboutissent à des trajectoires de chaque navire en spirale logarithmique³⁶². La complexité de cette réponse alors que les données d'entrée sont simplistes laissent entrevoir la part prépondérante laissée à l'art de l'artificier lorsqu'il est en situation réelle. Disposer de pièces manœuvrables est un impératif pour agir et réagir au mieux.

³⁶⁰ Isabelle DELUMEAU, *Les Dardanelles ou la fin de l'illusion des pré dreadnought*, Revue d'histoire maritime, 2015, p. 25.

³⁶¹ De nombreux travaux contemporains démontrent la part prépondérante de l'irrationnel sur le rationnel dans la prise de décision, l'intuition qualitative l'emportant souvent sur la sécheresse quantitative.

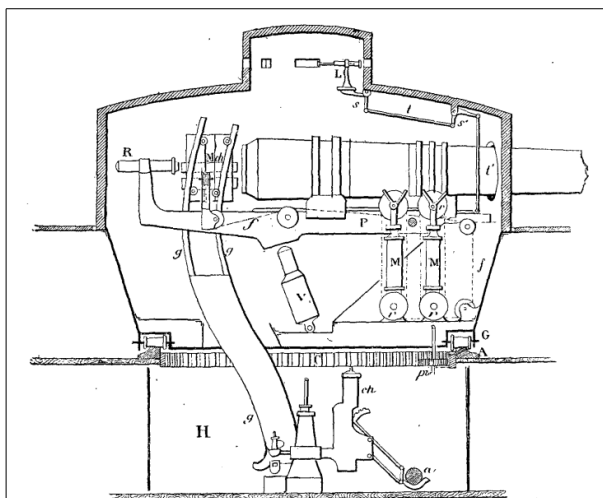
³⁶² ASCHBACHER, *op. cit.*, 1907, p. 75.

4.3.A. La motorisation à vapeur ou pneumatique

Vecteur énergétique disponible à bord, la vapeur est convoquée en premier recours pour manœuvrer canons et tourelles. Mais après plusieurs essais pour l'employer dans une machine spéciale, la vapeur est abandonnée. En effet, son élasticité n'offre pas les conditions d'instantanéité et de précision exigées pour le pointage. En outre, les locaux où elle fonctionne s'échauffent et deviennent dangereux en cas d'avaries.

Les torpilles étant propulsées par des moteurs à air comprimé, ce vecteur énergétique est disponible à bord. N'ayant pas les dangers liés à la température, son emploi est envisagé par l'USNavy en 1874, période du plein développement des torpilles WHITEHEAD. Le garde-côte cuirassé **Terror** peine à être construit et les essais de son artillerie à motorisation pneumatique se déroulent en 1896.

Le **Terror** est un bâtiment de 4000 T pour 80 m de long, son armement principal comprend deux tourelles doubles, chacune portant deux canons de 10 inch (252 mm).



Croquis schématique d'une coupe dans une tourelle du Terror.

Illustration 116 : Équipement pneumatique d'une tourelle- 1896

Source : Louis FATOU, *Revue maritime*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1897, p. 169.

Le pointage en direction de la tourelle s'obtient par des pistons verticaux agissant sur un train d'engrenages avec un renvoi d'angle en prise sur la couronne horizontale de la tourelle.

Le pointage en hauteur s'effectue avec le vérin hydraulique V. De chaque côté de la tourelle se trouvent des réservoirs contenant un mélange d'eau et de glycérine qu'une chasse d'air refoule dans les presses de pointage en hauteur. L'écoulement du liquide est réglé par des soupapes dont la manœuvre s'opère du poste de visée.

Ainsi, la puissance motrice est bien pneumatique mais sa conversion finale est hydraulique pour le mouvement de pointage.

L'emploi de l'air comprimé présente de réels avantages comparatifs : pas d'échauffement des locaux traversés par les canalisations, pas de tuyaux de décharge vers l'extérieur, propreté. Sur le **Terror**, le gouvernail est aussi manœuvré par des vérins pneumatiques avec des performances honorables³⁶³ : le passage des positions Bâbord toute à Tribord toute s'effectue en six secondes. De même, la complète rotation d'une tourelle en direction ne prend que 52 secondes. Ces résultats ne sont pas suffisants pour pérenniser cette technique, qui reste sans suite dans les flottes militaires.

³⁶³ Louis FATOU, *op. cit.*, 1897, p. 168.

4.3.B. La motorisation hydraulique

Pour la motorisation de charges importantes, la transmission hydraulique s'avère plus souple et fiable que l'usage d'un fluide compressible tel que la vapeur : la transmission de puissance par le média vapeur n'est plus d'actualité³⁶⁴. Néanmoins, les canalisations d'eau comprimée restent encombrantes car elles exigent une section minimale pour assurer le débit du fluide ainsi qu'un conduit de décharge au réservoir. Certes, la section est plus réduite que celle des canalisations de vapeur mais il reste un handicap important lié à la température. Lorsque les bâtiments sont dans des environnements non tempérés, le risque de gel est réel. Cela contraint la Royal Navy à placer des braseros dans les tourelles pour éviter le blocage des équipements hydrauliques. En clair, la disponibilité opérationnelle de l'artillerie n'est pas garantie, situation inacceptable.

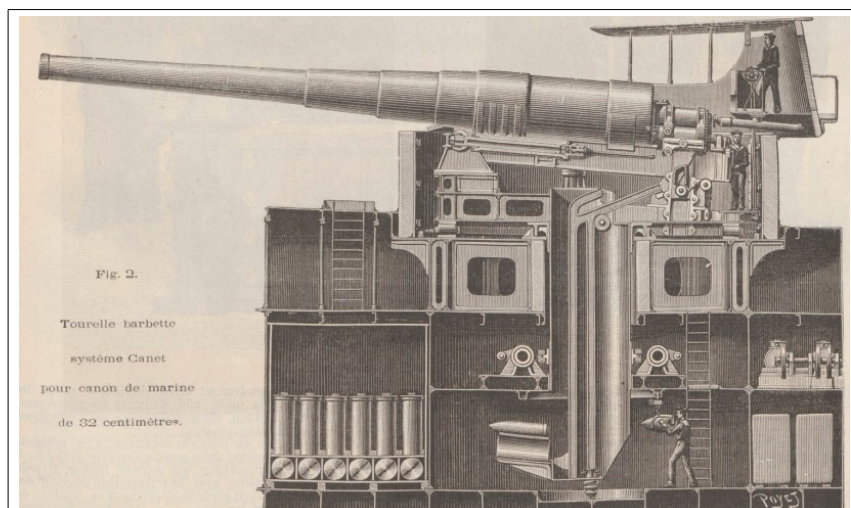


Illustration 117 : Tourelle blindée à mécanisme hydraulique - 1891

Source : *Le Génie civil* - N° 496, Paris, 1891, p. 89

A titre d'exemple en 1891, pour un canon de 320 mm, le chargement et la manœuvre sont généralement assurés par des machines hydrauliques. Il faut entendre le terme hydraulique pour désigner l'eau comme étant le fluide incompressible et non pas dans le sens contemporain où les circuits hydrauliques sont remplis d'huile. L'eau est ici le vecteur de transmission d'énergie par le biais d'un réservoir maintenu sous une pression constante par une machine à vapeur. La chaudière de vapeur compense ainsi la consommation d'énergie due au déplacement de l'eau sous pression dans les convertisseurs d'énergie hydraulique. Ces convertisseurs sont soit des pistons à double effet, soit des pistons à simple effet. Pour un piston à simple effet, la tige agit directement sur l'organe à déplacer : le mouvement peut être induit dans les deux directions. Dans le cas d'un piston à simple effet, le piston plongeur entraîne une moufle et d'un palan à chaîne : l'organe à déplacer peut être à distance, ce qui est une souplesse appréciée dans les locaux exigus.

Les manœuvres se font à l'aide d'eau sous la pression de 80 atmosphères fournie par une pompe à vapeur débitant 300 litres par minute. En cas d'avarie de cette pompe, une pompe à bras assure les principales manœuvres³⁶⁵.

³⁶⁴ La vapeur retrouvera son prestige à bord avec les catapultes d'avion sur le P.A. Charles de Gaulle, entre autres.

³⁶⁵ *Le Génie civil* - N° 1509, Paris, 1911b, p. 91.

L'eau comprimée apporte un service apprécié, les appareils menés par des pistons à eau s'arrêtent quasi-instantanément. Quelques retards existent, imputables aux coups de bélier dans les canalisations, à la levée des clapets de sûreté et autres soupapes. Inhérents à la technologie en œuvre, ces désagréments sont une opportunité pour les marins de montrer leur savoir-faire en dominant ces imperfections.

La rotation du canon sur des circulaires fixes s'obtient directement par des chaînes formant tire-veilles et de deux pistons simple effet à eau. Deux palans s'accrochent sur une pièce fixée au châssis du canon.

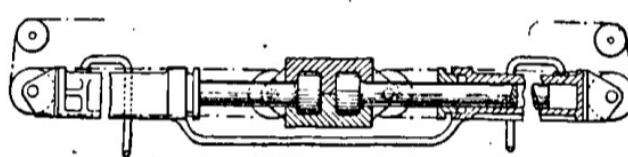


Illustration 118 : Pointage en direction par pistons et chaînes

Source : Alphonse CRONEAU, *Canon, torpilles et cuirasse*, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892, p. 48.

Certains mécanismes comportent une *couronne d'asservissement* surmontée d'un volant, image de la pièce à mettre en mouvement. Ce volant règle l'admission et l'échappement d'eau comprimée dans l'un ou l'autre des tiroirs alimentant les pistons. Le matelot tourne un volant, image de la rotation désirée, alors qu'il agit en fait sur un mécanisme à mouvement rectiligne.

Après la volonté de faire tout hydraulique avec tout automatique, cet enthousiasme exagéré se confronte parfois à de graves avaries. Sans céder à un découragement et à un rejet de ces techniques, des marins affirment leur confiance dans les machines destinées à la manœuvre de l'artillerie. Cet officier canonnier attribue³⁶⁶ la cause de ces déboires à *la manière imparfaite dont ces organes sont manœuvrés et à l'instruction faible du personnel qui y était affecté*. Le matériel est perfectible et le savoir-faire des matelots a des marges de progrès.

Sans être un fluide moteur, l'hydraulique est aussi mise à contribution pour permettre le mouvement en créant un film d'eau comprimée sur lequel « flotte » sans frottement une tourelle blindée. Cette disposition facilite la rotation des tourelles blindées de 120 tonnes portant un canon de 300 mm. La mise sous pression est un préalable à la mobilité de la tourelle qui est positionnée au repos sur sa base. Avec un équilibrage mécanique satisfaisant des tourelles, les efforts lors des mouvements deviennent compatibles avec un roulement sur des galets répartis entre le pont et le pied du fût-pivot. Cette disposition est généralisée vers 1910, en substitution au film hydraulique³⁶⁷. On peut dès lors considérer que l'eau sous pression n'est plus une technique exploitée à bord.

Avec l'abandon de l'eau comme fluide transmetteur, l'huile devient le liquide des systèmes hydrauliques. L'huile est exploitée alors comme un composant d'un dispositif souple qui offre la possibilité de jouer sur la vitesse du mouvement désiré. Les transmissions hydrauliques JANNEY sont un maillon de la chaîne cinématique dont l'énergie principale est fournie par des moteurs électriques.

³⁶⁶ *op. cit.*, 1896a, p. 509.

³⁶⁷ PICARD, *La science et la vie*, Paris, 1913, p. 199.

4.3.C. La motorisation électrique

La commande électrique de tourelles fait suite aux commandes hydrauliques qui présentent plusieurs inconvénients : pompes lourdes et encombrantes, oxydation des matériaux, dessèchement des cuirs d'étanchéité et congélation de l'eau. Cette configuration³⁶⁸ s'est révélée particulièrement gênante lors du conflit sino-japonais de 1894, la mesure palliative étant d'entretenir des braseros dans les tourelles, situation jugée inadmissible au moment du combat !

Comparées aux dispositifs hydrauliques, les machines électriques sont légères et peu volumineuses. Leurs conducteurs sont plus faciles à abriter, à réparer et à remplacer que les tuyaux, les soupapes et les ressorts des machines hydrauliques. L'établissement d'un circuit de rechange est plus aisé, la manœuvre à bras est simple à organiser avec des manivelles placées sur les axes des moteurs. Par contre, les conduits électriques s'échauffent et certains appareillages peuvent produire des étincelles, désavantage fort par rapport à l'hydraulique.

4.3.C.a. Moteur à courant continu en prise directe

Dès 1888, Mr CANET équipe le bateau-canon *Gabriel Charmes*³⁶⁹ d'un dispositif de pointage électrique pour des affûts de 14 cm. L'énergie électrique provient d'accumulateurs COMELIN et DESMAZURES, au cuivre et au zinc avec une solution alcaline. Dès 1891, le système électrique du bord en 70 Volts devient la source d'alimentation.

Le déplacement global est confié à deux dynamos distinctes et ces deux moteurs n'ont pas à fournir le même travail. L'appareil de pointage en direction déplace sur galets un poids tournant assez considérable : sa dynamo pèse 33 kg et appelle en marche normale environ 7,5 ampères, momentanément 15 ampères. Pour le pointage en hauteur, au contraire, le canon étant équilibré par rapport à ses tourillons, l'effort à exercer est moindre. La dynamo de pointage en hauteur pèse 28 kg et consomme en marche normale 6 ampères, momentanément 12 ampères.

Ces courants sont de même ordre de grandeur que ceux d'un projecteur, mais le régime de fonctionnement est tout à fait différent. Alors qu'un projecteur reste en service pendant une heure de manière continue, les courants appelés par les dynamos de pointage sont très ponctuels et imprévisibles. Ces moteurs dynamos sont d'ailleurs conçus pour un changement de sens et de régime sans intervention sur la position des balais du collecteur.

³⁶⁸ *Le Génie civil* - N° 734, Paris, 1896b, p. 145-149.

³⁶⁹ MERVEILLEUX du VIGNAUX, *L'artillerie à tir rapide en France*, Paris, Société des ingénieurs civils de France, 1894, p. 18.

L'illustration montre le canon dans sa version terrestre, le pointage à la mer ayant des fonctionnalités identiques.

Le pointeur agit sur le commutateur placé à gauche en manœuvrant le levier dans le sens où il souhaite déplacer le canon.

La dynamo entraîne un arbre horizontal muni d'un pignon en lien avec une circulaire crantée.



Fig. 3. — Affût à manœuvre électrique pour un canon Canet de 13 centimètres à tir rapide.

Illustration 119 : Manœuvre électrique sur un canon Canet

Source : *Le Génie civil – Tome XVII N° 25*, Paris, 1890, p. 387.

L'arbre horizontal de la dynamo est débrayable, il est donc possible de pointer le canon à la main à l'aide des deux volants proches du berceau. La mise à feu reste locale et mécanique, le pointeur la déclenche avec sa main droite dans l'exemple ci-dessus.

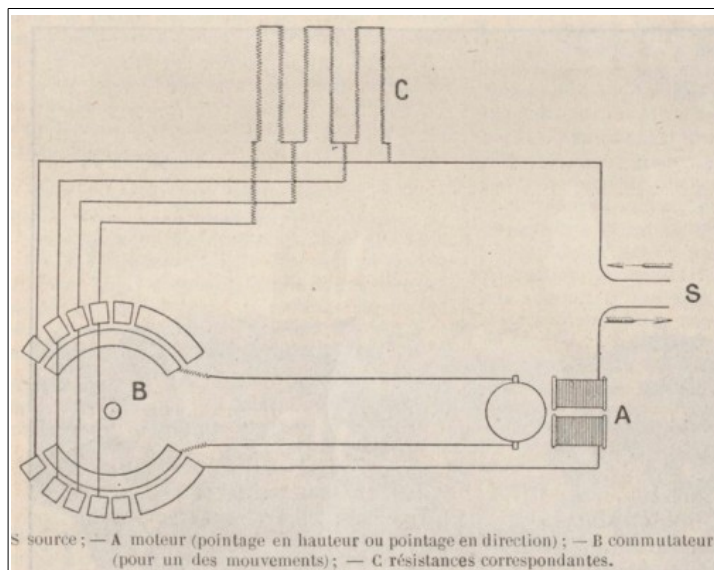


Illustration 120 : Commutateur de résistance - dispositif Canet

Source : *Le Génie civil – Tome XVII N° 25*, Paris, 1890, p. 386.

Ce schéma explicite le câblage du commutateur à quatre touches. Le pointeur déplace le levier avec une amplitude plus au moins importante et obtient ainsi quatre vitesses différentes de mouvement.

La mise en série des rhéostats revient à réduire la tension d'alimentation aux bornes de la dynamo, et d'agir en conséquence sur la vitesse de rotation.

Il n'y a pas de dispositif de frein ou de blocage électrique car le profil des engrenages n'autorise pas un mouvement réversible : le canon ne peut pas entraîner la tourelle

A l'exposition³⁷⁰ de 1900, les performances affichées par le fournisseur des tourelles SCHNEIDER-CANET sont attractives : la précision en pointage est du vingtième de degré, le

³⁷⁰ *La mécanique à l'exposition de 1900 - Tome III. XVII. Les applications mécaniques de l'électricité*, Paris, 1902a, p. 66.

déplacement en hauteur de 20° s'effectue en 12 secondes et la rotation de 240° en 35 secondes.

Après le succès initial de la motorisation du canon de 15 cm, plusieurs sociétés participent à l'équipement de nouveaux bâtiments, tant pour la flotte française que pour l'exportation. Ainsi, après un essai de tourelle électrique en 1890³⁷¹ sur la canonnière cuirassée *Flamme*, la maison SAUTTER-HARLÉ monte en gamme sur le garde-côtes cuirassé *Tonnant*. Mais c'est avec un projet de cuirassé chilien que la motorisation de lourdes tourelles va devoir être traitée : la masse d'une tourelle peut atteindre 400 T, contexte plus délicat que la simple rotation d'un affût.

Le système d'engrenage roue /vis sans fin transmet par chaîne un mouvement tangentiel à la tourelle.

En cas d'avarie électrique, des manivelles sécurisent le dispositif.

Le cuirassé chilien *Capitan Prat*, construit en 1892 par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, est équipé de relais pour commander les moteurs électriques de ses tourelles.

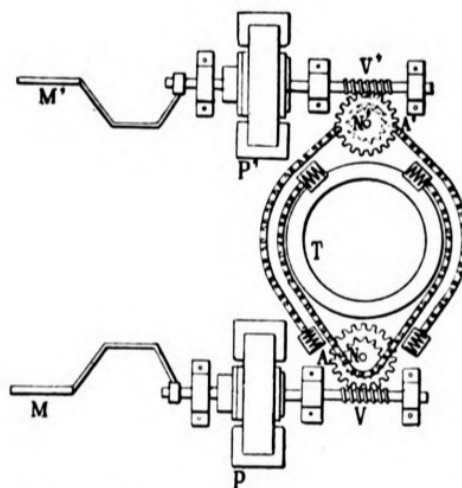


Fig. 18.—SYSTEM OF MOUNTING ELECTRIC MOTORS FOR ROTATING THE TURRETS OF THE CHILIAN CRUISER CAPITAN PRAT.

Illustration 121 : Dispositif pour la rotation des tourelles du croiseur *Capitan Prat*

Source : Notes on the year's naval progress, 1894e édition, Washington, Office of naval intelligence, p. 213.

La nouveauté du relayage donne satisfaction, car elle réduit la longueur des canalisations traversées par de grosses intensités, ce qui est un problème pour un réseau en 70 volts. Ce principe va faire école.

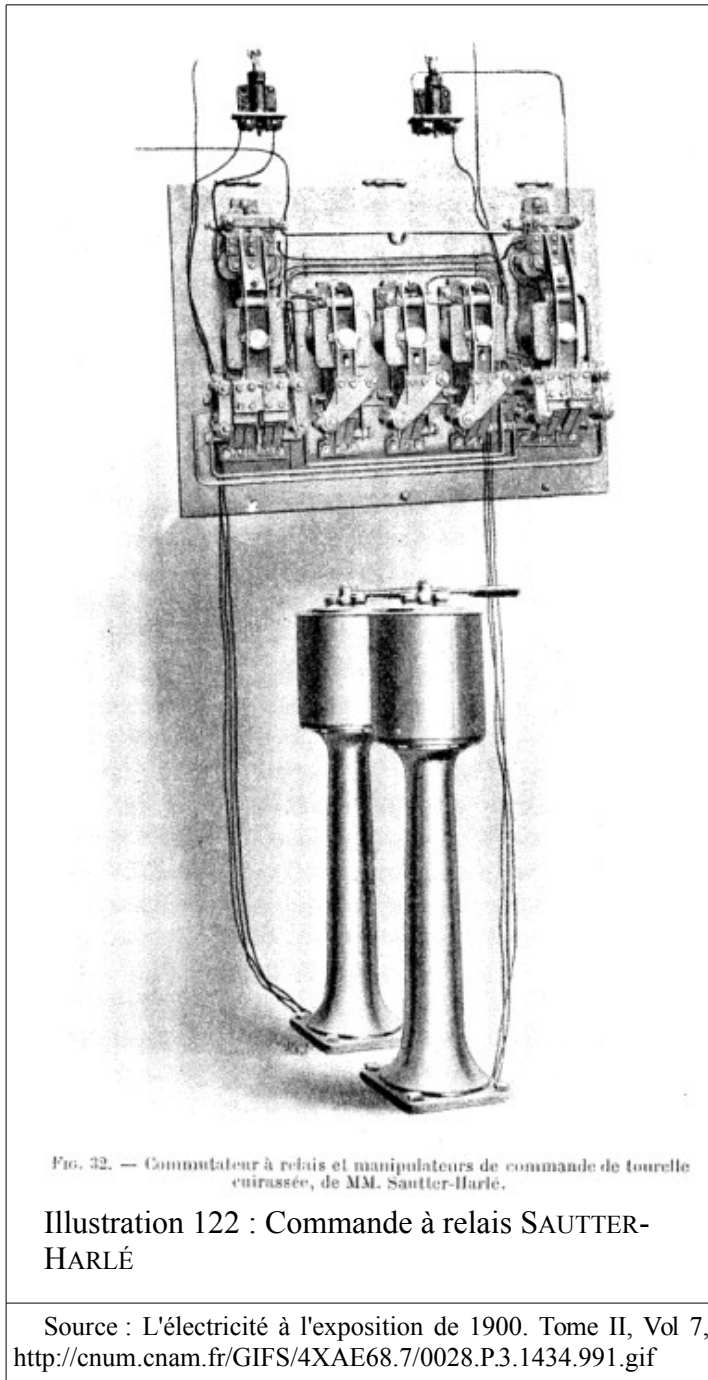
En 1895, le croiseur-cuirassé *Latouche-Tréville* reçoit une commande électrique des canons de 14 et 19 cm. Lors de la conception du *Jauréguiberry* en 1893³⁷², le centre de gravité des masses tournantes a été positionné sur l'axe de rotation des tourelles : avec cet équilibrage mécanique satisfaisant, la motorisation électrique devient possible. En 1897, le cuirassé Jauréguiberry est donc armé avec ce dispositif³⁷³ pour ses affûts de 14 cm.

Forte de ces succès techniques, la maison SAUTTER-HARLÉ présente à l'exposition de 1900 un dispositif électrique de pointage d'affût de 15 cm. La motorisation de tourelles est un marché porteur et dynamique, de nombreux navires militaires sont en projet.

371 Dominique BRISOU, *op. cit.*, 2007, p. 59.

372 GOLDSMIT, *op. cit.*, 1914, p. 207.

373 MERVEILLEUX du VIGNAUX, *op. cit.*, 1894, p. 27.



Le moteur d'une tourelle dépasse les 30 chevaux (24 kW) et la maison SAUTTER, HARLÉ ET CIE y installe une commande par *commutateur rapide à relai* en substitution au commutateur manuel. Ce matériel, similaire à celui du croiseur chilien, a fait l'objet d'un brevet.

De petites impulsions sur un manipulateur permettent d'actionner un électromoteur puissant, et de faire tourner une tourelle blindée.

Cette présentation montre la possibilité d'agir sur les relais par plusieurs manipulateurs. Les manipulateurs verticaux sont positionnés dans un blockhaus de commandement alors que les petits manipulateurs peuvent être à proximité des canons, pour les pointeurs.

Cette redondance dans la chaîne de commande préserve les capacités offensives en situation d'avaries au combat. Elle induit une inflation des câbles de relayage, le volume des atlas de coque en étant la preuve. L'identification de tous les conducteurs est dès lors incontournable.

D'autres flottes optent aussi pour ce type d'énergie avec quelques variantes. En 1899, la flotte japonaise est convaincue³⁷⁴ de l'intérêt des services électriques: le marché du croiseur cuirassé *Kasagi* prévoit des monte-charges et un pointage électrique des canons de 8 pouces (203mm).

³⁷⁴ *Revue maritime*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1898b, p. 660.

Connu outre-atlantique probablement depuis 1890, le système FISKE fait suite à des essais infructueux d'autres mécanismes par la marine américaine³⁷⁵. Ce dispositif à deux moteurs est installé pour un canon de 8 inch (20 cm) sur le **Chicago** en 1891. Le dispositif de pointage est électromécanique, sans interposition d'un autre type d'énergie. Il n'est pas fait mention de relais.

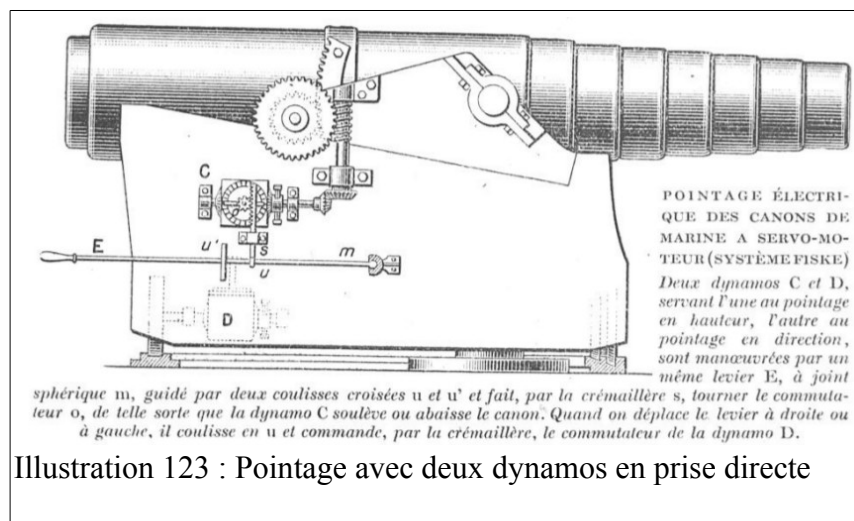


Illustration 123 : Pointage avec deux dynamos en prise directe

Source :DUCOMMOY, La science et la vie, Paris, 1916, p. 249. :

La manœuvre est commandée à proximité immédiate du canon par un artilleur qui déplace un unique levier, image du canon.

Le levier en position est ramené automatiquement en position « neutre » lorsque le pointage désiré est obtenu.

Les deux moteurs à courant continu attaquent des trains d'engrenages qui démultiplient la vitesse et augmentent le couple. Le profil de l'engrenage roue et vis sans fin est irréversible : la vis peut entraîner le pignon, mais pas le contraire. Cette disposition permet de maintenir le pointage sans effort électrique. Les USA optent pour électrifier deux tourelles et des ascenseurs à munition dès 1895³⁷⁶ sur le croiseur **USS Brooklyn**. Satisfaite des résultats obtenus lors de la guerre hispano-américaine à Santiago de Cuba, l'US Navy pérennise³⁷⁷ ces dispositions en 1898 sur les cuirassés **USS Alabama** et **USS Illinois**.

En 1900, des marines étrangères optent pour le canon à tir rapide de 152 mm, la cadence étant de 11 coups à la minute. Ces canons sont montés en deux pièces jumelées, d'où un approvisionnement en noria par des monte-charges hydrauliques. Les pièces de calibre supérieur (240 ou 290 mm) peuvent être pointées avec moteurs électriques, mais les opérations de mise en batterie et de refouloir sont hydrauliques.

En 1901, la coexistence³⁷⁸ des moyens hydrauliques et électriques est perçue par un rédacteur britannique comme un *mauvais procédé*. Cette opinion correspond à une posture partagée outre-manche où l'électricité reste un vecteur ressenti comme moins fiable que les dispositifs plus rustiques. Néanmoins, en 1908, les tourelles du cuirassé **HMS Neptune** pivotent grâce à des moteurs électriques³⁷⁹. Le recours à cette assistance est motivé par la volonté de l'amiral Percy Scott de pointer automatiquement et simultanément l'ensemble des pièces du bord. Dans le Bulletin Naval Mensuel³⁸⁰ de 1909, le journaliste observe que la plupart des nouveaux navires de la Home Fleet reçoivent des machines auxiliaires hydrauliques pour la manœuvre des canons. La même année, un essai de pointage électrique

375 *The year's naval progress*, Washington, Office of naval intelligence, 1891, p. 216.

376 *La lumière électrique - Deuxième série - Tome 30*, Paris, 1915d, p. 184.

377 *op. cit.*, 1898b, p. 154.

378 *Revue maritime*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1901d, p. 900.

379 Sauvaire JOURDAN, *Le pointage automatique des canons de marine*, Paris, La Nature N° 1828 - Masson, 1908, p. 267.

380 *Revue maritime - Tome 183*, Paris, Berger-Levrault et Cie, 1909, p. 311.

en direction des tourelles est réalisé à bord du *HMS Invincible*. Il n'a pas eu de suite, l'Amirauté britannique reste fidèle³⁸¹ à la transmission hydraulique.

Le déploiement de l'assistance électrique pour l'artillerie n'est donc pas homogène entre les flottes. Certaines marines entendent surjouer l'avantage tactique que pourrait amener une technique innovante, d'autres puissances maritimes restent prudentes et attentistes. Faute d'expériences comparatives en situation de combat, les débats sont peu contradictoires et affaire d'opinions. Ainsi en 1895, un officier canonnier italien déclare dans *Rivista Marittima*³⁸² que *la fiabilité des hommes est supérieure à celle des dispositifs techniques*. Certaines positions exprimées par des personnes faisant référence sont sujettes à caution. Ainsi, lorsque Jean REY présente les avantages d'une solution tout électrique face à la transmission hydraulique, il s'exprime certes comme membre de la Société Française des électriciens. Mais la transmission hydraulique JANNEY est un produit concurrent aux équipements SAUTTER ET HARLÉ dont Jean REY est l'un des dirigeants.

381 *Le Génie civil* - N° 2053, Paris, 1921e, p. 546.

382 *op. cit.*, 1896a, p. 500.

4.3.C.b. Moteur à courant continu - couplage élastique par hydraulique

Entre la dynamo et l'engrenage d'un affût, la liaison mécanique directe est trop rigide. Le positionnement final des pièces repose sur la plus petite vitesse de la dynamo et un certain doigté du servant. Le moteur électrique étant débrayable, l'ajustement final est alors manuel pour une meilleure qualité et précision. Plusieurs options fonctionnelles sont ouvertes aux techniciens pour améliorer cette motorisation. Une option consiste à interposer un embrayage pour assouplir le lien mécanique. Un embrayage à frottement mécanique est exclu car il n'offre pas de résistance suffisante aux chocs lors des tirs.

L'embrayage hydraulique étant une réponse possible, les appareils de transmissions JANNEY équipent nombre de tourelles dès le début du siècle.

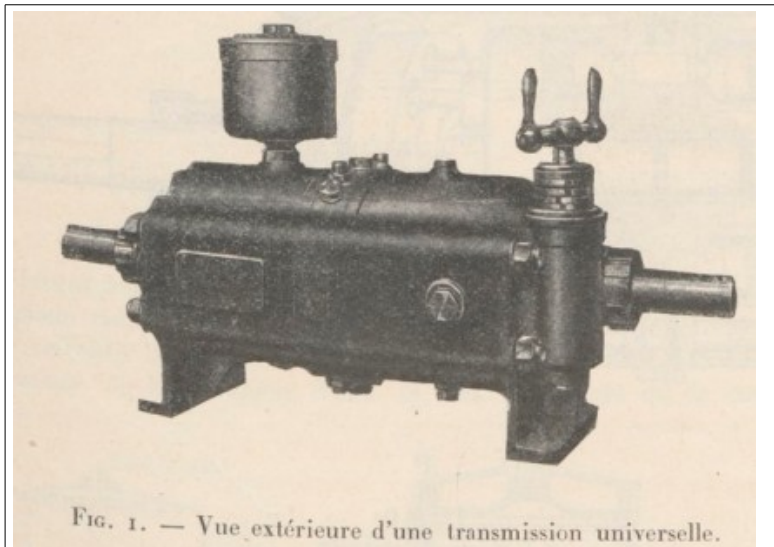


Illustration 124 : Appareil JANNEY avec sa commande

Source : Le Génie civil - N° 1509, Paris, 1911, p. 35.

Commercialisée en France par la société « La Transmission universelle », la gamme couvre des puissances de 1 à 150 HP, pour un poids allant respectivement de 15 à 725 kg.

Ces matériels apportent une solution hydraulique à une question mécanique que l'état de l'art électrique n'arrive pas à résoudre.

Ce dispositif est un changement de vitesse hydraulique continu, car il transmet la vitesse d'un arbre moteur à un arbre récepteur de l'arrêt à un maximum, dans son sens ou dans le sens contraire. C'est aussi un double cardan hydraulique car les deux arbres d'entrée et de sortie ne sont pas coaxiaux. De manière synthétique, on peut dire que l'hydraulique n'est plus le vecteur principal pour transférer l'énergie et qu'il est supplanté par un fluide mieux distribuable dans le navire : l'électricité. Mais dans ses premiers pas, la commande de l'électricité n'offre pas la même souplesse qu'une vanne de laminage d'un flux hydraulique.

L'hydraulique a donc une niche technique grâce à ses qualités propres, elle trouve ainsi sa place dans la chaîne cinématique. La Marine s'investit dans le système JANNEY et lui conserve sa confiance : il équipe les séries de cuirassés *Jean Bart (1911)*, *Provence (1913)* et *Normandie (1912)*. Le système hydraulique est reconnu fiable sur la durée et la Marine répartit ses marchés entre différents fournisseurs de matériels.

Les appareils JANNEY³⁸³ sont sous licence américaine, fruit du transfert d'une technologie développée pour les trains et leurs locomotives.

L'appareil reçoit plusieurs appellations techniques, selon le regard que l'on porte.

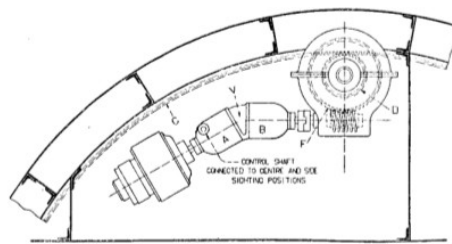


Fig. 12. — Appareil Williams et Janney A V B commandant la rotation d'une tourelle de cuirassée par la transmission hélicoïdale F D C. On doit pouvoir obtenir, pour satisfaire à certaines conditions du pointage des canons de la turbine, réduire de 2 000 fois en C la vitesse de A et de sa dynamo.

Illustration 125 : Appareil JANNEY et rotation d'une tourelle

Source : Bulletin de l'Association d'Encouragement pour l'Industrie nationale, Paris, 1911, p. 740.

Ce matériel devient très courant pour les artilleurs et le nom de la marque intègre le vocabulaire des artilleurs pour désigner l'objet. Sur un cuirassé de 23500 Tx, le pointage d'un canon de 30 cm se fonde exclusivement sur l'hydraulique: « *Le pointage en hauteur de chaque canon comporte un moteur électrique actionnant, par l'intermédiaire d'un appareil Janney et d'une transmission par engrenages, une vis attelée directement au berceau. Le moteur électrique est mis en route, l'appareil Janney étant au zéro, et tourne à une vitesse sensiblement constante. Les variations de vitesse, les changements de sens et les arrêts sont obtenus par le Janney qui est commandé par le pointeur en hauteur au moyen d'un volant disposé verticalement. Ce volant fait trois tours pour passer de la position de repos à la vitesse maximum. ...* »³⁸⁴.

L'encombrement du dispositif est comparable aux pièces mécaniques environnantes.

Focalisé sur la variation continue du mouvement, ce joint hydraulique est intercalé dans le système d'axes et de pignons.

La commande à distance n'est pas envisagée, cette exigence de vitesse n'est pas encore d'actualité.

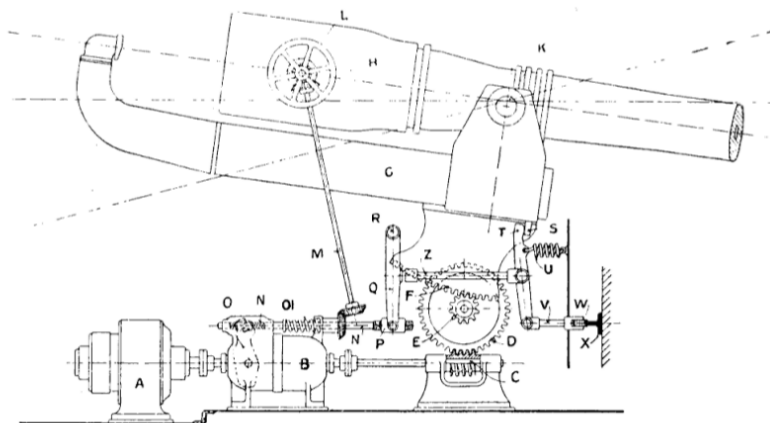


Fig. 13. — Appareil Williams et Janney B commandé par une dynamo A, commandant le pointage.

Illustration 126 : Dynamo et transmission JANNEY pour le pointage

Source : Bulletin de l'Association d'Encouragement pour l'Industrie nationale, Paris, 1911, p. 740.

383 Bulletin de l'Association d'Encouragement pour l'Industrie nationale, Paris, 1911, p. 740.
384 GOLDSMIT, *op. cit.*, 1914, p. 228.

4.3.C.c. Moteurs à courant continu - couplage élastique type WARD-LÉONARD

Pour assouplir la liaison mécanique entre la dynamo et l'affût, une interface électromagnétique pourrait être une réponse. En 1893³⁸⁵, Mr WARD-LÉONARD présente une commande de vitesse d'un moteur en courant continu pour une pompe. Son brevet consiste à faire varier en douceur la vitesse du moteur, y compris son inversion, en contrôlant les enroulements de champ par l'intermédiaire d'un ensemble génératrice/moteur. Ce système d'entraînement est aussi désigné sous le nom d'amplificateur de puissance ou de convertisseur tournant.

La commande agit sur un rhéostat traversé par un faible courant qui, en générant un champ magnétique dans un ensemble de machines tournantes, commande indirectement de fortes puissances. Alors que les commutateurs à relais ne connaissent que deux positions, le dispositif WARD-LÉONARD permet d'obtenir une plage de fonctionnement, sans à coup. Ici encore, l'électricité commande à l'électricité, mais de manière continue.



Illustration 127 : *USS Brooklyn* en 1898

Source : [http://www.wardleonard.com/ ... /Ward-Leonard_75-Yrs-of-Progress.pdf](http://www.wardleonard.com/.../Ward-Leonard_75-Yrs-of-Progress.pdf) consulté le 21/2/2016

Ce concept de groupe WARD LEONARD est testé dès 1898 par l'US Navy sur un bâtiment de taille intermédiaire, le croiseur *USS Brooklyn*.

Le comportement du matériel est satisfaisant, mais la solution imaginée est toutefois trop complexe. Incapable de produire le volume attendu, ces objets sont mis de côté durant la Guerre.

En 1919, les bureaux d'étude relancent leurs investigations et réactualisent leurs produits. Il faut attendre la seconde guerre pour que ces ensembles se généralisent, une fois l'expérience acquise et partagée par les autres utilisateurs industriels.

En France³⁸⁶, les établissements SAUTTER et HARLÉ ont pris des brevets pour la commande de gouvernail, ayant par ailleurs leur propre solution pour le pointage des tourelles.

385 *Revue technique de l'exposition de Chicago en 1893*, Paris, Bernard et Cie, 1894d, p. 199.
386 SHM/177CG2/carton_07

4.3.C.d. Moteur et asservissements à courant alternatif

La transmission par le système WARD-LÉONARD est basée sur la modulation d'un champ magnétique puissant par une énergie électrique réduite. D'autres configurations s'appuient sur un principe voisin mais le champ magnétique principal n'est pas dû à la rotation d'un moteur d'entraînement, un champ magnétique tournant est généré par des courants alternatifs.

Dès 1890, l'ingénieur MARIT³⁸⁷ imagine un dispositif pour la manœuvre des tourelles à bord du *Tonnant*. Pour commander à distance un moteur et lui imposer des arrêts déterminés, le système associe du courant continu et un manipulateur traversé par deux courants alternatifs diphasés. L'usage est délicat car le manipulateur tourne sur 360° avec quatre positions possibles. Plus complexe encore, la position d'arrêt du commutateur dépend de la position de la tourelle. Enfin, la mise en court-circuit du moteur est le seul frein du dispositif, trop « souple » car lié à un champ magnétique insuffisant. Cette expérimentation grandeur réelle va inspirer plusieurs configurations, toutes basées sur l'interaction de plusieurs champs magnétiques.

Sans prétendre décrire les phénomènes électromagnétiques mis en œuvre, le principe de ces dispositifs se fonde sur l'association du déplacement relatif des bobinages mobiles d'un moteur et la conversion d'énergie d'un transformateur à enroulement fixe. Les champs électromagnétiques sont les composants « élastiques » de cette transmission.

Une première liaison électromagnétique est construite en complétant un classique moteur shunt comportant une résistance en série par un frein externe.

Ce frein consiste en un induit en cage d'écureuil tournant à l'intérieur d'un inducteur fixe. Le mouvement est généré par le moteur dont la vitesse varie avec le rhéostat de sa résistance en série. Le couple de freinage dépend du champ de l'inducteur du frein, commandé par un second rhéostat. Le contrôle du freinage est une application des courants de Foucault, phénomène électrique qui est repris dans les moteurs alternatifs asynchrones.

L'association du moteur variable et du frein variable est donc une réponse au problème. Il est toutefois difficile d'obtenir un réglage exempt de pompage et d'une faible instabilité.

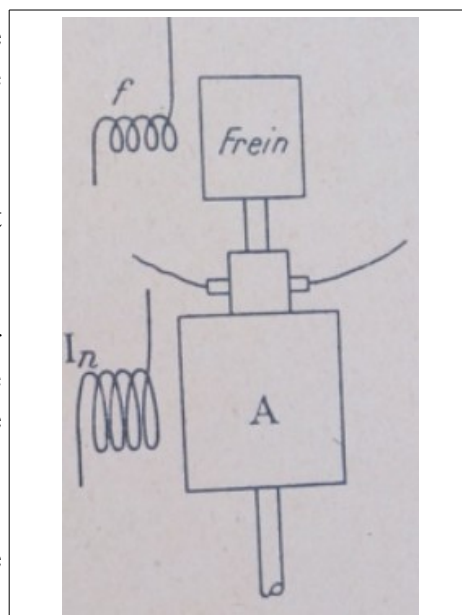


Illustration 128: Pointage en hauteur – système BRÉGUET

Source : RICAUD, Applications de l'électricité à la marine, Paris, 1930, p. 137.

Le commutateur de commande du moteur comprend 21 positions, dix positions dans chaque sens et une position d'arrêt. Par ailleurs, le frein électromagnétique n'agit que sur les cinq positions du commutateur de petite vitesse. En pratique, pour une tourelle de 500 T et un

³⁸⁷ Edouard AUBUSSON, *op. cit.*, 1899, p. 412.

moteur de 7 CV, le pointage en continu d'un but est impossible pour une période de roulis de 16 secondes ou une amplitude de 10°. Le réglage par plots discontinus atteint ici ses limites.

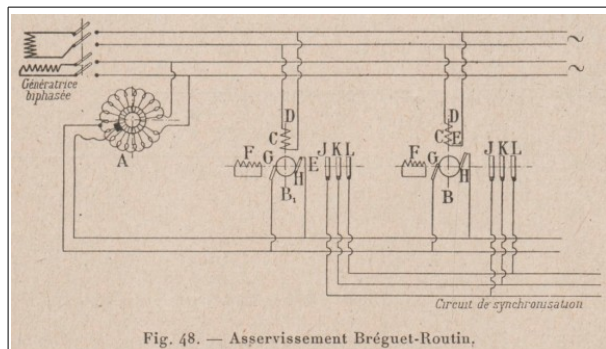


Illustration 129 : Matériel polyphasé BRÉGUET-ROUTIN

Source :Marius GROSJEAN, Revue Générale de l'Électricité - Tome VI - N°16, Paris, 1919, p. 524.

L'asservissement BRÉGUET-ROUTIN permet de synchroniser des positions angulaires à distance en ayant recours à des courants alternatifs diphasés.

Un moteur à courant continu est accouplé mécaniquement à un alternateur, source du champ variable diphasé.

La synchronisation entre les moteurs asservis s'établit par un courant continu et un circuit de synchronisation partagé, via des bagues et des frotteurs. Un autre mode de synchronisation avec des courants alternatifs voit le jour : le dispositif GRANAT³⁸⁸, largement utilisé dans l'industrie et dans la marine³⁸⁹.

Le matériel GRANAT nécessite lui aussi des courants alternatifs, mais ces derniers sont générés par les appareils eux-même. Les équipements sont alimentés en courant continu.

Les stators des appareils sont des enroulements à courant continu. Les rotors sont bobinés et leurs enroulements sont raccordés à des bagues afin de connecter les appareils entre eux.

Un commutateur auxiliaire permet de définir la machine « transmetteur » et les machines « récepteur ».

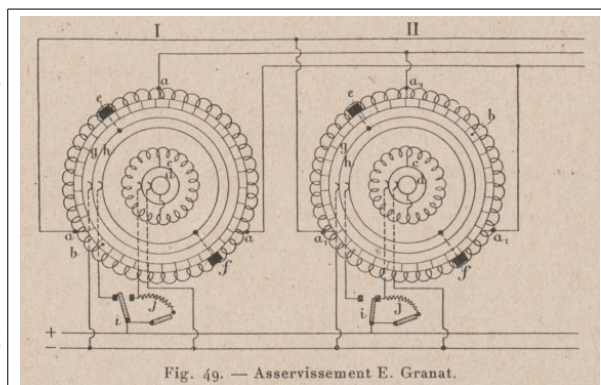


Illustration 130 : Matériel polyphasé GRANAT

Source :Marius GROSJEAN, Revue Générale de l'Électricité - Tome VI - N°16, Paris, 1919, p. 524.

Ces équipements présentent une importante faiblesse : lors de la permutation de source électrique avec une coupure, il est nécessaire de resynchroniser le matériel, ce qui est une grave perte de moyen et de temps lors d'une avarie en combat.

Les deux principaux constructeurs français ont développé chacun leur produit, mais la pleine maturité du concept est à l'horizon 1950.

³⁸⁸ *op. cit.*, 1927, p. 5.

³⁸⁹ Marius GROSJEAN, *Les projecteurs de gros calibre pendant la guerre (fin)*, Paris, Revue Générale de l'Électricité - Tome VI - N°16, 1919b, p. 524.

4.4. L'électricité et la transmission des informations

Les usages civils et terrestres du courant électrique sont multiples à la fin du XIX^e siècle, nombre d'entre eux relèvent de la transmission d'information. Ce volet est en soi un objet de recherche et, sans prétendre dresser les contours de cette question, il est impératif de mesurer l'interaction à bord entre les usages de la puissance électrique et l'électricité comme vecteur de transmission d'information. Cette interaction est systémique et elle contribue à l'émulation des deux usages. Organisation technique complexe, l'artillerie est efficace lorsque la puissance électrique et la transmission de données y travaillent de concert.

4.4.A. Les sonnettes, la téléphonie et la télésignalisation

Sur un navire militaire, la communication d'un ordre simple peut être transmis par un dispositif en tout ou rien. Avec de petits électroaimants, il est possible de déplacer des volets indicateurs ou de faire vibrer des sonnettes. Très rapidement, ces dispositifs bénéficient de la créativité des techniciens ce qui aboutit à des transmetteurs d'ordres prédéfinis avec des accusés réception, rigueur militaire oblige. Ces médias sont peu adaptés à la nature des échanges dans la chaîne de commandement des artilleurs où la communication orale a un intérêt majeur. Le téléphone électrique s'immisce à côté des tubes acoustiques, mais le niveau de bruit environnant est particulièrement pénalisant. La parfaite capacité à communiquer entre marins est essentielle, ce sont donc plusieurs équipements redondants que l'on trouve à bord, chacun avec son propre système sécurisé.

Lorsque des dispositifs de type Selsyn à courant alternatif sont amarqués, la transmission de valeurs analogiques devient fiable. Le directeur de tir peut dès lors communiquer une valeur aux pointeurs de pièce par lecture directe de la position de flèches sur un cadran. Cette télésignalisation (ou télé indication selon le vocabulaire de 1930) ne souffre plus d'erreurs de transmission ou d'interprétation. Le canonnier reste toutefois à effectuer les manœuvres in situ dans la tourelle. La mise à feu est locale ou centralisée avec la mise à feu³⁹⁰ des amorces par une commande directe du commandant.

4.4.B. Le télépointage et la mise à feu des amorces

La télécommande est le préalable technique au télépointage, étape franchie avec un faux canon installé dans un mat tripode. Des éléments de tir sont transmis entre le poste central, le faux canon et les différentes pièces du bâtiment. Chaque servant de pièce indique par un commutateur que sa pièce est prête, le pointeur du faux canon déclenche alors la mise à feu électrique lorsque le but est sur sa ligne de visée.

Les distances d'engagement des combats se sont accrues au fur et à mesure du perfectionnement de l'artillerie principale. Ainsi, lors de la bataille du Jutland en 1916, les distances de combat sont de l'ordre de 15 km. En 1932, l'artillerie principale du cuirassé *Bretagne* tire à 23,5 km. La précision d'un tir à cette distance dépend en premier lieu des calculs préalables mais aussi de l'instant précis de la mise à feu. Or, même s'ils ont une masse considérable, les navires en mer sont sujets au roulis qui est un facteur perturbant l'efficacité du tir. Pour contrer le roulis, une information est rajoutée au télépointage avec la mise à feu gyroscopique³⁹¹

390 LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 363..

391 DUCAUSSOY, *La batterie de côte*, Ecole d'Application de l'Artillerie, 1932, p. 32-36.

Toutes ces dispositions tentent d'améliorer l'efficacité du pointage du canon, problème très complexe où beaucoup de paramètres sont en permanente évolution. Si la question de la transmission d'information est fiabilisée, il reste toutefois une question en devenir : l'efficacité du système bouclé qui exploite cette information pour améliorer sa performance.

4.4.C. L'absence d'outil scientifique pour la régulation

En 1895, la télécommande d'un projecteur s'opère avec pragmatisme et la taille des moteurs n'est pas une contrainte majeure. Le matériel peut être surdimensionné, cela reste dans un calibre compatible avec la place disponible. En 1910, la masse des tourelles de 600 T change l'ordre de grandeur du problème et la compréhension fine des phénomènes en jeu dans un système avec une boucle de rétroaction devient incontournable.

La performance de la télécommande résulte de plusieurs facteurs, l'un d'entre eux étant l'adéquation de la puissance motrice aux masses à entraîner. Il s'agit d'une question exclusivement mécanique, la nature du couple moteur n'intervient pas dans les données du problème. Une étude théorique est menée afin d'éclairer le choix entre une commande directe par un moteur électrique à vitesse variable et une commande par un moteur à vitesse constante avec un organe intermédiaire modificateur de vitesse. L'application numérique est faite pour une tourelle de 600 T et une oscillation lente de 5° avec une période de 8 secondes. La commande directe est plus rapide, mais elle demande des puissances très élevées (facteur 20) pour contrer le mouvement pendulaire du navire. *A contrario*, la commande avec modificateur de vitesse est lente (8 s au lieu de 0,7s) mais il n'y a pas d'excès d'appel de puissance. En 1930, l'auteur³⁹² conclut que *l'étude est ouverte d'un dispositif qui donnerait à la fois de bons résultats en théorie et en pratique*. Il souligne que les commandes à distance avec des télé indications sont des solutions d'attente.

La production électrique du bord a considérablement augmenté depuis 1880, mais cette abondance n'est pas la réponse efficace à la difficulté rencontrée. L'artillerie est la raison d'être du navire de guerre, sa mise en œuvre motorisée doit être maîtrisée. L'efficacité s'exprime désormais par le binôme antinomique vitesse et précision. Ce savoir-faire existe déjà à bord avec les répéteurs de gyrocompas SPERRY. La précision de ces appareils de navigation s'appuie sur le courant alternatif et sur la faible inertie des répéteurs. Le dispositif est donc électriquement et mécaniquement bien distinct de celui d'un canon, mais il ouvre une voie prometteuse. L'asservissement des tourelles reste toutefois en attente pendant quelques années. En 1934, les travaux³⁹³ de BLACK et NICHOLS apportent une modélisation nouvelle de la rétroaction : les ingénieurs disposent désormais des outils mathématiques indispensables pour agir sur les performances d'un système bouclé.

³⁹² RICAUD, *op. cit.*, 1930, p. 46.

³⁹³ H. S. BLACK, *Stabilized feedback amplifiers*, New-York, The Bell system technical journal, 1934.

4.5. L'Émile BERTIN en 1935

4.5.A. Son potentiel offensif

Ce croiseur mouilleur de mines Emile Bertin obéit scrupuleusement aux règles de Washington qui limitent l'armement des bâtiments. Son artillerie lourde est le calibre 152 mm, installé en tourelles triples sous un angle maximum de 45°, une portée de 27 km avec une cadence de 8 coups minute par pièce. Deux tourelles triples sont positionnées à l'avant, la dernière étant à l'arrière. Ces tourelles triples sont commandées par des équipements électro-hydrauliques. Leur élévation maximum n'est que de 45° alors que les navires contemporains sont souvent équipés de tourelles quadruples avec une élévation de 90°. Conçu comme un croiseur léger et rapide, le choix de tourelles triples participe à réduire le poids et donc à optimiser la vitesse de l'*Émile BERTIN*. En effet, le navire est construit légèrement : la ceinture, les tourelles et le blockhaus ne sont pas blindés. Le blindage de la passerelle et des ponts est de 25mm.

L'armement antiaérien était constitué de six canons de 90 mm, huit canons de 37 mm et six mitrailleuses de 13 mm. Le navire possédait aussi six tubes lance-torpilles de 550 mm et pouvait embarquer 200 mines. Il pouvait aussi embarquer deux hydravions modèle GL832 et était équipé d'une catapulte. Les hydravions pouvaient ainsi décoller directement de l'*Émile BERTIN*. A leur retour, ceux-ci amerrissaient puis étaient récupérés à bord à l'aide d'une grue.

4.5.B. Le matériel électrique dédié à l'artillerie

La transmission des éléments pour la conduite de tir est en rupture avec les pratiques d'avant guerre. En effet, les appareils de transmission qui étaient réglementaires en 1911 présentent un inconvénient majeur : toute interruption de courant exige une mise en cohérence générale. A cette époque, le matériel allemand, de type SIEMENS, réalise déjà une mise en accord automatique et instantanée. S'inspirant des observations faites sur les transmissions Siemens, les appareils GRANAT sont à accord instantané. Ils équipent la conduite de tir du croiseur léger.

Les instruments d'optique sont les premiers télémètres de 8 m fabriqués en France. La longévité de ces optiques n'est pas satisfaisante, des défauts d'étanchéité rendent les instruments inutilisables à terme. Pour déterminer les paramètres du tir, des postes de calcul intègrent les circonstances du tir pour délivrer les corrections à apporter. Ces calculs ont lieu avec des appareils graphiques et des plateaux compensateurs. Ces dispositifs complexes restent à améliorer, en particulier leur sécurité de fonctionnement et leur facilité d'entretien.

Le télépointage s'opère par recopie à l'aide des transmissions GRANAT, mais cela ne permet pas de réaliser un pointage continu en direction. En 1935, de nouvelles fonctionnalités complètent le premier équipement : l'aximétrie et la mise à feu gyroscopique.

Enfin, l'artillerie moyenne du croiseur est destinée au tir contre avion. Le matériel n'est pas très adapté au pointage à site élevé sur un objectif très mobile. Les transmissions de télépointage sont dissociées, chaque ensemble est alimenté par un groupe convertisseur monophasé. Ces deux groupes identiques ne peuvent pas être couplés sur le même réseau. Après quelques mois de service, en juin 1936, l'artillerie de 90 contre avion nécessite une réparation des deux groupes convertisseurs monophasés.

4.5.C. L'électricité : des tensions avec la Direction de l'Artillerie Navale

L'Artillerie Navale est un corps distinct du Génie Maritime et la frontière de leurs responsabilités respectives est sujette à interprétation. Ainsi, une question reste en suspens durant le chantier : les canalisations entre les tourelles de 152 et le pont. Ce point mobilise plusieurs interlocuteurs avec un échange fourni d'arguments et de contre-arguments, très éclairant sur les multiples facettes d'un point de détail. L'un propose de retenir un câble armé, comme cela vient d'être réalisé sur la *Jeanne d'arc*. Il lui est répondu que cela est à titre d'essai et que c'est en l'état, non réglementaire. Certes, mais cela évite d'utiliser des matériaux qui propagent l'incendie. Argument rejeté, il suffit de placer ces canalisations combustibles dans des tuyaux métalliques flexibles. La réponse est alors qu'il existe des câbles réglementaires sous tresse d'acier... La fourniture de tuyaux flexibles pour protéger mécaniquement les câbles souples est à l'interface des deux organisations, chacune ayant sa propre logique. La lecture de ces échanges, qui s'étalent entre novembre 1932 et fin 1934, montre des jeux d'acteurs, au-delà du strict registre technique. *In fine*, un courrier du bord daté du 18/6/1937 demande la fourniture de tuyaux métalliques flexibles en acier galvanisé : le problème est resté à résoudre par les électriciens du bord. Les services à terre ont toutefois fait avancer le dossier, un marché concernant les câbles souples armés pour les télécommandes d'artillerie est notifié depuis mars 1937.

De manière similaire, le chantier demande le 13/8/1932 à la Direction de l'Artillerie Navale de préciser les installations électriques de sa responsabilité mais qui impactent directement le planning général. Les questions portent sur les schémas, les passages de câbles et l'emplacement des boîtes de jonction³⁹⁴. Sans réponse, une relance sévère est adressée le 11/12/1933, soit un an avant les essais. La réalisation des installations de l'artillerie est clairement une préoccupation pour le chantier, faute de coopération sur le chantier.

Le bon fonctionnement de la plateforme d'artillerie est essentiel, car ce croiseur léger est le précurseur d'une série de croiseurs légers mieux protégés, le blindage passant de 25 à 38mm. L'artillerie de l'*Emile Bertin* sert de référence aux croiseurs de la classe *La Galissonnière*. La tourelle triple de canon de 152mm est retenue ainsi que les canons de 90mm contre avion. En effet, la période de roulis de 12 secondes coïncide presque exactement avec la cadence de tir de l'artillerie principale, ce qui donne une plate-forme de tir remarquablement stable³⁹⁵. Un ralentissement de la cadence de tir aurait gravement pénalisé le bâtiment, contraint d'ajuster ses salves au roulis. Une partie des performances globales revient au système électrique, infrastructure logistique discrète mais efficace de la plateforme d'artillerie.

394 Une boîte de jonction pèse entre 9 et 30kg, c'est un objet qui occupe un volume conséquent dans un environnement contraint et convoité par l'ensemble des équipementiers.

395 Jean MOULIN et John JORDAN, *French cruisers 1922-1956*, Annapolis, Naval Institute Press, 2013, p. 101.

4.6. Conclusion du chapitre 4, dans l'attente d'asservissements performants

Plateforme d'artillerie, un navire militaire est organisé autour et pour cette finalité. Dans la course intemporelle entre la cuirasse et l'épée, l'énergie électrique au service de l'artillerie voit son rôle muer profondément. Du modeste auxiliaire d'éclairage intérieur pour des manutentions en soute, elle devient rapidement un assistant puissant pour le délicat pointage de canons de 300mm. La présentation des matériels ci-dessus n'est bien évidemment pas exhaustive, mais elle donne à connaître quelques jalons de cette histoire technique. Les équipements électriques d'artillerie ont une spécificité dans leur usage qui les distingue de la plupart des autres usages du bord : le matériel n'est pas en service 99 % de son temps de vie, son régime permanent est exceptionnel mais les régimes transitoires sont des régimes de fonctionnement normal.

Cette conquête doit sa réussite aux limites fonctionnelles des autres dispositifs en compétition :

- la vapeur se distribue difficilement et dangereusement dans un grand navire,
- l'air comprimé manque de puissance et son élasticité nuit à la précision,
- les réseaux d'eau sous pression gèlent,
- les dispositifs hydrauliques à huile ne sont que des convertisseurs tampon.

Selon leur culture et leur contexte, les flottes optent ou non pour l'électrification de leurs tourelles. En France, cette transition ne se fait pas sans controverse³⁹⁶, et avec même une « *querelle pendante entre l'électricité et l'hydraulique* ». Ces tensions ne sont pas franco-françaises, l'inventaire rapporté par les renseignements américains en 1902 montre des écarts importants par pays. Selon cette source³⁹⁷, le nombre de bâtiments avec des tourelles électriques est en octobre 1901 de : France 33, Allemagne 4, Russie 7, Japon 2, Italie 6, Argentine 4, USA 17, Brésil 2, Chili 2, Suède 4 et Autriche 4. L'auteur mentionne que les tourelles des nouvelles constructions britanniques sont électriques. La tendance est installée, mais les solutions techniques sont à parfaire.

En 1912, Georges FERROUX³⁹⁸, lors d'une conférence à l'Institut d'électrotechnique s'interroge sur la fiabilité en opération du télépointage des tourelles d'artillerie : « *Peut-on accorder à un appareil automatique une confiance suffisante pour s'en remettre entièrement à lui dans une opération aussi délicate que celle du pointage ? Un dérèglement est à craindre au cours d'un combat et on ne s'en apercevra que trop tard.* » Ce pragmatisme n'est pas partagé par les différentes parties prenantes, et, là encore, les représentations implicites de chacun fondent leur opinion. La recherche opérationnelle n'est pas encore d'actualité.

L'énergie électrique apporte incontestablement une rapidité dans les tirs. Ainsi sur le cuirassé *Bretagne*³⁹⁹, la vitesse de tir du 340 mm est d'un coup toutes les 45 secondes. Cette rapidité de tir est obtenue par la manœuvre électrique pour toutes les opérations : montée des projectiles par monte charge, chargement du projectile par refouloir à chaîne, chargement des gargousses, ouverture et fermeture de la culasse, mise à feu. Répondre aux attentes des

396 BAYLE, *Couplage des dynamos et régulateurs compensés*, Paris, Revue maritime - Tome 174, 1907, p. 301.

397 *Notes on naval progress*, Washington, Office of naval intelligence, 1902b, p. 307.

398 La lumière électrique - Deuxième série - Tome XIX, Paris, 1912a, p. 314.

399 DUCAUSSOY, *op. cit.*, 1932, p. 26.

artilleurs exige des puissances considérables : vitesse et précision aboutissent parfois à l'instabilité, au « pompage ».

Entre les deux guerres, l'exigence de précision se heurte aux capacités de réglage fin de cette énergie réputée pour sa souplesse. La technologie fondée sur l'électromagnétisme offre une réponse avec des groupes WARD-LÉONARD en courant continu. Le passage en courant alternatif ouvre la voie aux amplificateurs magnétiques, dispositif technique robuste mais dont la maturité est en devenir.

La réponse à cette attente antinomique de vitesse et de précision passe par un double saut qualitatif préalable : la construction des outils théoriques de la régulation avec une boucle de rétroaction et un développement des matériels d'asservissement à base de tube électronique.

Enfin, un usage marginal de l'énergie électrique est à mentionner, même si l'arme ne dépasse pas le stade de prototype. Au début du XX^e siècle, l'électricité est aussi envisagée comme moyen de propulsion directe d'un projectile. Ainsi, dans le canon électrique⁴⁰⁰ système FAUCHON-VILLEPLÉE *le projectile est soumis pendant tout son trajet dans l'âme, à un courant électrique qui le traverse perpendiculairement [et] à un champ de forces*. Un petit modèle construit en 1918 propulse des projectiles à ailettes, avec succès. L'inventeur dépose un brevet⁴⁰¹ mais cette innovation de rupture reste sans suite⁴⁰² sur la période.

400 *Canons électriques système Fauchon-Villeplée*, Paris, Revue d'artillerie, 1922c, p. LXIII.

401 United State Patent Office Brevet n°1.370.200 du 1/3/1921.

402 Les recherches sont toujours d'actualité, l'USNavy et la marine chinoise étant particulièrement actives.

Conclusion générale

Au terme de cette étude, il est légitime de s'interroger sur le questionnement initial et la pertinence de son traitement.

Le choix de la période d'étude est essentiel mais risqué. Pour observer un phénomène historique contemporain, la densité des événements et leur proximité plaident pour une plage temporelle relativement brève. Concernant la montée à bord des appareils électriques, le demi-siècle permet de couvrir des points saillants majeurs, même si certains dispositifs sont préexistants ou se développeront ultérieurement.

La période

Ainsi, les sonnettes et autres usages à base de piles électrochimiques étaient embarqués avant 1880. La datation précise de la première pile à bord me semble une précision stérile car hors champ : en effet, elle n'apporte pas une compréhension supplémentaire pour l'objet de la recherche, à savoir les transformations induites par la profusion d'une énergie électrique à bord. *A contrario*, il est intéressant d'identifier les prémices de changements ultérieurs, en particulier pour les bâtiments de surface avec le courant alternatif. Sans attendre 1935, la télécommande à base de courants polyphasés a déjà séduit des artilleurs, mais les résultats sont encore imparfaits. De son côté, la propulsion électrique⁴⁰³ avec le recours aux turbo-alternateurs en 33 Hz est une voie expérimentée avec l'*USS Jupiter* en 1913. Le succès d'un prototype n'est pas suffisant pour un déploiement généralisé, surtout à l'aube du second conflit mondial. La robustesse d'une technique éprouvée est souvent de mise dans ce contexte, la motorisation des liberty ship en 1941 avec d'antiques moteurs pilons à vapeur en est l'exemple.

Le demi-siècle étudié couvre nombre d'événements techniques, certains objets connaissent des adaptations incrémentales mais des ruptures technologiques viennent aussi condamner des usages pourtant lourdement investis. La détection visuelle d'un torpilleur de surface perd son importance lorsque la torpille est portée par un sous-marin et, pire encore, lorsqu'elle est larguée par un avion. La commande des flux d'électrons dans les tubes est un saut technique qui se traduit dans de nombreux systèmes, tous fortement impactants pour les flottes militaires : la TSF, puis les dispositifs automatisés de tir, le radar et autres avatars de systèmes d'armes électroniques. Pour cette étude, une période plus large aurait été trop ambitieuse car le second conflit mondial voit émerger nombre d'événements techniques.

La mise en récit

L'artifice littéraire des quatre objets comme balises d'accès à un domaine est une opportunité pour éviter la collection d'artefacts : il est possible de dépasser l'objet pour s'ouvrir à son contexte plus général : dans le temps, dans les territoires et dans les

403 ROBINSON, *op. cit.*, 1914, p. 191.

organisations. Nos quatre items sont toutefois bien représentatifs de la flotte militaire et ils nous apprennent beaucoup sur leur évolution itérative.

Le projecteur photo-électrique contribue à la protection des lourds cuirassés, vulnérables au port et peu convaincants en mer. Après s'être déployé en quantité à bord, cet appareil d'optique s'adapte sur la durée, tant pour ses seules performances optiques que pour ses fonctionnalités externes de commande à distance. La nature de son arc lumineux le condamne au courant continu, mais les technologies de télécommande ouvrent sur les courants polyphasés. En poussant l'analyse fonctionnelle au-delà des contingences de la période, la veille visuelle ne peut plus se contenter d'un appareil d'optique pour observer efficacement les menaces. Face au sous-marin et à l'aviation, le projecteur cède la prééminence à d'autres objets, le radar et l'ascic. Pour ces technologies, la question de la source électrique n'est plus une question primordiale, le réseau du bord est devenu une évidence.

L'éclairage intérieur est un usage prioritaire dans un navire, encore plus dans un bâtiment au combat. Cette fonction relève de la sûreté de fonctionnement et de la permanence de la mission militaire. Face à l'apparition de nombreux usages, le système électrique cherche une structuration optimisée qui fiabilise l'accès à l'énergie pour les services essentiels. L'ampoule électrique n'est que le sommet visible de l'iceberg, la configuration des moyens en est la partie immergée. Cette dernière est particulièrement complexe, car l'augmentation des usages se heurte aux contraintes de la production électrique en courant continu. Certes, les installations à terre ont opté pour un courant alternatif. Mais les sous-marins naviguent avec efficacité et en sécurité, alors que leurs installations sont en courant continu. Les flottes de surface peinent à choisir, malgré des succès ponctuels⁴⁰⁴. En 1935, aucune marine ne franchit le pas. Ce sera chose faite vers 1950.

Un système technique est conduit par des hommes de l'art. En 1880, les gestes sont simples et ils sont considérés comme des savoir-faire annexes à un métier établi et reconnu. Devant la généralisation des usages, la transmission orale n'est plus suffisante pour commander ce fluide invisible et parfois capricieux. Trente ans après l'installation du projecteur, face à un besoin impératif de marins compétents, l'organisation militaire crée une nouvelle spécialité. Cette réorganisation des spécialités acte l'importance du fait technique à bord, les marins sont maintenant les hommes d'une technique. Le nouveau métier de Marin électricien se structure avec sa formation, ses hiérarchies de compétence, ses codes et ses pratiques non écrites. Cette mutation est transverse à toutes les flottes, elle est le passage obligé pour tirer les meilleures performances des matériels. L'objet électrique est devenu tellement présent que l'organisation lui alloue des ressources humaines. L'importance des services attendus justifie qu'un officier subalterne en assume la responsabilité au sein de la hiérarchie militaire. Ouverte sur l'évolution de la technique, la Marine anticipe l'arrivée du courant alternatif à bord et, dès 1930, y prépare son équipage par des contenus de formation adaptés.

Sur le demi-siècle étudié, l'artillerie navale se transforme profondément sous l'impulsion des avancées de la chimie des poudres et de la métallurgie qui déterminent de nouveaux horizons pour les canons et les blindages. L'énergie électrique devient rapidement un assistant puissant pour le délicat pointage de canons de 300mm. Au moment du combat⁴⁰⁵,

404 Il s'agit des destroyers classe 1932 de l'US Navy dont l'USS Farragut.

405 M. P. PEIRA, *Historique de la conduite de tir dans la marine 1900-1940*, Mémorial de l'artillerie française, 1957, p. 172.

l'artillerie absorbe les 2/3 de la puissance électrique. Cette énergie souple apporte incontestablement une rapidité dans les tirs, mais le couple d'exigence vitesse et précision reste paradoxal. Les phénomènes d'instabilité pour contrer le « pompage » des équipements sont l'écueil majeur, faute d'une modélisation mathématique adaptée. Alors que les composants techniques sont disponibles, les connaissances théoriques sur le fonctionnement des systèmes bouclés tardent.

Par ailleurs, l'artillerie navale atteint un plateau dans la taille de ses canons, sans changement notable sur la fin de la période. La taille des gros canons est relativement homogène entre les flottes, la qualité de l'acier des fûts détermine en partie la précision de la trajectoire. Les coups au but restent toutefois dans la statistique antérieure, soit de l'ordre de 3 %. La cadence de tir est un paramètre clé pour augmenter l'efficacité des salves et l'assistance de l'énergie électrique est à ce titre un facteur qui modifie les données tactiques. Sur la période, alors qu'en 1906 les canons de 305 mm des premiers dreadnought britanniques tirent à une cadence de deux coups/minute, le *Bismark* allemand, lancé en 1940, dispose de canons de 380 mm tirant trois coups/minute. Ce gain de vitesse, avec des projectiles plus importants, n'est possible que grâce à une mécanisation électrique de la chaîne logistique des munitions. La vitesse ne pouvant pallier les imprécisions de pointage, il reste encore une marge importante d'amélioration. Ce palier de maturité dévoile les potentialités d'autres vecteurs d'artillerie encore en devenir, plus mobiles et furtifs : l'avion et le sous-marin.

Une confirmation quantitative

La chronique ci-dessous illustre la croissance des usages de l'électricité : un facteur 100 quantifie bien l'ampleur du phénomène à bord. L'échelle logarithmique est indispensable pour la lisibilité de l'amplitude des données sur les 50 ans de la période. Sur les deux dernières décennies, l'artillerie est le développement le plus énergivore alors que les usages « traditionnels » des projecteurs et de l'éclairage intérieur restent stables. Les bâtiments présentés sur ce graphe sont à propulsion conventionnelle, non électrique. La vapeur du bord, quelle qu'en soit l'origine (charbon ou combustible liquide), est la source primaire d'énergie. Néanmoins, la place de l'énergie électrique à bord est devenue conséquente : elle est estimée⁴⁰⁶ à environ un douzième de la consommation d'énergie du navire en route, marchant à plein feux.

406 M. P. PEIRA, *op. cit.*, 1957, p. 172.

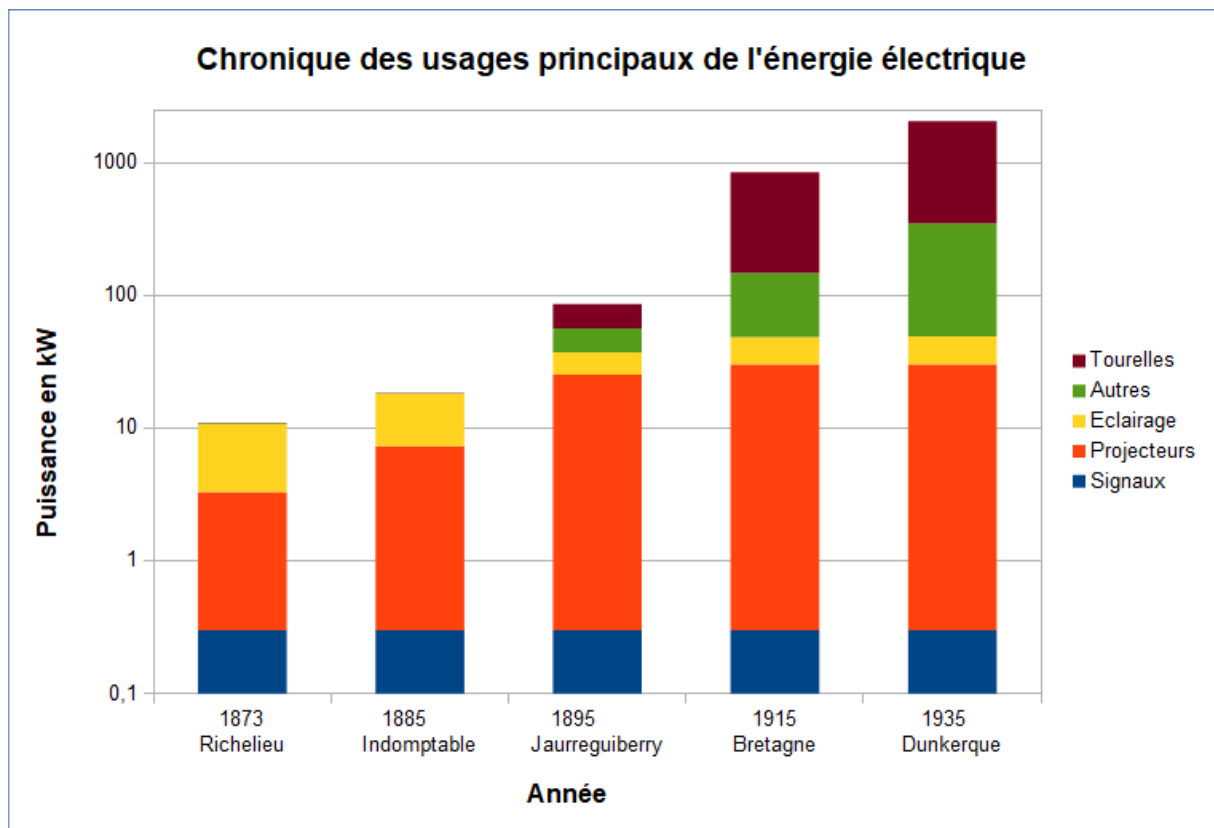


Illustration 131 : Cinq exemples de répartition des usages de l'énergie électrique

La profusion des usages a pour corollaire la profusion du câblage. De quelques dizaines de mètres sur le Richelieu en 1879, les canalisations électriques peuvent se mesurer désormais en kilomètres sur un cuirassé en 1935. Le changement de paradigme technique est réel, ces quelques données quantitatives⁴⁰⁷ confirment si besoin en était la présentation qualitative des chapitres précédents.

La présentation des chenaux d'accès est une opportunité pour mettre en récit des faits et leur donner sens dans leur contexte. S'agissant d'un regard historique, il est tentant de trouver des réponses aux deux questionnements classiques, le Comment et le Pourquoi. Lorsque l'on traite d'histoire des sciences et des techniques, le registre des réponses à ces deux interrogations peut être factuel car notre culture cartésienne nous prédispose à rechercher un lien de cause à effet. Si l'on n'y prend pas garde, l'analyse historique se focalise alors sur une sous-spécialité technique de l'objet, perdant alors une certaine profondeur de champ. Par exemple, doit-on présenter l'évolution des dynamos en se concentrant sur l'impact de la transformation des carcasses magnétiques et de leurs composants ? D'un autre côté, à l'opposé d'une vision microscopique, l'historien peut présenter la dynamo comme un convertisseur d'énergie utilisant l'induction électromagnétique. Cette approche macroscopique change la perspective de recherche, elle ouvre sur un sujet tout aussi riche en contenu. En ce qui concerne la présente étude, c'est une voie intermédiaire qui est retenue, celle des usages et des fonctionnalités assurées par l'objet technique. Cette voie espère se positionner à la bonne distance épistémologique, en louvoyant entre les écueils de la surinterprétation et de l'histoire technique de la technique.

⁴⁰⁷ Une frégate FREMM abrite 355 km de câbles, 28 km de tuyaux, 4,5 km de conduits de ventilations et 210_000 points de bornage. Ce navire long de 142 m a un déplacement de 6 000 Tx. Il est comparable aux anciens croiseurs (information de source Naval Group le 14/4/2018).

Un exemple concret pour valider cette perception

Ainsi, la construction du croiseur Emile BERTIN est une opportunité d'observer l'état de l'art en 1932, à l'issue de la période. Le constat est riche, le navire bénéficie du cumul des expériences mais il rencontre les inévitables tracas d'un projet innovant. Ce qui est le plus frappant, c'est d'observer que les quatre axes d'approche sont tous en voie d'accomplissement et tous révèlent des dysfonctionnements plus ou moins conséquents. Les faisceaux lumineux des projecteurs sont parasités, l'interverrouillage mécanique des tableaux électriques n'est pas une fonctionnalité de base du marché, les trop rares compétences d'électriciens pour les essais font l'objet d'heures supplémentaires, des liaisons électriques entre les tourelles mobiles et le pont sont encore fragiles en terme d'étanchéité et de robustesse. Certes, un adage des métiers de l'ingénierie affirme que « *Le diable se cache dans les détails* », et ces détails ne sont pas représentatifs des qualités globales du bâtiment. Néanmoins, ces informations tempèrent la vision trop idéalisée que l'on pourrait ressentir lorsque les travaux d'historien esquivent la confrontation aux sources primaires.

Bien entendu, ce travail de recherche n'épuise pas les nombreuses questions liées à l'électrotechnique militaire à ses débuts. Il ambitionne d'en clarifier certains ressorts et il laisse ouverts de nombreux champs d'études ultérieures. Au-delà des années 1930, de nouvelles technologies électriques s'invitent à bord, essentiellement des applications de traitement du signal. Néanmoins, le passage des installations du bord sur le standard du courant alternatif est un moment important pour les flottes.

Le matériel électrotechnique des réseaux terrestres en courant alternatif existe, mais il doit être amariné et fiabilisé. L'étude historique de ce nouveau paradigme est à faire et la modélisation des trois composantes imbriquées Source / Distribution / Usages reste toujours valide. Ce système technique embarqué, spécifique à bien des égards, cohabite désormais avec nombre d'autres technologies⁴⁰⁸, la plupart à base de composants électroniques, exemple d'une bonne cohabitation générationnelle.

Plus qu'une « révolution » technique, c'est une étape dans un processus cumulatif, inscrit sur un temps long et assez imprévisible *a priori*. Toutefois, c'est un profond changement dans les matériels et dans les pratiques. Ce choix est aussi à comprendre dans le nouvel équilibre géostratégique des années 1950 et l'interopérabilité des flottes de l'OTAN.

408 Sur une frégate FREMM, l'informatique est omniprésente avec 300 calculateurs, 150 équipements de réseaux, 30 calculateurs temps réel, 400 automates et 35 millions de lignes de code pour le seul logiciel de combat (source www.chaire-cyber-navale consulté le 14/11/2018).

Annexes

ANNEXE 1 - HISTORIQUE SUCCINCT DES ANCIENNES UNITÉS D'ÉCLAIRAGE⁴⁰⁹

En métrologie, la bougie est une ancienne unité de mesure de l'intensité lumineuse, dont la valeur variait en fonction de normes nationales établies en mesurant l'intensité d'une flamme d'un modèle spécifique de bougie. Chaque étalon était caractérisé par la nature de sa mèche et la composition de son corps gras, ce qui aboutissait à des divergences importantes encore augmentées par l'instabilité relative de la combustion; ces unités avoisinaient souvent une candela, aujourd'hui unité de base du Système international d'unités (SI).

Depuis 1979, la définition du candela est : l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de $\frac{1}{683}$ watt par stéradian . A ce jour⁴¹⁰, c'est l'une des sept unités de base du Système International d'unités. Plusieurs unités appelées bougies servirent à exprimer une intensité lumineuse avant l'adoption généralisée de la candela.

Quelques anciennes unités de mesure d'intensité lumineuse

1 - En France

Le carcel, dont le nom provient d'une lampe à huile actionnée par un moteur d'horlogerie inventée par Bertrand Guillaume CARCEL au début du XIX^e siècle, correspond à l'intensité lumineuse produite par une lampe munie d'un bec de 10 millimètres consommant 42 grammes d'huile de colza par heure avec une flamme d'environ 50 mm. Les travaux de PÉCLET constituent la méthode de référence pour cette unité. L'usage de cette unité se développe après 1827, date de la publication du « Traité de l'éclairage » par PÉCLET à Paris (Ed. Librairie scientifique et industrielle). Un carcel est équivalent à 9,7candelas

Le violle (ou étalon Violle), du nom du physicien Jules VIOLLE qui en proposa la définition en 1881, correspondait à l'intensité lumineuse normale d'un centimètre carré de platine à sa température de fusion . La loi du 2 avril 1919 sur les unités de mesure reprend la décision du congrès international des électriciens, tenu à Paris en 1889 : « *L'étalon pour les mesures d'intensité lumineuse est l'étalon Violle, source lumineuse constituée par une aire égale à celle d'un carré d'un centimètre de côté prise à la surface d'un bain de platine rayonnant normalement à la température de solidification, conformément aux décisions de la conférence internationale des électriciens, tenue à Paris en 1884, et du congrès international des électriciens, tenu à Paris en 1889.* » Les institutions savantes des électriciens prennent une certaine autonomie vis à vis des institutions savantes des physiciens. Un violle est équivalent à 20,17 candelas

La bougie fut définie selon l'intensité de la bougie de l'Étoile, du nom d'une appellation commerciale d'une bougie stéarique en suif purifié fabriquée selon un protocole

409 Une partie des informations de cette annexe provient du site <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bougie> consulté le 3/09/2017

410 <http://www.metrologie-francaise.fr/fr/si/unites-mesure.asp> consulté le 3/09/2017

industriel précis. Celle-ci était vendue par paquets de cinq ou de six, d'où les appellations « bougie de l'Étoile, de cinq au paquet » (une bougie pesait 100 grammes) ou « bougie de l'Étoile, de six au paquet » (une bougie pesait 83,3 grammes) :

- la bougie de l'Étoile, de cinq au paquet, consommant 10 grammes de stéarine à l'heure ou ayant une hauteur de flamme de 52,5 millimètres, avait une intensité lumineuse de 0,136 carcel ou 0,065 violle;
- la bougie de l'Étoile, de six au paquet, consommant 10 grammes de stéarine à l'heure ou ayant une hauteur de flamme de 52,5 millimètres, avait une intensité lumineuse de 0,132 carcel ou 0,063 violle.

2 - En Angleterre

La bougie (*candle* ou, plus précisément, *British Parliamentary candle* en anglais), légalisée par le *Metropolitan Gas Act* en 1860, correspond à la lumière produite par une bougie en spermaceti purifié pesant un sixième de livre et brûlant à la vitesse de 120 grains (soit 7,7 grammes) par heure avec une flamme de 45 mm de hauteur⁴¹¹. Une bougie anglaise valait 0,981 candela.

La bougie pentane (*pentane candle*) est définie par le chimiste Augustus George VERNON HARCOURT, qui inventa une lampe brûlant du pentane pouvant être réglée à différentes intensités lumineuses. En 1898, la lampe VERNON HARCOURT permit de définir un standard équivalent à dix bougies internationales.

En 1909, la Commission internationale de photométrie (CIP) relayait les travaux menés par plusieurs laboratoires qui, après avoir défini la bougie à partir de l'intensité lumineuse émise par une lampe électrique à filament de carbone, décidèrent que la bougie anglaise, la bougie américaine, la bougie décimale française posséderaient toutes une valeur identique basée sur ce nouvel étalon et que la bougie HEFNER allemande pourrait être égale aux neuf-dixièmes de cette unité commune. En 1921, la Commission internationale de l'éclairage (CIE), qui avait succédé à la CIP, décida d'appeler cette nouvelle unité « bougie internationale » ; mais l'Allemagne, non représentée, n'appliqua pas cette réforme². Une bougie internationale est équivalente à 1,018 candela.

Quelques repères entre unités électriques et unités d'éclairage

La lampe à incandescence de 16 bougies à filament de carbone fonctionnait avec un courant de 0,5 ampère sous une différence de potentiel de 110 volts ; en activité, cette lampe à incandescence d'une résistance de 220 ohms consomme $110 \times 0,5 = 55$ joules par seconde. D'une puissance de 55 watts, son efficacité lumineuse est de 3,5 watts de puissance électrique consommée par bougie (l'unité de mesure).

Dans les logements, les modèles les plus employés par les ménages étaient la lampe dite de 10 bougies (environ 35 watts de puissance électrique consommée) recommandée pour chaque volume de 20 m³ d'une salle (remise, vestibule, chambre à coucher), et la lampe dite de 16 bougies (environ 55 watts de puissance électrique consommée) recommandée pour chaque volume de 25 m³ d'une salle de séjour, cuisine.

⁴¹¹ *op. cit.*, 1879b, p. 263.

Annexe 2 - DES MOTEURS POUR LES GÉNÉRATRICES ÉLECTRIQUES

Cette annexe présente quelques ensembles de machines génératrices de la période. Cette présentation ne se veut pas exhaustive, mais vise à souligner les principales voies explorées lors des itérations d'évolution incrémentale. Le processus industriel du moment est fondé sur la fabrication en petite série des équipements et chaque nouvelle machine est une source d'enseignement, tant dans sa réalisation que dans son exploitation. Cela contribue à l'amélioration du produit à venir et à son meilleur ajustement aux attentes des Marines.

Sur 50 ans, le renouvellement des générations de techniciens apporte une créativité et rajoute un degré de stimulation à ce bouillonnement inventif. De nombreuses options techniques sont testées tant pour les moteurs d'entraînement que pour les génératrices d'énergie électrique.

Le choix des moteurs présentés ci dessous montre que la phase de prospection conceptuelle est ouverte et que le chemin vers le dominant design issu des convergences d'adaptation incrémentale s'est construit en marchant⁴¹².

La vitesse nominale de rotation d'une génératrice est une donnée fondamentale, car elle dimensionne les variations de flux électromagnétique, source de la force électromotrice. Les concepteurs de machines électriques expérimentent donc plusieurs moyens pour obtenir une importante variation de flux magnétique, chaque idée devant être confrontée aux limites concrètes du moment.

Obtenir un flux magnétique dépend essentiellement du bobinage électrique et du noyau magnétique de la machine. D'un côté, le bobinage électrique est le support de circulation du courant : sa forme vise à concentrer le champ inducteur mais une compacité trop importante des spires restreint le refroidissement du métal conducteur, au détriment de l'isolant des fils. D'un autre côté, le noyau magnétique guide les lignes de flux créées par le bobinage : les qualités des matériaux ferromagnétiques sont déterminantes et la géométrie du noyau augmente la densité du flux dans les endroits privilégiés des machines.

Les variations du flux inducteur résultent donc d'un mouvement et d'une géométrie des pièces. Les dynamos ont un inducteur fixe. Ainsi, pour une vitesse de rotation identique, une machine à une paire de pôles magnétiques (un positif et un négatif) a une variation de flux deux fois moins importante que la même machine dite « duplex » avec deux paires de pôles magnétiques. La géométrie de la carcasse magnétique fixe permet d'augmenter le nombre de pôles, mais avec une contrainte d'encombrement. Le même raisonnement peut être fait sur la partie tournante où l'augmentation du nombre de spires se traduit par une augmentation de la tension induite. A nouveau, le principe de réalité et les contraintes d'encombrement limitent la quantité de bobinage réalisable. Le mouvement est l'autre paramètre clé : pour une machine, lorsque la vitesse de rotation double, les variations de champ magnétique doublent. La contrainte est alors mécanique, car la force centrifuge sollicite la résistance mécanique des matériaux de tous les mécanismes impliqués dans cette rotation.

Les mécaniciens du bord préfèrent des équipements dits à vitesse lente, les équipements étant moins sollicités en effort centrifuge d'une part et les vibrations mécaniques

⁴¹² L'approche systémique de JL Lemoigne est un outil de la complexité qui offre une analyse plus riche que la simple connexion cause – effet ou de la vision d'agrégats d'objets technique.

sont moins importantes d'autre part. Enfin, point secondaire mais à ne pas négliger, les autres équipements tournants du bord sont à vitesse lente, que ce soit la ligne d'arbre, les treuils et autres monte-charges. Il y a une continuité de compétences, voire une redondance, ce qui est un facteur favorable à bord.

1 - Les moteurs à piston

Le moteur BROTHERHOOD est une machine développée au Royaume-Uni qui se caractérise par la structure en étoile de ses trois pistons. Les pistons sont à simple effet, la détente de la vapeur ne se faisant que sur une face du piston. La distribution de la vapeur est assurée par trois tiroirs positionnés sur un axe parallèle à l'axe des trois pistons. Le principe de ce mécanisme est repris dans des pompes à eau, des compresseurs d'air et des moteurs de torpilles. C'est un équipement robuste, bien équilibré mécaniquement, mais c'est une machine thermodynamique rustique à simple détente. Sa vitesse de rotation est de l'ordre de 300 t/mn.

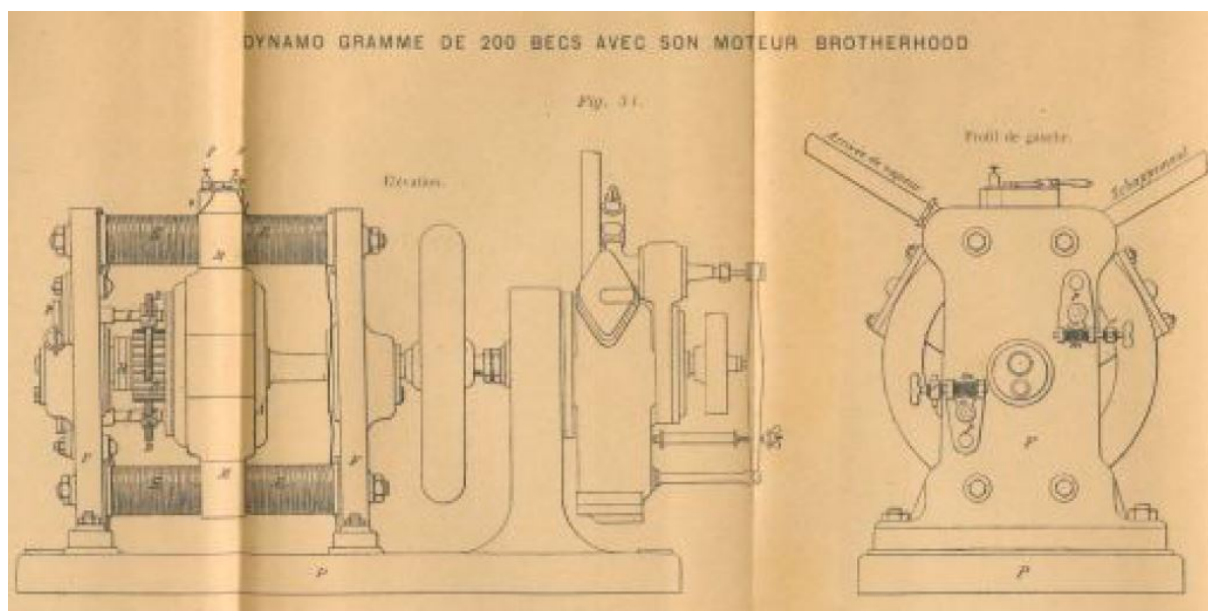


Illustration 132 : Moteur BROTHERHOOD avec une machine SAUTTER-LEMONNIER de 200 becs

Source : Manuel du mécanicien torpilleur - 1890 – Annexe

L'illustration ci-dessus est un dessin de la génératrice d'une chaloupe équipée d'un projecteur : le moteur est moins encombrant que la dynamo. L'ensemble moteur / volant d'inertie / dynamo est fixé sur un bâti afin de conserver l'alignement des machines.

Le moteur pilon est une machine à piston dont le mouvement alternatif vertical est similaire au mouvement d'un pilon. La transformation de ce mouvement alternatif est obtenue par une bielle et un vilebrequin. Cette disposition de l'ensemble piston / vilebrequin dans un axe unique est une différence structurelle majeure par rapport à la disposition d'un ensemble à symétrie radiale comme le moteur BROTHERHOOD. Toutefois plusieurs déclinaisons du moteur pilon ont été construites, chacune correspondant à une recherche particulière d'optimisation.

Le moteur bi cylindre à axe horizontal- brevet MÉGY est une machine contemporaine de la machine précédente : elle est installée sur le cuirassé *Richelieu* vers 1889. Ce moteur est dit rapide⁴¹³ et tourne à 580 t/mn. L'admission et la détente de vapeur se font par des tiroirs cylindriques, mécanisme courant. Son échappement est collecté et préserve ainsi la température du local dynamo. L'accouplement est direct avec la dynamo. Le carénage inclut les pièces mobiles, disposition transitoire qui sera remise en cause avec les machines verticales.

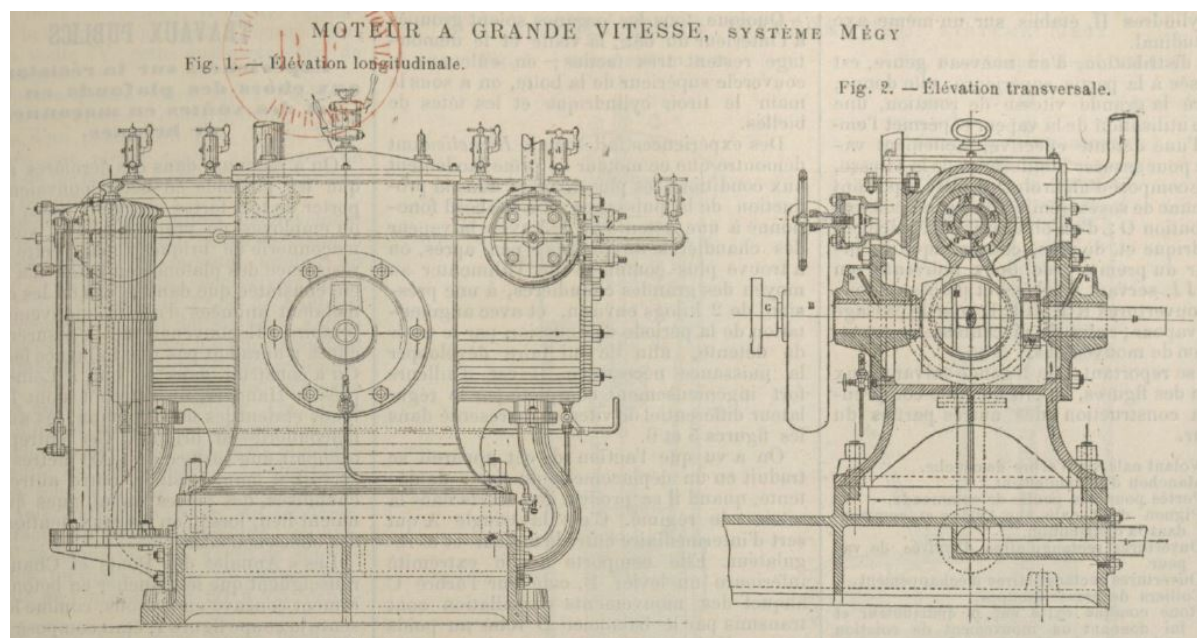


Illustration 133 : Moteur système MÉGY

Source : *Revue industrielle* -N°33, Paris, 1884, p. 321

La régulation de vitesse est dite différentielle, un dispositif d'ailettes tournant dans l'air stabilise le régime de rotation. Le sens du terme « différentiel » n'est pas celui des automaticiens du XXI^{ème} siècle. Au vu du texte rédigé par le journalisme, le régulateur agit proportionnellement à l'écart entre la vitesse de consigne et la vitesse instantanée. En ce sens, il est différentiel. Mais il n'est pas différentiel au sens contemporain, à savoir en réagissant à la dérivée entre l'écart de la consigne et de la mesure. Par contre, les ailettes introduisent un effet que l'on qualifie aujourd'hui d'intégrateur. Une autre particularité de cette machine, sa régulation agit non pas sur l'admission de vapeur mais sur l'ouverture du tiroir de détente.

Le régime de marche de l'ensemble moteur+dynamo est permanent, le *Richelieu* n'ayant pas d'autre source d'électricité pour assurer son éclairage intérieur de nuit. Toutefois, le moteur « *consomme peu de vapeur* » à faible charge, ce qui est appréciable.

⁴¹³ LEDIEU et CADIAT, *op. cit.*, 1889, p. 504.

Le moteur bi cylindre à axe horizontal – système WOLF est un dispositif commercialisé par la maison SAUTTER-LEMONNIER. La hauteur du moteur à vapeur est inférieure à la hauteur de la dynamo qui lui est couplée. Les deux pistons sont montés en tandem, l'un en face de l'autre. Son design rappelle l'implantation des pistons sur les locomotives à vapeur, machines à échappement libre mais évoluant en plein air. C'est un équipement adapté à un espace bas de plafond, il est implanté sous le pont cuirassé des croiseurs, là où la place disponible est particulièrement restreinte. Le croiseur cuirassé *Davout*, lancé en 1889, est équipé de cet ensemble. Le concept de croiseur cuirassé n'a pas eu de suite, les performances du blindage étant insuffisantes et la motorisation du bâtiment étant incapable de rendre ce navire manœuvrable. Les locaux affectés aux dynamos étant de taille supérieure, ce type de moteur à piston tandem est resté sans suite.

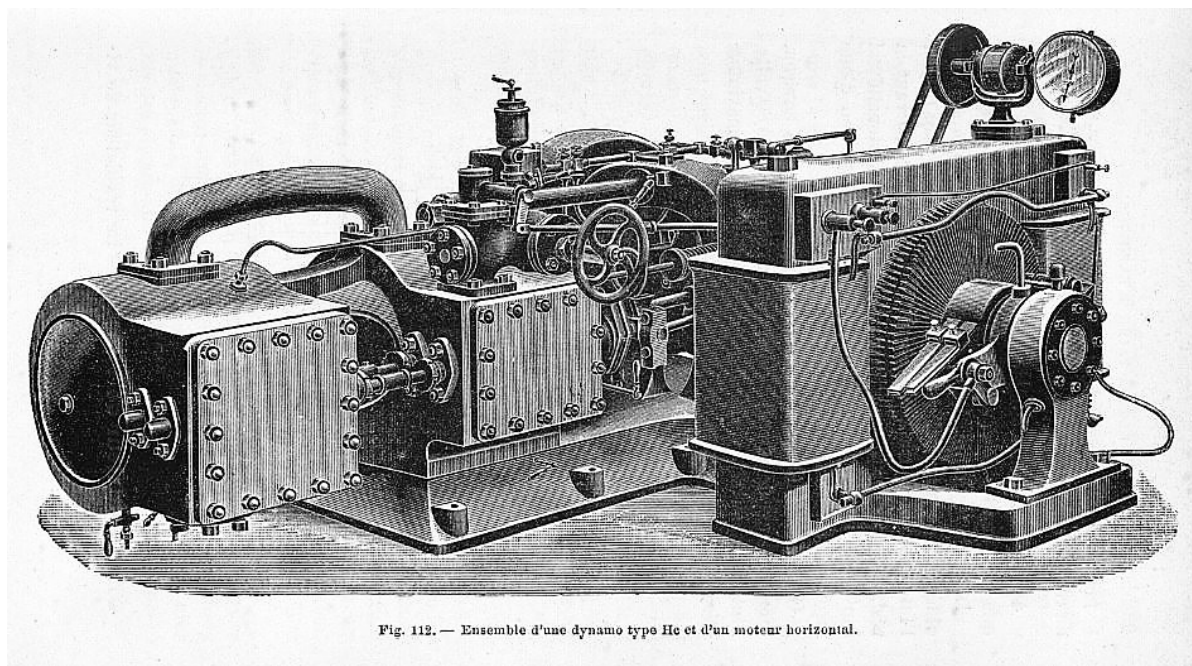


Illustration 134 : Moteur bi-cylindre tandem équipant une machine SAUTTER-LEMONNIER

Source: Henri LEBLOND, *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*, Berger-Levrault et Cie, 1896, p. 261

La dynamo GRAMME type Hc est bipolaire à excitation compound et elle délivre une puissance électrique nominale de l'ordre de 14 kW (70 Volts et 200 Ampères).

Les moteurs horizontaux sont préférés⁴¹⁴ aux moteurs verticaux pour les usages ponctuels mais intensifs que réclame le mouvement des tourelles. Les moteurs pilons verticaux sont dédiés au travail permanent, tel celui de l'éclairage du bord.

⁴¹⁴ Henri LEBLOND, *op. cit.*, 1900, p. 81.

Un autre moteur bi cylindre à axe horizontal est réalisé pour l'USNavy par ARMINGTON & SIMS ENGINE. Il équipe le croiseur *USS Yorktown* lancé en 1888, d'une longueur de 74 m et d'un déplacement de 1700 Tx. La hauteur de l'ensemble moteur à vapeur et dynamo reste déterminée par l'encombrement de la dynamo qui lui est couplée. Le volant d'inertie en bout d'arbre utilise au mieux l'espace imposé par les cotes de la dynamo. La vitesse de rotation nominale est de 400 t/mn, qualifiée de vitesse lente. Les deux pistons sont montés côte à côte, sur un même plan horizontal. Cette disposition est préférée à celle du moteur mono cylindre car les pièces mobiles sont mieux équilibrées et la régulation de vitesse est plus efficace. L'échappement est soit atmosphérique, soit via un condenseur. Les autres spécifications portent essentiellement sur la liaison mécanique des lignes d'arbre, qui doit être directe (sans courroie) et flexible malgré l'existence d'un bâti commun au moteur et à la dynamo. Un soin particulier est porté à la lubrification ainsi qu'au carter des cylindres.

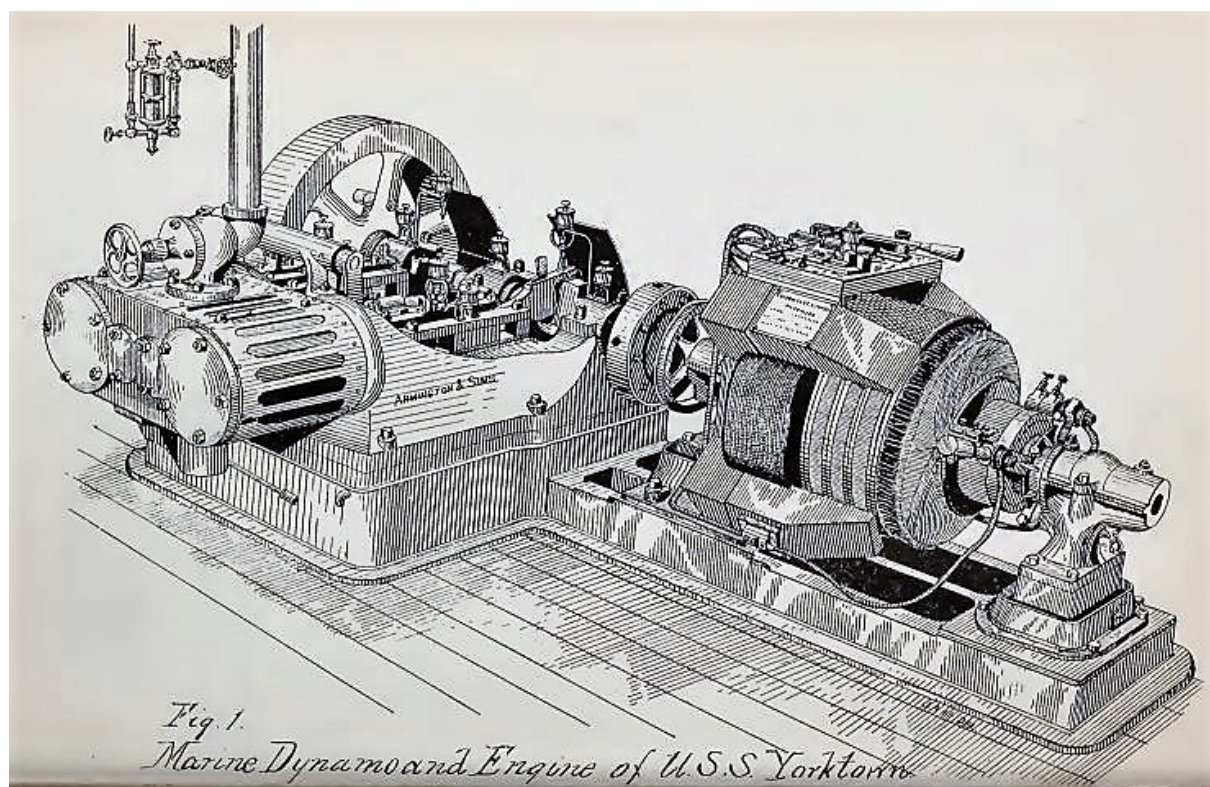


Illustration 135 : Moteur bi-cylindre ARMINGTON & SIMS ENGINE à faible hauteur

Source : *Naval mobilization and improvement in materiel*, Washington, Office of naval intelligence, 1889, p. 272.

La dynamo est une fourniture des usines EDISON. Elle est à deux paires de pôles à excitation compound et elle délivre une puissance électrique nominale de l'ordre de 8 kW (80 V et 100 A). La régulation de tension de la dynamo s'appuie sur la régulation de vitesse du moteur à vapeur. Un électricien est à poste devant les machines pour procéder aux nécessaires réglages manuels qui complètent les régulations en place. Ce poste est particulièrement inconfortable, la ventilation forcée ne parvenant pas à refroidir suffisamment le local.

Le moteur mono cylindre à axe vertical – système FEIN est adapté aux navires de taille modeste mais dont le projecteur électrique impose une source électrique puissante. Une machine mono cylindre est la plus simple configuration connue d'un convertisseur d'énergie thermique en énergie mécanique. La course du piston est de 170 mm pour un diamètre de 150 mm, soit un volume de détente de 800 cm³. La puissance mécanique est de 5,4 kW à 400 t/mn. Le régulateur de vitesse est à base d'un ressort : la variation de vitesse entre la marche à vide et la pleine puissance est de 3 t/mn, soit 1 %. Cette valeur permet aux journalistes de qualifier cette régulation de précise.

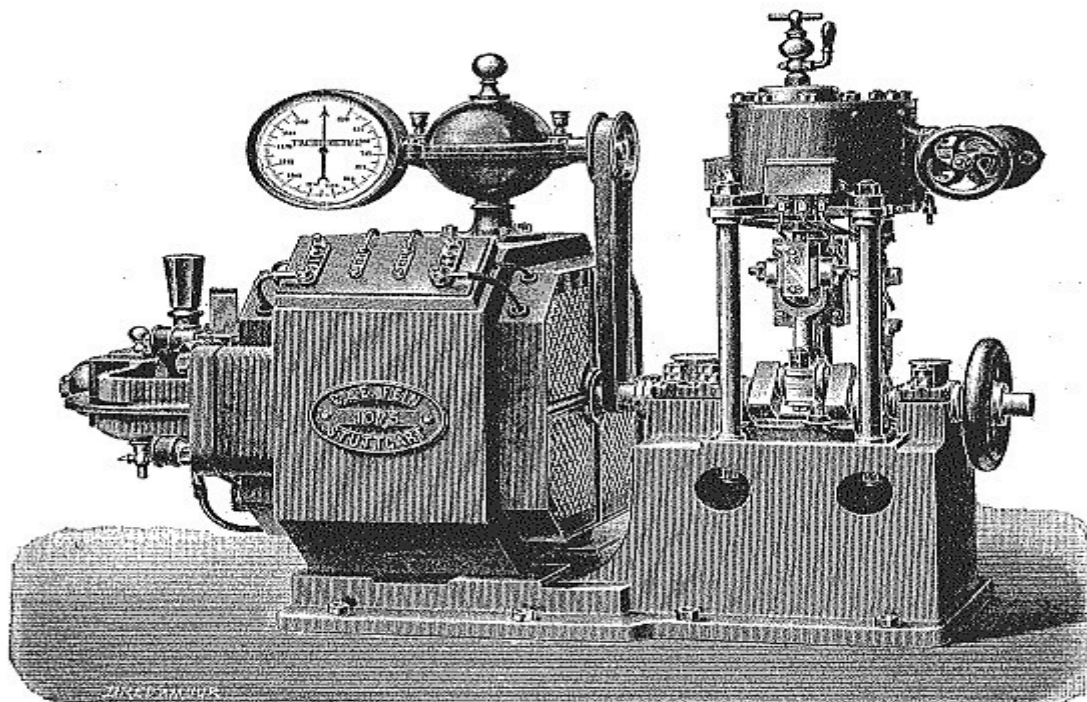


Fig. 2. — Dynamo à vapeur, type Fein, pour torpilleurs.

Illustration 136 : Moteur mono-cylindre de petite puissance

Source : *La lumière électrique - Tome 29*, Paris, 1893, p. 66

Ce matériel allemand est installé dans la marine hollandaise. De son côté la marine française opte pour un produit similaire dans sa conception mais avec quelques ajustements. Le piston du système DAEVEL a une course de 70 mm pour un diamètre de 100 mm, soit un volume de détente de 220 cm³ : la cylindrée de ce moteur est donc quatre fois plus faible que le précédent. La puissance nominale est de 3 kW à 950 t/mn : l'augmentation de la vitesse de rotation compense la faible cylindrée. Cette comparaison sommaire entre deux machines du même type souligne les possibilités multiples qui sont ouvertes aux ingénieurs pour optimiser la réponse technique aux demandes de leurs clients. Le moteur idéal est d'un faible poids, d'un faible encombrement, d'une exploitation simple et sûre, avec un rendement maximum de la vapeur consommée, sans oublier robustesse et maintenance aisée : la vitesse est un des paramètres possibles pour l'optimisation du rendement, mais cela ne doit pas pour autant dégrader la réponse aux autres exigences. En particulier, la dynamo a ses propres contraintes de vitesse et c'est le système technique moteur +dynamo qui doit être optimisé. Le démarrage d'un moteur mono cylindre est une particularité cinétique : le piston doit être positionné en point haut pour que la première injection de vapeur donne l'impulsion suffisante au volant d'inertie : la manivelle en bout d'arbre permet de recaler le cylindre du moteur pour son lancement.

Les moteurs bi cylindre à axe vertical sont des machines issues de l'expérience de la marine marchande. La Royal Navy s'appuie sur les connaissances acquises à la mer par la marine marchande, la flotte commerciale britannique étant celle de la plus grande puissance maritime de l'époque. L'Amirauté retient une vitesse de 320 t/mn, abandonnant la référence antérieure de 200 t/mn. Cette augmentation de vitesse autorise une réduction de la taille des dynamos sans altérer la robustesse mécanique de l'ensemble. Les deux cylindres sont à double-effet⁴¹⁵, la vapeur agissant alternativement sur les deux faces du piston. Le moteur BELLIS n'est pas capoté, les bielles et le vilebrequin sont apparents car le graissage des paliers se fait par gravitation à l'aide de petits réservoirs de lubrifiant placés au dessus de chaque palier.

Cet ensemble est implanté sur une série de sept cuirassés de la classe Royal-Sovereign dans les années 1891. Ces navires sont longs de 115 m pour un déplacement de 14 500 Tx.

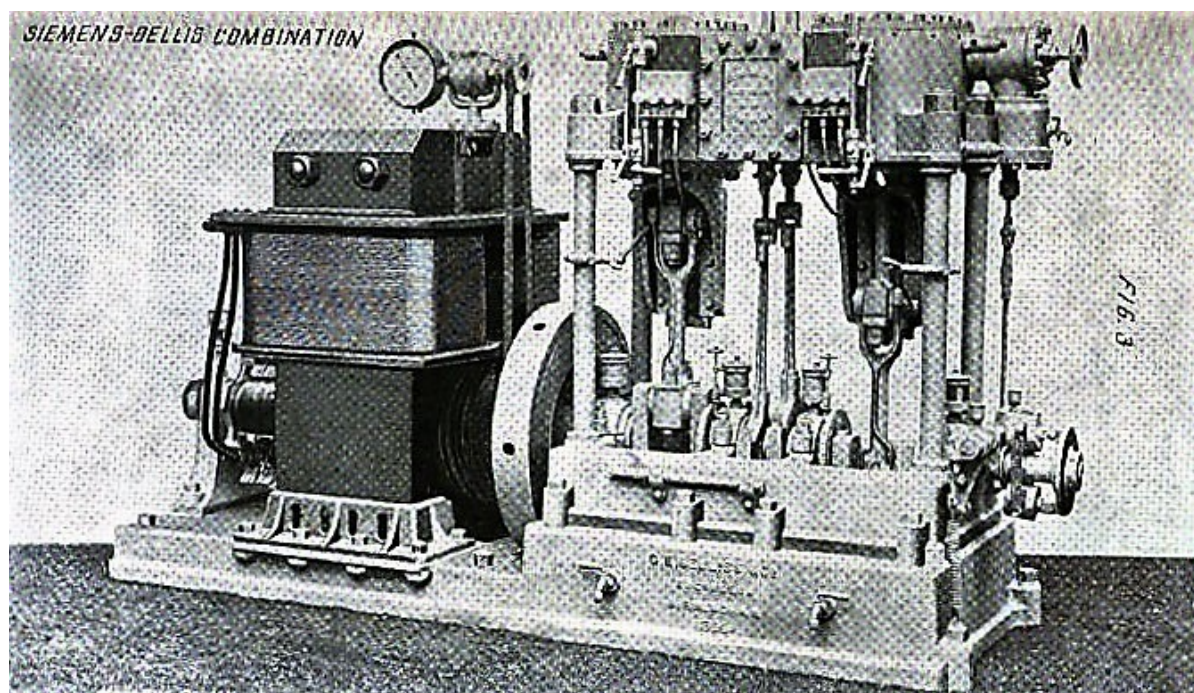


Illustration 137 : Moteur bi-cylindre à double effet , constructeur BELLIS

Source : *The year's naval progress*, Washington, Office of naval intelligence, 1891, p. 192.

L'US Navy compare les machines de quelques flottes et met en avant certains ratios d'efficacité. Les études menées sont multi-factorielles mais, malgré la volonté de croiser de nombreuses expériences, une solution optimum n'émerge pas. Les services d'intelligence de l'US Navy disposent pourtant de données sur plus de 30 équipements réalisés dans cinq flottes différentes. Un extrait de ce tableau est repris ci-après :

415 Dans le cas du cylindre simple effet, le tiroir referme la lumière d'entrée de la vapeur et du même côté ouvre une autre lumière d'échappement pour laisser s'échapper la vapeur contenue dans le cylindre. Le volant, par l'énergie cinétique accumulée, continue de tourner, repoussant ainsi le piston au point de départ.

Dans un cylindre à double effet, le tiroir ouvre, en plus, une lumière d'admission pour la vapeur de l'autre côté, elle repousse le piston qui continue sa poussée sur le volant. (
https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_à_vapeur)

Navire	Système technique	Puissance électrique en Kw	Vitesse t/mn	Poids lbs	Puissance/ Surface de plancher	Puissance/ Poids
France croiseur <i>Tonnerre</i>	Dynamo 4 pôles, 300 A Moteur vertical 1 cylindre	21	350	7 040	934	3
Royal Navy cuirassés <i>Royal-Sovereign</i>	Dynamo 2 pôles, 400 A Moteur vertical 2 cylindres, double action	32	320	11 480	1140	2,8

Les machines montent en puissance et délivrent 32 kW (400 Ampères sous 80 Volts). La dynamo SIEMENS ne comprend qu'une paire de pôles magnétiques, d'un encombrement assez conséquent : l'intensité du champ magnétique inducteur doit compenser à la fois la faible vitesse et le nombre minimaliste de pôles magnétiques. La définition d'une vitesse de référence est étudiée grandeur réelle, l'US Navy équipe le croiseur non protégé *USS Dolphin* lancé en 1884 avec un moteur tournant à 800 t/mn. D'autres options techniques sont réalisées et surveillées *in situ* pour pouvoir conclure sur leur opportunité effective : cela concerne principalement des moteurs à pistons à double effet et des moteurs compound. La pratique précède la doctrine qui se cherche et reste évolutive.

L'étude de l'US Navy souligne, entre autres, l'intérêt des dynamos multipolaires car le champ magnétique externe est modéré et la vitesse de rotation reste de l'ordre de 300 à 400 t/mn. A puissance équivalente, doit-on privilégier la faible surface mobilisée ou le poids le plus faible? L'exemple du tableau comparatif ci-dessus semble indiquer que les choix des marines britannique et française diffèrent, encore que les performances des deux systèmes ne peuvent pas se résumer à deux ratios. C'est donc une information isolée dont il faut se garder de déduire une conclusion hâtive. On observe toutefois que les deux options se fertiliseront mutuellement pour donner des machines verticales multi-cylindres couplées à des dynamos multi-pôles.

2 - Le moteur compound, jalon vers la turbine.

Le moteur compound (dont l'origine anglaise signifie « *mélangé* » ou « *composé* ») est un moteur à vapeur à expansion multiple, c'est-à-dire que la vapeur se détend successivement dans au moins deux étages de cylindres en cascade : la vapeur issue du cylindre haute pression se détend à son tour dans un cylindre basse pression jusqu'à la pression d'échappement. Cette détente mélangée en plusieurs étages permet d'exploiter au mieux l'énergie de la vapeur tout en limitant la phase de détente au niveau de chaque cylindre : cette expansion réduite refroidit moins la vapeur, ce qui est bénéfique au rendement global de la machine.

Le compoundage améliore les performances énergétiques au prix d'une plus grande complexité mécanique. C'est une réponse thermodynamique à la forte consommation en charbon des moteurs. Pour un navire militaire, le combustible est une contrainte qui affecte directement son potentiel tactique : d'une part, le stock de combustible prend la place d'un armement et d'autre part, le rayon d'action du navire est bridé par les réserves embarquées et les possibilités de réapprovisionnement dans des ports. Un moteur performant au sens de la conversion d'énergie, fut-il complexe et robuste, est donc un appareil qui répond exactement aux attentes des marines militaires. Les moteurs à vapeur compound sont à deux ou trois cylindres en cascade, seuil maximum d'une complexité mécanique réaliste au sens de l'adaptation incrémentale de cette technologie.

La machine ci-contre est un exemple de complexité mécanique sans suite. Plus simple, les moteurs compound à triple détente avec trois cylindres en ligne feront école et perdureront au-delà du second conflit mondial.

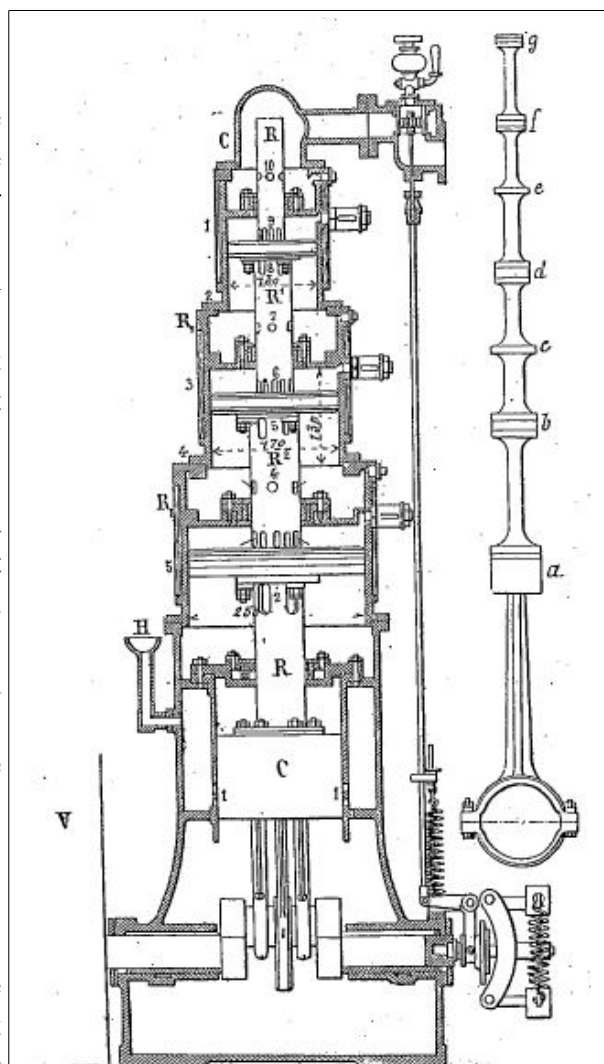


Illustration 138 : Moteur compound vertical

Source : Benjamin MARTINENQ, *Aide-mémoire du constructeur de navires*, 1901, p. 973.

Source : Benjamin MARTINENQ, *Aide-mémoire du constructeur de navires*, 1901, p. 973.

La détente dans les turbines à vapeur constitue le saut technique suivant et les turbines connaîtront les mêmes adaptations incrémentales avec plusieurs étages de détente : haute, moyenne et basse pression. Le terme de compound ne s'emploie pas pour les turbines à vapeur.

Les moteurs bi cylindres compound sont des machines qui comprennent de nombreuses déclinaisons dont l'énumération n'est pas l'objet de cette annexe. Leur caractéristique commune est le double étage de détente avec des diamètres de piston nettement distincts. L'angle des différents manetons du vilebrequin pilote les tiroirs et donc le séquençement des phases d'admission et d'échappement de la vapeur. Le débit amont de vapeur assure l'essentiel du réglage de la vitesse autour du point fixe de consigne. Ces machines sont plus simples que les moteurs à vapeur de propulsion car ces derniers fonctionnent sur une plage étendue de vitesses, y compris avec parfois une inversion du sens de rotation. Les moteurs de dynamos n'ont qu'un sens de rotation et une vitesse de consigne : ce sont donc des machines plus simples.

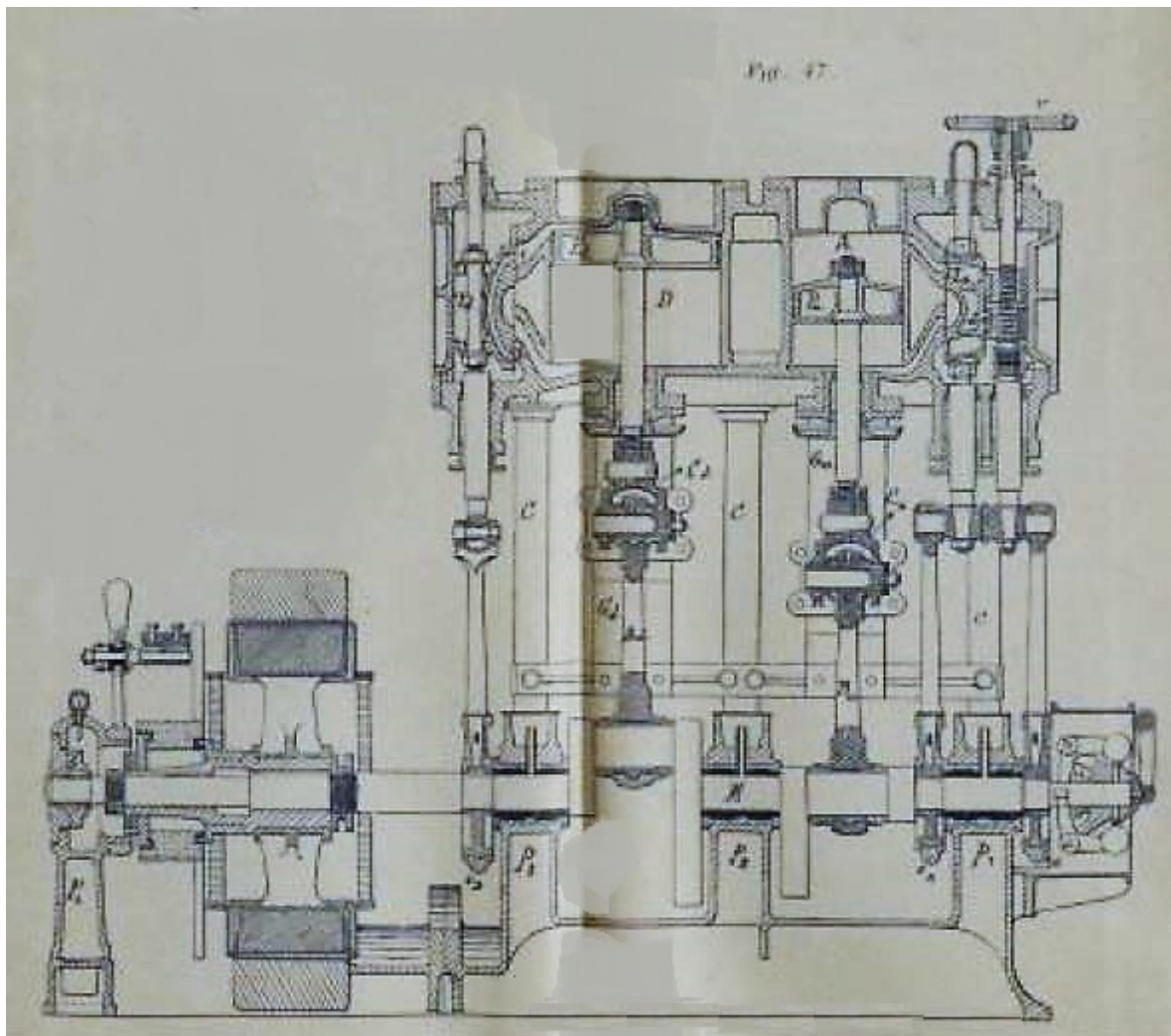


Illustration 139 : Moteur compound horizontal à deux cylindres

Source : *Manuel du mécanicien torpilleur-Première édition - 2e et 3e Partie - Pompes de compression, Appareils photo-électriques*, France, Ministère de la Marine, 1890, Pl. XIV

3 - La turbine à vapeur

La turbine à vapeur est une machine thermodynamique qui convertit la pression de la vapeur en un mouvement de fluide dont la vitesse déplace des ailettes en donnant un mouvement rotatif. Le croiseur italien *Dogali*, construit en 1885 et long de 76 m, est équipé de trois machines AMSTRONG destinées à la production d'électricité. Ces turbines tournent à 9000 t/mn entraînant directement les génératrices. Les dynamos PEARSON délivrent chacune 125 Ampères sous 80 Volts, soit environ 10 kW. Ces trois génératrices alimentent deux projecteurs de 15000 bougies et 150 lampes SWAN de 16 bougies.

*Plant of Italian Cruiser "DOGALI."
(3 Sets.)*

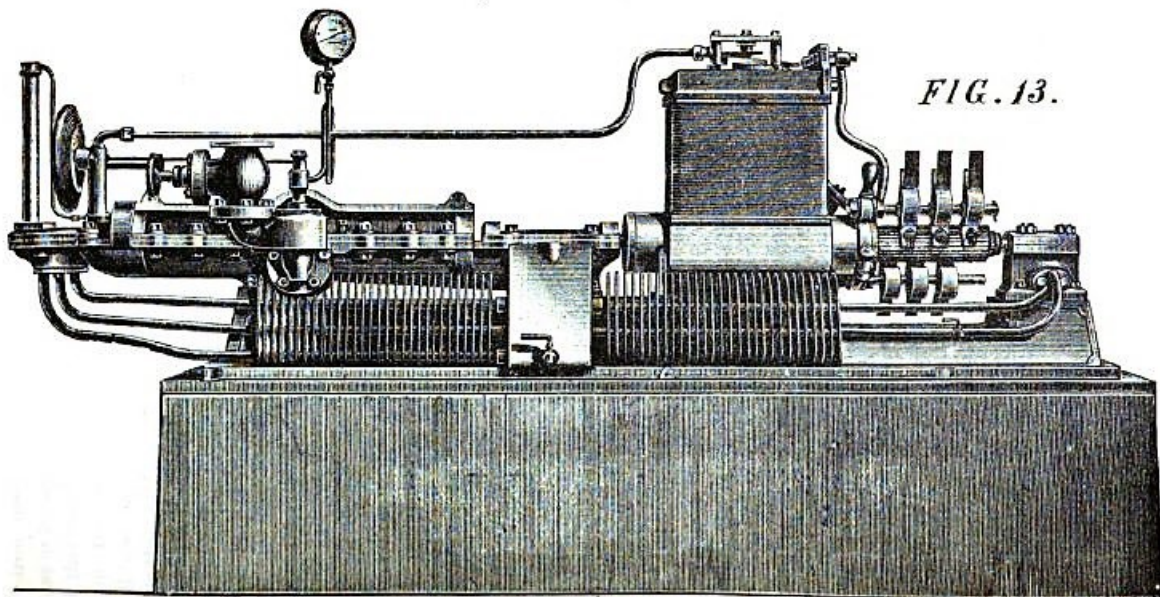


Illustration 140 : Turbine à vapeur AMSTRONG

Source : Naval reserves, training and materials, US Navy-Office of naval intelligence, 1888, p. 210

Ce type de machine séduit par sa compacité et son poids de seulement 450 kg, alors que des machines de puissance similaire ont un poids souvent triple. Du strict point de vue électromagnétique, cette machine tourne 9000 t/mn, soit environ 20 fois plus vite qu'un moteur pilon : ceci permet de réduire d'autant le champ inducteur et donc de diminuer la taille du circuit magnétique. Néanmoins, les turbo-dynamos ne font pas école immédiatement, très probablement pour des raisons de fiabilité de leur mécanisme et de leur régulation. Par contre, la turbine à vapeur est une machine thermodynamique qui correspond bien aux besoins de la propulsion, sous réserve de vitesse plus lente et d'adaptation des machines aux variations de régime. La robustesse des trains d'engrenage pour la propulsion directe est un écueil important à la fin du XIX^e siècle.

L'ingénieur suédois DE LAVAL imagine de détendre la vapeur au moyen d'une tuyère afin de transformer efficacement la pression de vapeur en vitesse. Pour une pression amont de 6 atmosphères / bars, le jet de gaz atteint la vitesse de 775 m/s avec un échappement à l'air atmosphérique, et jusqu'à théoriquement 1120 m/s si la détente se fait dans un condenseur à 0,1 bars. La vitesse de rotation de la turbine est donc très élevée, mais en pratique elle est limitée à 3000 t/mn. Un réducteur à engrenages est intercalé entre la turbine et la dynamo.

Les performances de ces machines présentent de nombreux attraits :

- une consommation réduite de vapeur,
- un ratio poids / kW faible,
- un encombrement relativement modeste.

Ainsi en 1901, une turbo-dynamo de 75 Cv, soit 66 kW, tourne à 1360 t/mn. Son encombrement est de 2,78m de longueur et 1,7m de largeur pour 1,65 m de hauteur. Ce type de turbine ne comporte qu'une roue et un seul étage de détente., dispositif peu complexe et mécaniquement relativement robuste. Les gains de performance viendront avec des roues à étages multiples.

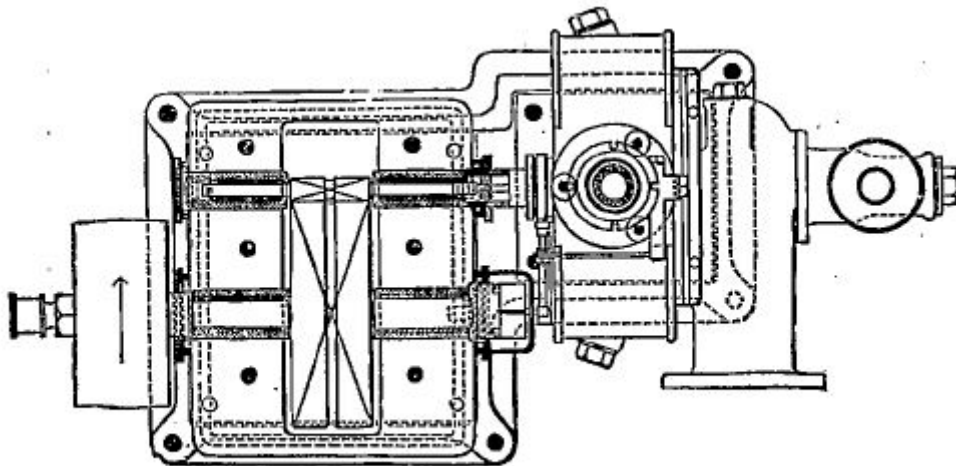


Fig. 463. — Coupe horizontale de la turbine Laval.

Illustration 141 : Turbine à vapeur mono étage constructeur DE LAVAL

Source : Benjamin MARTINENQ, *Aide-mémoire du constructeur de navires*, 1901, p. 975.

Alors que la turbine DE LAVAL est commercialisée par la maison BRÉGUET, la maison concurrente SAUTTER-LEMONNIER construit en France des turbo-dynamos PEARSON. Les machines s'échelonnent en sept puissances, jusqu'à 25 kW. Selon la puissance, la turbine comprend une à trois roues, toutes de diamètre quasi identique : il n'y a qu'un seul étage de détente.

Un soin particulier est apporté à la lubrification des pièces tournantes. Alors que les moteurs à vapeur sont lubrifiés par écoulement gravitaire d'huile, la circulation d'huile dans ces turbines a lieu par dépression d'air⁴¹⁶. L'huile est aspirée d'un réservoir bas, puis distribuée dans les coussinets des paliers par une pompe à vis et retourne ensuite au réservoir. Cette circulation forcée est indispensable pour la préservation des paliers qui sont soumis à des vitesses de rotation importantes, de l'ordre de 10 000 t/mn.

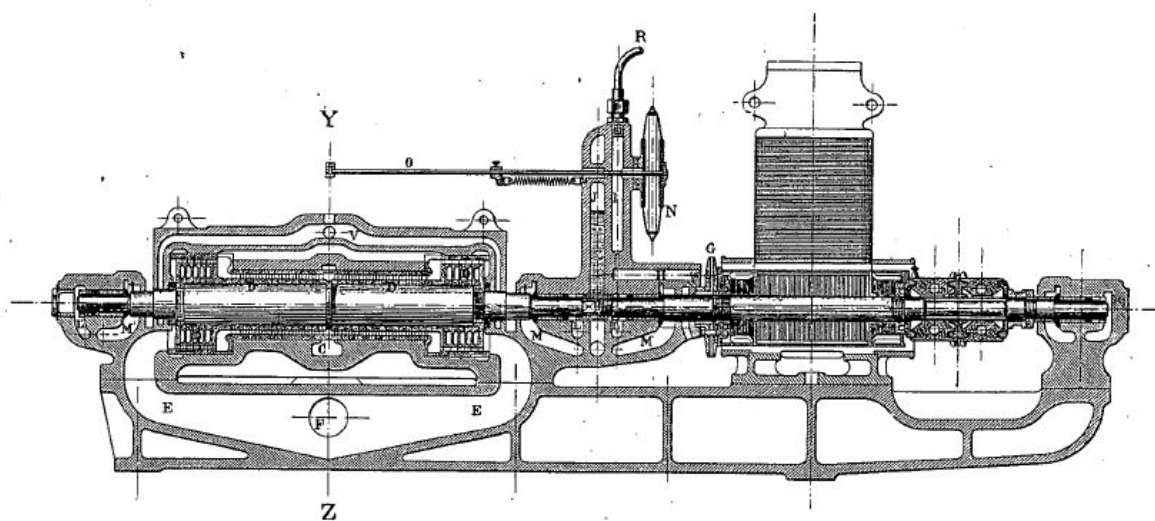


Illustration 142 : Turbo-dynamo SAUTTER-LEMONNIER

Source : Louis CALLOU, *Électricité pratique : cours professé à l'école supérieure de maistrance de Brest*, 2^{de}-revue et corrigée édition, Paris, Librairie Maritime et Coloniale, 1897, p. 139

Malgré les avantages de compacité très appréciés à bord, ces turbo-dynamos sont des machines encore délicates et qui consomment une « *très grande quantité de vapeur* ». Ces critères sont peu compatibles avec les attentes de la flotte et leur emploi est donc abandonné par la Marine.

⁴¹⁶ Louis CALLOU, *Électricité pratique : cours professé à l'école supérieure de maistrance de Brest*, 2^{de}-revue et corrigée édition, Paris, Librairie Maritime et Coloniale, 1897, p. 141.

Un saut technologique se produit avec la réalisation de l'USS *Jupiter* en 1909, premier navire militaire de surface à propulsion électrique. Les autres essais militaires de propulsion électrique étaient des démonstrateurs, de petits navires de la taille de chaloupe. La propulsion électrique des sous-marins fait partie du concept même du sous-marin qui n'est pas comparable avec le paradigme de la flotte de surface. L'USS *Jupiter* est un prototype⁴¹⁷ dont la construction vise à pouvoir comparer les performances de trois modes de propulsion : le moteur électrique, la turbine à vapeur et le moteur diesel.

Navire militaire, l'USS *Jupiter* est un transport de charbon de 158 m de long et d'un déplacement de 19 000 Tx : c'est donc un essai grandeur réelle que réalise l'US Navy, les ordres de grandeurs de ce navire sont comparables à ceux d'un cuirassé. La problématique de l'histoire de la propulsion électrique est parfaitement détaillée dans l'ouvrage⁴¹⁸ de Pascal ROBERT. Il s'agit ici de pointer le premier usage significatif dans une flotte militaire d'une turbo-génératrice électrique en courant alternatif.

Une turbine à vapeur fournit la puissance mécanique pour entraîner la génératrice d'une puissance de 5 450 kW. Un facteur 20 sépare ce type de turbo-génératrices dédiées à la production d'électricité pour les moteurs de propulsion des génératrices usuelles du bord.

La turbine est à neuf étages de détente et tourne à 1990 t/mn. La génératrice accouplée directement à la turbine délivre un courant alternatif à 33 Hz sous 2300 Volts.

GENERAL ELECTRIC réalise un système intégré complet pour l'ensemble turbo-générateur / moteur de propulsion, un ensemble équipant chaque ligne d'arbre du navire.

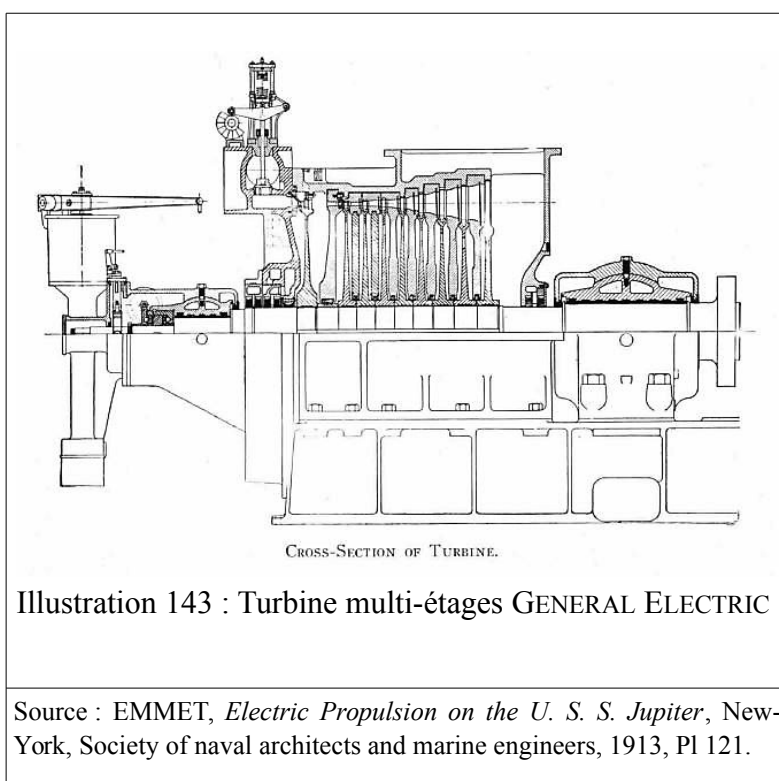


Illustration 143 : Turbine multi-étages GENERAL ELECTRIC

Source : EMMET, *Electric Propulsion on the U. S. S. Jupiter*, New-York, Society of naval architects and marine engineers, 1913, Pl 121.

Cette percée du turbo-générateur alternatif de puissance reste toutefois sans suite pour les flottes militaires au-delà du second conflit mondial. La transformation de cet essai néanmoins réussi passe après d'autres priorités tactiques et stratégiques, l'aéronavale et la sous-marine, entre autres.

417 ROBINSON, *op. cit.*, 1914, p. 191.

418 Pascal ROBERT, *op. cit.*, 2008.

4 - Le moteur à combustion, type Diesel.

Les moteurs diesels sont des convertisseurs directs d'un carburant en énergie mécanique, sans utiliser de fluide autre que les gaz de combustion. Le moteur diesel séduit rapidement les marines marchandes et les flottes militaires, car le carburant est un produit liquide, d'une logistique plus aisée que le charbon tout en présentant une bonne sécurité face à l'incendie, son point d'éclair étant relativement élevé.

Dès 1901⁴¹⁹, à la demande de la Marine, la maison SAUTTER -HARLÉ étudie une génératrice diesel pour la propulsion des sous-marins. Le savoir-faire de la marine sur la motorisation diesel se constitue et se capitalise dès cette date.

Les navires militaires de surface réservent généralement au moteur diesel le rôle d'un générateur de secours, son fonctionnement étant indépendant des autres contingences du bord. L'approvisionnement en combustible est distinct des soutes à charbon, son refroidissement ne dépend pas d'un condenseur, sa mise en route peut s'effectuer avec un réservoir d'air comprimé. La taille des génératrices diesel peut éventuellement répondre à la consommation du navire au mouillage, s'il ne dispose pas de chaudière auxiliaire.

Un navire comprend plusieurs échelons de production électrique dont des sources de secours : la dynamo-diesel prend le relais en cas d'avarie des génératrices principales du bord. Les fonctions assurées dans ce cadre sont alors extrêmement restreintes.

A titre d'exemple, le croiseur *Emile BERTIN* est équipé de deux turbo-dynamos de 266 kW et de deux groupes électrogènes diesel de 100 kW. Ces dernières machines sont à l'arrêt en marche normale et ne participent pas à la production du bord.

419 Dominique BRISOU, *op. cit.*, 2007, p. 111.

Annexe 3 - Des génératrices électriques

1. - La conversion d'énergie mécanique en électricité	268
2. - Les génératrices à courant alternatif	269
3. - Les génératrices à courant continu	270
3.1 - Une évolution de l'inducteur	270
3.2 - Le rotor et ses collecteurs	273
3.3 - Les principes d'excitation : série, shunt et compound	274
3.4 - Les machines à excitation compensée externe	275
3.5 - Les machines à redresseur de champ	275

Comme pour les moteurs à vapeur, cette annexe donne quelques exemples de machines génératrices de la période. Cette présentation non exhaustive ne reprend pas les catalogues des différents fabricants, mais elle vise à souligner les principales voies explorées. Face à un champ technologique à défricher, de nombreuses options techniques sont testées pour les génératrices d'énergie électrique. Chaque nouvelle machine est un « prototype industrialisé », dont les performances et les limitations sont observées par tous les acteurs du microcosme naval.

La mondialisation industrielle est réelle, les fabricants ont des clients dans toutes les flottes avec parfois des configurations surprenantes : SIEMENS équipe ainsi la Royal Navy. Le commerce international semble peu contraint par les contrôles douaniers, certains matériels à finalité guerrière passent les frontières sans difficulté. Le contexte des flottes militaires agit à la fois comme un réducteur du mouvement brownien (les marins restent prudents car le milieu maritime ne pardonne pas les approximations) et comme un stimulateur d'innovations, les armées souhaitant avoir autant que possible au moins une technologie d'avance sur leurs adversaires.

Le choix des génératrices présentées ci dessous montre que les convertisseurs électromécaniques sont toujours en recherche exploratoire, leur capacité restant à apprécier en situation.

La vitesse nominale de rotation d'une génératrice est une donnée fondamentale, car elle dimensionne les variations de flux électromagnétique, source de la force électromotrice. Les concepteurs de machines électriques expérimentent donc plusieurs moyens pour obtenir une importante variation de flux magnétique, chaque idée devant être confrontée aux limites concrètes du moment.

Obtenir un flux magnétique dépend essentiellement du bobinage électrique et du noyau magnétique de la machine. D'un côté, le bobinage électrique est le siège du courant : sa forme vise à concentrer le champ inducteur mais une compacité trop importante des spires restreint le refroidissement du métal conducteur, au détriment de l'isolant des fils. D'un autre côté, le noyau magnétique guide les lignes de flux créées par le bobinage : les qualités des matériaux ferromagnétiques sont déterminantes et la géométrie du noyau concentre la densité du flux dans les endroits privilégiés des machines.

1 - La conversion d'énergie mécanique en électricité

Face à la créativité technique des constructeurs de machines électriques, la comparaison des solutions proposées pose de nombreuses questions. En premier lieu, l'offre des fabricants domine alors que les clients militaires peinent à structurer leurs exigences. Le consensus entre les différentes parties prenantes se construit progressivement, sur la base de l'expérience cumulée.

L'US Navy s'essaie en 1888 à une présentation synthétique de 23 dynamos. Pour chaque machine, cinq informations sont affichées : la puissance délivrée, la vitesse de rotation, le poids, le ratio Puissance/Poids et le pays de fabrication. Au delà du classement qu'offre ce tableau, l'approche semble privilégier l'optimum Puissance/Poids. Cette préoccupation est parfaitement cohérente dans le contexte des flottes qui voient s'envoler le tonnage des cuirassés. Toute optimisation du poids embarqué est un facteur favorable.

Dynamo.	Output in watts.	Revolutions.	Weights in pounds.	Watts, per pound.	Manufacture.
Manchester No. 6.....	9,000	350	2,464	3.65	English.
Victoria H.....	36,000	350	3,700	9.7	Do.
Siemens & Halske.....	16,000	350	1,980	8.1	German.
Weston.....	16,000	390	5,860	2.7	American.
Manchester No. 7.....	22,500	400	4,928	4.6	English.
Victoria F.....	21,600	400	2,500	8.6	Do.
Edison-Hopkinson.....	39,600	420	11,700	3.4	Do.
Gramme Hd. 225.....	23,600	450	2,860	8.3	French.
Crompton 22 110 J.....	24,750	550	4,144	6.0	English.
Manchester 6 A.....	25,000	550	3,700	6.75	Do.
Bradley.....	*10,000	550	1,025	9.75	American.
Victoria D 2 S.....	8,400	600	1,250	6.72	English.
Gramme H Ic 200.....	14,000	600	2,200	6.4	French.
Ganz.....	50,400	670	5,500	9.2	Hungarian.
Edison No. 20.....	50,000	800	9,800	5.1	American.
Brush H.....	66,000	850	7,000	9.4	Do.
Hochhausen No. 8.....	35,200	1,000	4,000	8.8	Do.
Weston 6 W I.....	11,500	1,050	2,800	4.1	Do.
Brush G.....	28,300	1,050	3,025	9.3	Do.
Edison No. 12.....	30,000	1,200	4,340	6.9	Do.
Thomson E I.....	13,200	1,250	2,255	5.8	Do.
Mather (400 light).....	28,100	1,300	4,000	7.0	Do.
Thomson C I.....	6,000	1,550	1,075	5.6	Do.

* Approximate.

Illustration 144 : Tableau comparatif de 23 dynamos en 1888

Source : US Navy Naval Intelligence 1888 p192

Les dynamos sont classées par vitesse croissante. Le tableau ne porte que sur trois données brutes : le poids, la vitesse et la puissance .

L'auteur observe que les machines les plus puissantes tournent à vitesse lente, comme les autres moteurs du bord. Les mécaniciens restent ainsi en terrain connu, mais c'est au détriment du ratio poids/puissance.

La nature de la carcasse du circuit magnétique est un point d'amélioration bien identifié par l'US Navy.

Dès 1891, l'US Navy affine sa présentation⁴²⁰. Les dynamos sont réparties en trois catégories : les petites génératrices de moins de 10 kW, les génératrices intermédiaires de 10 à 20 kW et les machines de forte puissance. Ces segments de puissance correspondent à une réalité factuelle, car la structure d'un équipement n'est pas homothétique à sa puissance. Un ratio complémentaire apparaît : la puissance/surface d'emprise au sol. Cette exigence nouvelle est tout à fait révélatrice des liens entre marine et industrie, d'aucuns diraient des liens entre l'attente du client et l'offre de l'ingénierie. Les autres exigences du service à la mer doivent également être prises en compte, comme le régime de marche bien en dessous de la puissance

420 HUTCHINS, *Electricity on shipboard*, Notes on naval progress, Office of naval intelligence, 1891, p. 191.

nominale, la vitesse variable du moteur d'entraînement et les régimes exceptionnels de surcharge.

C'est donc au travers d'optimisations incrémentales que les flottes guident l'évolution des technologies embarquées vers les performances qui répondent le mieux au contexte du moment, ou plus exactement à la perception et à la modélisation qu'elles s'en font.

La technologie et les matériaux évoluent et dès 1902, l'US Navy⁴²¹ constate que le remplacement de la fonte par de l'acier moulé réduit de 30 % le poids des machines.

Au-delà des critères physiques de poids / vitesse et encombrement, la forme de restitution de l'énergie est déterminante. Dans le cas présent, alors que le phénomène électromagnétique est commun à toutes ces machines, deux options sont possibles : une restitution « brute » en courant alternatif ou une restitution « travaillée par une commutatrice intégrée » en courant continu. Ces deux options sont déployées sur la période 1880 – 1935, le courant continu ayant toutefois le rôle principal à l'inverse des systèmes électriques à terre.

2 - Les génératrices à courant alternatif

En février 1868⁴²², la frégate-cuirassée *L'Héroïne* expérimente une machine magnéto-électrique à courants non redressés, machine construite par la compagnie ALLIANCE. Tournant à 350 t/mn, elle délivre 150 becs Carcel. Cet équipement lourd et volumineux (bâti en fonte de 1,2 m de haut pour 1,5 m de long) donne satisfaction. Une représentation de cet ensemble est disponible au chapitre 1.2 (illustration n° 13).

Un autre essai de générateur à courants non redressés est mené avec *Le Fulminant*⁴²³, cuirassé garde-côte de première classe, lancé en 1877. Ce cuirassé côtier d'une longueur de 76 m et d'un déplacement de 5800 Tx est rattaché à la classe Tonnerre qui comprend trois exemplaires. Il est doté de plusieurs génératrices : une dynamo duplex à anneau GRAMME, deux machines GRAMME et une machine magnéto-électrique MÉRITENS. Cette dernière est un générateur de courant alternatif qui alimente une partie de l'éclairage à incandescence extérieur en 25 Volts. Pour fiabiliser cet éclairage extérieur, les lampes peuvent aussi être raccordées aux dynamos débitant en 70 Volts. Cela nécessite d'intercaler des résistances supplémentaires dans le circuit, ce qui rend l'installation « compliquée ».

Après cet essai du courant alternatif, la Marine abandonne cette source de puissance pour ses systèmes électriques à bord des bâtiments. Les seuls usages ponctuels concernent les répéteurs de compas gyroscopiques, puis les répéteurs de télécommande. Comme vecteur énergétique, le courant alternatif entre en sommeil pour plusieurs décennies.

421 *Notes on naval progress*, Washington, Office of naval intelligence, 1902, p. 305.

422 A. TREVE, *Etude sur les machines magnéto-électriques*, Paris, Revue Maritime et coloniale, Tome 23, 1868, p. 951-961.

423 P. MINEL, *Electricité appliquée à la marine*, Gauthier-Villars et fils, 1904, p. 191.

3 - Les génératrices à courant continu

Quelques définitions

Une dynamo est une machine tournante dont la partie fixe est appelée stator. Cette partie immobile comprend un bobinage électrique, l'inducteur, qui produit un champ électromagnétique. Le stator est un ensemble métallique qui concentre le champ magnétique dans l'espace de rotation de la partie mobile, appelée rotor. Le rotor comporte un bobinage électrique, siège du courant induit par la combinaison du mouvement de rotation et du champ inducteur.

3.1 - Une évolution de l'inducteur

La dynamo de GRAMME est un dispositif qui répond à cette description fonctionnelle sommaire. Les premières machines ont un inducteur directement issu des laboratoires, d'une forme en fer à cheval très caractéristique. Pour intensifier le champ magnétique entre les pôles, plusieurs axes sont travaillés : l'enroulement des bobinages sur des noyaux de fonte, la forme de l'induit, puis par l'enchevêtrement des conducteurs et le nombre de pôles.

Ce modèle SAUTTER type H comprend deux électro-aimants verticaux réunis par deux masses polaires servant de bâti à la dynamo. L'inducteur est massif et robuste.

L'induit est un anneau GRAMME. Les balais sont partagés en deux groupes placés à 180° l'un de l'autre. Les porte-balais sont fixés à un collier qui permet de changer leur calage par un mouvement d'ensemble. Chaque balai est appuyé sur le collecteur par un ressort.

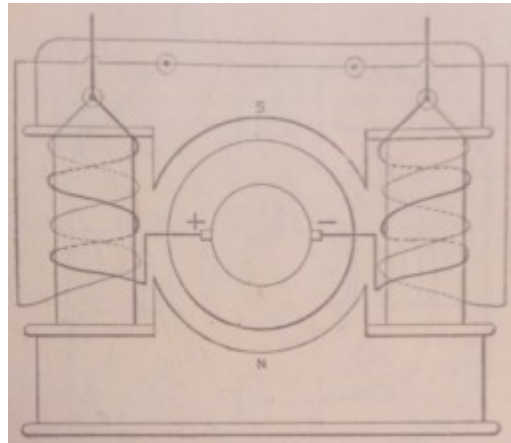


Illustration 145 : Dynamo type H

Source : Manuel du marin électricien 1918, p 53

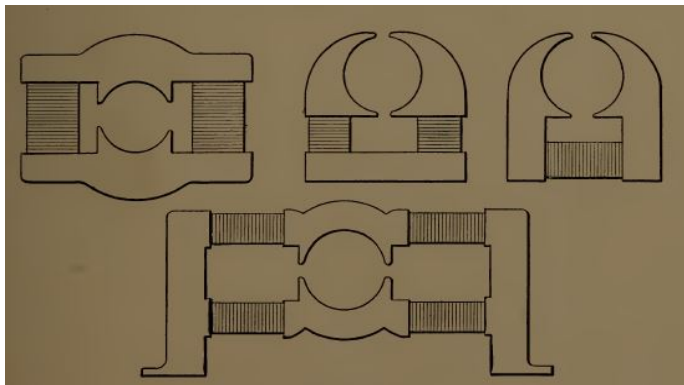


Illustration 146 : Formes de masses polaires

Source : Samuel SHELDON, *Dynamo electric machinery*, New-York, Van Nostrand Company, 1900,p33.

La structure de l'inducteur et de ses deux masses polaires connaît plusieurs designs.

L'évolution ci-contre reste dans le plan vertical, perpendiculaire à l'axe de rotation. L'étape suivante déplace les bobines parallèlement à cet axe.

L'inducteur ci-dessus ne comprend qu'une paire de pôles, Nord et Sud. Rapidement, pour un même encombrement de stator, le bobinage se complexifie et aboutit à un inducteur multipolaire. Les variations du flux inducteur résultent donc d'un mouvement et d'une géométrie des pièces. Ainsi, pour une vitesse de rotation identique, une machine à une paire de pôles magnétiques (un positif et un négatif) a une variation de flux deux fois moins importante que la même machine dite « duplex » avec deux paires de pôles magnétiques. La géométrie de la carcasse magnétique fixe permet d'augmenter le nombre de pôles, mais avec une contrainte d'encombrement.

La dynamo multipolaire de la SOCIÉTÉ ALSACIENNE est une machine dont le stator comprend deux paires de pôles. Cette configuration est très caractéristique, le nombre pair de pôles saillants est facilement identifiable.

Ce modèle donne 300 A sous 80 V, soit une puissance de 24 kW.

Cette machine est installée sur le *Dupuy-de Lôme*, croiseur cuirassé lancé en 1887.

La carcasse métallique est cylindrique mais les bobinages sont saillants, une partie de l'espace intérieur est inexploité. Cette enveloppe externe annonce l'imbrication des bobinages dans le bâti, ce dernier jouant alors le rôle de circuit magnétique.

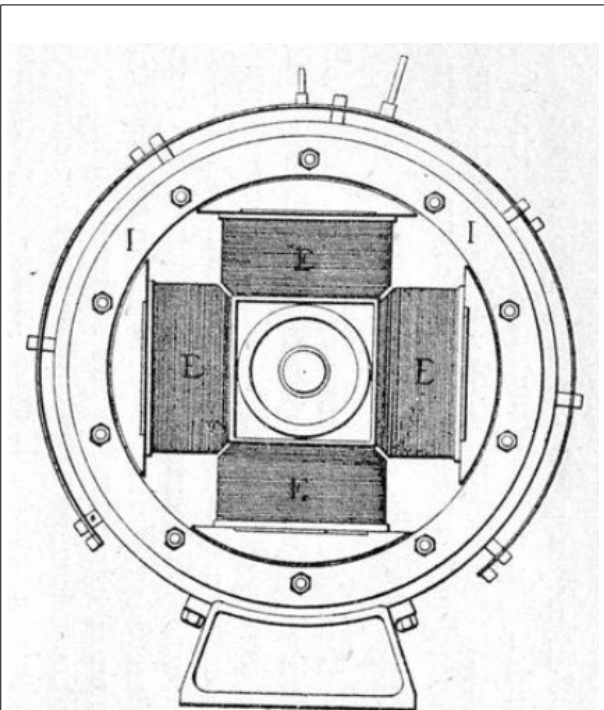


Illustration 147 :Dynamo multipolaire

Source : Henri LEBLOND, *Complément du cours d'électricité*, Ministère de la Marine, 1900, p. 17.

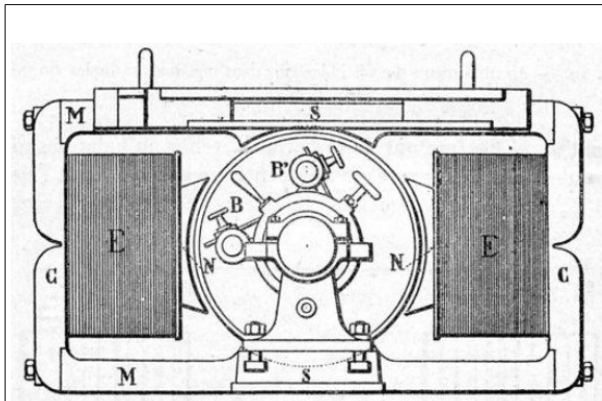


Illustration 148 : Dynamo duplex Bréguet

Source : Henri LEBLOND, Complément du cours d'électricité, Ministère de la Marine, 1900, p. 13,

Le stator de la machine ci-contre demande une lecture attentive. En effet, les bobinages EE' sont horizontaux et correspondent à deux pôles Nord. Les flux magnétiques de l'inducteur ne sont créés que par deux électro-aimants.

Les deux autres pôles Sud sont verticaux et ne portent pas d'électro-aimants : ce sont des masses polaires qui servent aussi de carcasse à la machine.

Les quatre masses polaires enveloppent le rotor.

Cette configuration réduit la hauteur de la machine.

A terme, les bobinages et le circuit magnétique du stator seront imbriqués dans une forme cylindrique.

Cette dynamo BRADLEY comprend trois paires de pôles parfaitement saillants. Son absence de capotage et l'entraînement du rotor par une courroie plate la rendent inapte à une installation sur un navire.

Toutefois, ce dispositif a retenu l'attention des officiers de renseignement de l'US Navy, car l'augmentation du nombre de pôles du stator autorise une réduction de la vitesse de la machine.

A ce titre, c'est donc une voie qui mérite une investigation. Cette adaptation incrémentale sera intégrée ultérieurement sous une autre forme.

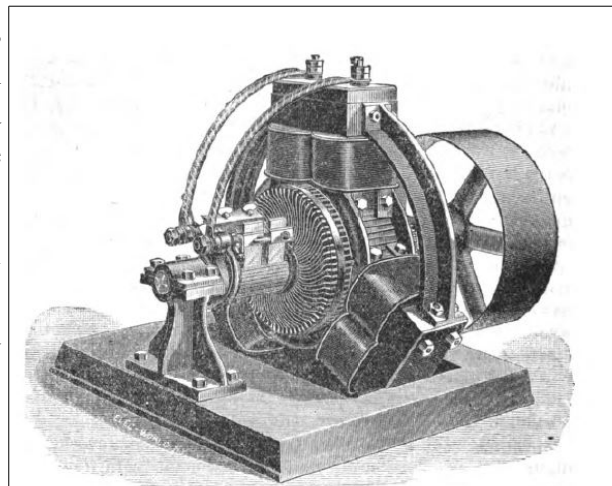


FIG. 6.—Bradley Multipolar Dynamo.

Illustration 149 : Dynamo « triplex »

Source : Naval reserve, training and materials, Washington, Office of naval intelligence, 1888, p. 194.

3.2 - Le rotor et ses collecteurs

Le raisonnement précédent relatif à la géométrie est décliné sur la partie tournante de la machine, le rotor. Ainsi, l'augmentation du nombre de spires de l'anneau de GRAMME (ou ses multiples avatars) se traduit par une augmentation de la tension induite. A nouveau, le principe de réalité et les contraintes d'encombrement limitent la quantité de bobinage réalisable. Le mouvement est l'autre paramètre clé : pour une machine, lorsque la vitesse de rotation double, les variations de champ magnétique doublent. La contrainte est alors mécanique, car la force centrifuge sollicite la résistance mécanique des matériaux de tous les mécanismes impliqués dans cette rotation.

Selon le raccordement des spires du rotor, le constructeur peut associer les spires pour augmenter la tension ou le courant. De même, la structure de la machine peut comprendre un ou plusieurs jeux de collecteurs.



Illustration 150 :
Rotor avec un
collecteur

Source : op. cit., 1900 ,p33.

Le rotor ci contre comprend 20 spires.

Le raccordement entre ces spires n'est pas apparent sur ce schéma, mais le dispositif combine les diverses tensions résultantes pour aboutir sur un seul collecteur.

Le collecteur est horizontal, perpendiculaire à l'axe du champ inducteur.

Cette machine présente la structure la plus simple, une paire de pôles inducteur et un rotor avec un bobinage pour un collecteur.

Le rotor ci contre comprend aussi 20 spires.

Le raccordement entre ces spires n'est pas apparent, mais le dispositif combine les diverses tensions résultantes pour aboutir à deux collecteurs.

Les collecteurs sont en quadrature, dans l'axe des deux champs inducteurs. Cette machine présente une structure plus complexe, car les raccordements externes peuvent coupler les collecteurs en quantité ou en qualité, selon les besoins.

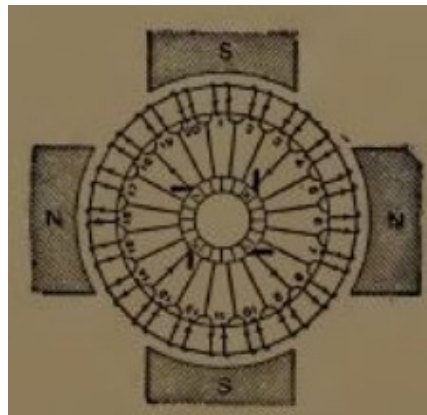
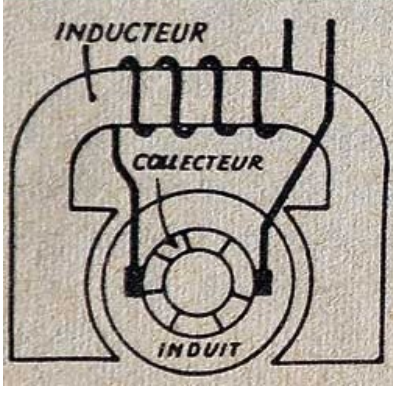
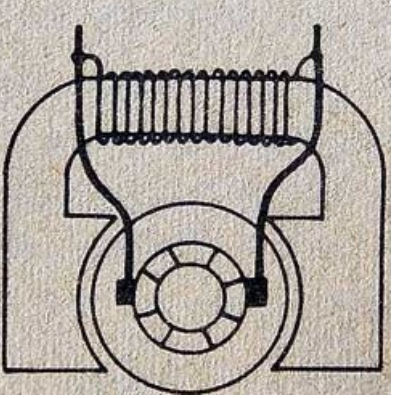
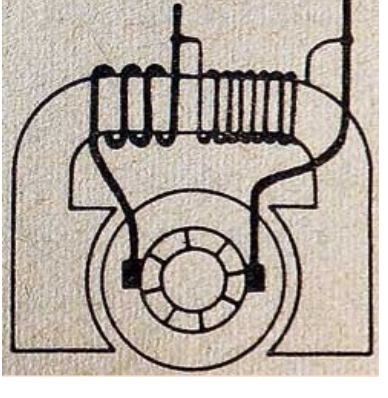


Illustration 151 : Rotor avec
deux collecteurs

Source : op. cit., 1900 ,p33.

3.3 - Les principes d'excitation : série, shunt et compound

Le fonctionnement d'une dynamo impose d'adapter le champ de l'inducteur à la puissance délivrée par l'induit, ceci afin d'atténuer les chutes de tension et les distorsions du champ électromagnétique. Cette action revient donc à moduler le courant d'excitation. Afin d'associer structurellement le courant inducteur et le courant induit (puissance délivrée), trois principes d'excitation existent : le tableau⁴²⁴ ci-dessous explicite leurs caractéristiques fonctionnelles.

		
<p>Excitation série</p>	<p>Excitation shunt</p>	<p>Excitation compound</p>
<p>Cette dynamo produit une tension plus élevée si on augmente la charge car le courant d'excitation augmente avec la charge. La tension n'augmente pas indéfiniment: une fois la saturation magnétique atteinte, la tension commence à diminuer à cause des pertes (résistance ohmique des bobinages et des charbons, réaction d'induit, ...).</p> <p>Le bobinage d'excitation série est réalisé en gros fil, car tout le courant doit passer par ce bobinage.</p>	<p>Cette dynamo produit une tension plus basse quand la charge augmente car la partie de courant disponible pour l'excitation diminue.</p> <p>En court-circuit, la dynamo produit un courant très faible (correspondant au magnétisme rémanent de l'inducteur).</p> <p>Ce type de dynamo doit démarrer sans charge pour permettre l'établissement du champ magnétique (amorçage).</p> <p>Le bobinage d'excitation shunt est réalisé avec beaucoup de spires de fil fin pour avoir un champ magnétique important sans consommer trop de courant.</p>	<p>Pour palier ces deux inconvénients, les dynamos composent à la fois une excitation série et une excitation parallèle.</p> <p>Une dynamo <u>compound</u> permet de maintenir la <u>tension</u> constante quelle que soit la charge (à 5% près).</p> <p>L'excitation d'une dynamo <u>compound</u> a un gros bobinage en série et un fin bobinage en dérivation.</p>

⁴²⁴Source : <http://server.idemdito.org/electro/elec/dynamo-fonct.htm> consulté le 26/08/2018

3.4 - Les machines à excitation compensée externe

La diversité des machines est trop importante pour envisager leur présentation exhaustive, sans intérêt pour le sujet. Par contre, les deux dynamos ci-dessous montrent des dispositifs structurels de rétro action, largement antérieurs aux travaux scientifiques sur le sujet.

Cette dynamo duplex distingue les types d'enroulement de l'inducteur, le bobinage shunt et le bobinage série. La complexité du dispositif tient à l'association de deux collecteurs sur le rotor, chacun des collecteurs étant raccordé aux bobinages shunt ou série.

La position des balais des collecteurs est réglable, ce qui augmente les possibilités d'ajustement du champ inducteur selon le régime de marche de la machine.

Le réglage de ce dispositif est source d'erreur.

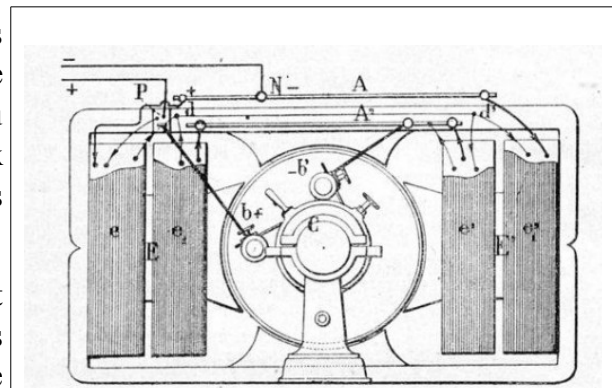


Illustration 152: Dynamo duplex Bréguet (type Cassard)

Source : Henri LEBLOND, Complément du cours d'électricité, Ministère de la Marine, 1900, p. 14

3.5 - Les machines à redresseur de champ

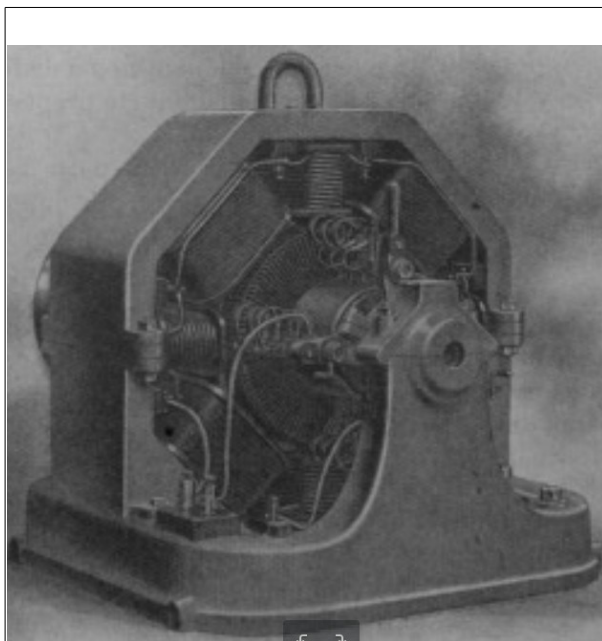


Illustration 153 : Dynamo type M. 24

Source : Jean REY, *Notice sur les travaux scientifiques*, Paris, Bulletin de la Société Française des Electriciens, 1918, p. 9.

Cette dynamo à quatre pôles et à pôles redresseurs est construite par SAUTTER ET HARLÉ. Elle est destinée à des régimes de marche très variables, ne permettant pas le calage des balais du collecteur. Ce régime de charge est celui imposé par les tourelles d'artillerie.

Le calage des balais est donc fixe et les quatre pôles auxiliaires compensent la distorsion du champ lorsque la charge de la machine varie.

Les pôles redresseurs de champ sont des bobinages séries décalés radialement des inducteurs principaux : cette disposition géométrique compense la distorsion du champ magnétique sans surdimensionner les masses polaires principales.

Ce dispositif intègre une boucle d'auto-régulation.

Annexe 4 - Etude d'un patrimoine sous-marin : une canalisation électrique

Bref historique⁴²⁵ du *Thuringen*.

Le *Thuringen* était un cuirassé Allemand appartenant à la classe " Helgoland " qui fut construit en 1908 au chantier de la Weser à Brème. Il mesurait 167m de longueur, 28.5m de largeur, 8.94m de tirant d'eau pour un déplacement de 24000 T. Ce cuirassé avait un blindage de 30.5cm d'acier sur la coque et de 8.8cm sur le pont. Il est opérationnel en Septembre 1911. Son équipage se compose de 1.110 hommes.

A l'issue de la guerre, il n'est pas interné à Scapa Flow et est cédé à la France au titre des dommages de guerre. Après des travaux de désarmement effectués à Brest, il est remorqué en Mai 1921 près de Lorient à Gâvres pour servir de cible aux exercices de tir de la marine nationale. Les essais de tirs auront lieu jusqu'à fin Août 1921.

L'épave du *Thuringen* est laissée sur le sable proche de la plage de Gâvres et a été partiellement démontée sur place. Sa position est 47°41' 278N - 03°18' 370W (E50). Cette épave est répertoriée par le Shom sous le n° 14573.099. Il arrive de trouver sur la grève des débris en provenance de l'épave, les tempêtes dégradent inexorablement ce site. Un morceau de câble électrique a été trouvé sur la plage, à environ 200 m des parties émergentes.

Navire

Nom du navire	Thuringen
Nationalité	Allemande
Date de construction	1908
Date du naufrage	1921
Coordonnées ED 50 de l'épave	47°41' 278N - 03°18' 370W
Répertoire SHOM	14573.099

Date de collecte

28/10/18

Photographie de l'échantillon

Oui

Données globales de l'objet

Poids de l'artefact	193,6 g
Diamètre extérieur	ovalisé entre 12,5 et 13 mm
Longueur de l'artefact	318 mm
Nombre de conducteurs	2
Conducteurs souples	Non
Conducteurs toronnés	Non – âme massive non divisée
Gaine plomb	Oui

425 Sources consultées le 22/10/2018: <http://plongepave.e-monsite.com/pages/epaves-en-pays-de-lorient/thuringen.html> et <http://www.wreck.fr/thuring.htm>

Les formes de l'objet n'étant pas homogènes, un échantillon de mesure a été constitué par prélèvement. Cet échantillon est long de 21,2 cm et d'une masse de 133,3 g.

Observation des composants de l'échantillon

1 – Séparation de la gaine de plomb

Poids de la gaine de plomb	103,2 g
Observation et mesure de l'épaisseur	1,7 mm
Diamètre global hors gaine de plomb	10,5 mm

2 – Séparation des isolants et des conducteurs

Enlèvement et poids de l'isolant autour des conducteurs

Volume de l'isolant autour des conducteurs	
Présence d'une toile caoutchoutée	Oui
Epaisseur de la toile	0,6 mm
Poids de la toile	4,5 g
Présence d'une tresse de fibres	Oui
Description de la tresse	30 fils toronnés de 0,9 mm
Poids de la tresse	6,1 g

3 – Conducteur 1

Diamètre du conducteur avec son isolant	3,5 mm
Poids du conducteur avec son isolant	9,3 g
Poids du conducteur sans son isolant	2,8 g
Poids de l'isolant du conducteur	6,6 g
Diamètre du conducteur sans son isolant	1,4 mm
Observation de l'état de l'étamage	cuivre terne sans vert de gris

4 – Structure de l'isolant de chaque conducteur

Couche extérieure	toile goudronnée
Poids de la toile	1,4 g
Garniture d'étanchéité	oui
Poids de la garniture	3,2 g
Caoutchouc adhérent au conducteur	oui
Poids du caoutchouc	2,2 g

Remarques : 1- les mesures de poids ont été réalisées avec une balance précise à 0,1g

2 -certains composants se sont désagrégés lors de l'observation

L'état de conservation de l'ensemble est remarquable. La tenue mécanique est excellente, compte tenu des chocs subis et du trajet sur les fonds sableux. Les qualités électriques sont tout aussi excellentes.

Il est à noter le ratio matières électriques utiles / total des matières. : $2 \times 2,8 / 133,3 = 4,2 \%$. Dit autrement, pour 4,2 % de cuivre, la canalisation comprend 95,7 % de matières isolantes et de protections mécaniques. Certes, la gaine de plomb montre son efficacité centenaire, mais elle représente 77 % de la masse !

Ces quelques chiffres soulignent l'enjeu porté par les technologies des canalisations électriques, dont la longueur à bord se mesure en kilomètres.

Annexe 5 - Les marins électriciens dans les règlements du « Service à bord »

Cette annexe présente les extraits de règlements qui traitent de l'électricité et des électriciens. Ces extraits ne représentent qu'environ 10 % de l'ensemble de chaque règlement, mais au-delà de cette mesure quantitative, le contenu de ces articles valide la maturation du phénomène électrique à bord. Pour étayer cette hypothèse, il était donc nécessaire de donner au lecteur l'accès à ces articles. Les articles reproduits ci-après sont tous extraits du Journal Officiel, ils sont présentés avec une police en italique.

Plan de l'annexe 5

1. Les années 1885, premiers pas de l'électricité à bord	280
1.1 Le décret du 20 mai 1885 : XII titres, 873 articles	280
1.2 L'arrêté du 24 juin 1886 : VII titres, 726 articles	282
2. 1896, la technicité de la maistrance et sa promotion	284
3. Les années 1910, de nombreuses précisions s'imposent	285
3.1 Le décret du 15 mai 1910 : IV titres, 502 articles	285
3.2 L'arrêté du 28 octobre 1910 : VIII titres, 714 articles	286
4. Les années 1930, une spécialité parmi d'autres	290
4.1 Les décrets du 18 février 1928 ; V titres, 257 articles	290
4.2 L'arrêté du 15 mars 1928 ; IX titres, 618 articles	294

Un navire militaire est un monde en autarcie où chaque individu voit ses droits et ses devoirs codifiés afin que l'efficacité collective soit optimale dans toutes les situations envisageables. Les règlements militaires sont multiples et ils essaient de définir les besoins à satisfaire selon l'environnement du navire : à quai, en route, de jour, de nuit, au combat, en réparation. Le contenu de ces textes est un indicateur daté du contexte social de la marine, de son environnement technologique et de la situation militaire à affronter.

Au sein des structures militaires de la fin du XIX^e siècle, les marins électriciens constituent un groupe socioprofessionnel dont la tâche est de mettre les divers matériels électriques au service du navire de combat. Alors que l'organisation navale est en évolution lourde, tant par ses capacités militaires que par ses missions géopolitiques, ces techniciens sont eux-même au cœur d'un métier en devenir. Ces marins manipulent à bord un fluide invisible et puissant, indispensable et parfois capricieux, omniprésent mais dangereux : les règlements se doivent de cadrer la place attribuée à ce matériel et à ces électriciens.

L'organisation d'un bâtiment de la Marine Nationale est régie par des décrets et des arrêtés ministériels qui définissent le « Service à bord ». Ces textes sont publiés selon le cas au Journal Officiel de la République Française, au Bulletin Officiel de la Marine ou dans des

publications officielles rattachées au ministère de tutelle⁴²⁶. Les arrêtés et décrets font l'objet de modifications régulières dont l'analyse détaillée pourrait être l'objet d'une recherche. A titre d'exemple, le décret « Sur le service des forces navales » pris initialement le 18 février 1928 connaît six modifications avant le 1^{er} janvier 1936. Dans le cadre de la recherche menée, l'examen d'un échantillon de trois textes donne des indices sur les changements induits par la « chose électrique à bord », en les repositionnant dans un temps long propre à la Marine Nationale.

Sur la période 1880 -1935, trois textes correspondent à des charnières de révision réglementaire perçues par les gouvernants, les rédactions antérieures étant abrogées. Les motivations de ces refontes sont toujours multiples, mais ces nouveaux textes sont aussi une opportunité pour intégrer des mesures d'organisation autour de l'objet technique « électricité » et plus précisément sur les différentes missions confiées au personnel à bord. Les refontes sont les suivantes :

- les années 1885 /1886 avec le phénomène de la torpille qui bouleverse la place des cuirassés,
- les années 1910 avec la complexité des navires de combat moderne, l'organisation des services à bord et l'accent mis sur la préparation au combat,
- les années 1930 avec la naissance des forces aériennes.

1 - Les années 1885, premiers pas de l'électricité à bord

1.1 - Le décret du 20 mai 1885 : XII titres, 873 articles

L'abrogation du décret antérieur se fonde sur l'arrivée de la torpille et les réformes multiples du corps des équipages en 1883. Ceci induit, entre autres, le service des torpilles avec la nouvelle spécialité « marin torpilleur ».

Les trois spécialités possibles pour les officiers de marine sont : canonier, fusilier et torpilleur. Les mécaniciens ne sont pas officiers de marine, de même que les officiers d'artillerie.

Le maître torpilleur est placé au troisième rang des 12 maîtres chargés.

L'instruction est mentionnée de manière diffuse, les qualités de marin sont encore la référence à bord, la technique ne contraint pas encore à une formation spécifique des équipages.

Les dix articles du décret se focalisent sur la mise à feu des mines et citent vaguement d'autres appareils électriques, dont la lumière. La machine génératrice d'électricité est à la charge de l'officier chargé des torpilles et des appareils électriques, mais la direction de la machine est confiée à l'officier mécanicien.

⁴²⁶Les dispositions des décrets successifs du « Service dans les forces maritimes » sont, en pratique, déjà toutes contenues dans « l'ordonnance de Louis XIV pour les Armées navales et arsenaux de la Marine » de 1689. Les adaptations successives ont été rendues nécessaires par les changements de régimes et l'évolution technique des bâtiments de guerre .

Une attention majeure est portée sur la lumière non-électrique et le danger d'incendie corrélé : le sujet est fixé dès l'article 57, donc de première importance.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Des fonctions attribuées aux officiers de marine ...	1 à 13		
II	Des pavillons; des marques distinctives de commandement ..	14 à 32		
III	Des devoirs généraux des officiers ...	33 à 66	#57#	
IV	De l'embarquement des officiers et des mutations ...	67 à 81		
V	Du commandant en chef, ...	82 à 182		
VI	Des officiers de l'état-major général.	183 à 256		
VII	Du commandant du bâtiment.	257 à 393		
VIII	De l'officier en second du bâtiment.	394 à 454		
IX	De l'état-major du bâtiment.	455 à 676	523 537 538 539 544 545 547 608	8
X	De l'équipage du bâtiment.	677 à 787	725 728	2
XI	Des logements.	788 à 794		
XII	Des honneurs, saluts et visites.	795 à 873		
Total				10

Titre III – Des devoirs généraux des officiers, ... **Art. 57.** - 1. Il est formellement interdit de transporter de la lumière autrement que dans un fanal fermé, et de retirer de leurs fanaux fixes ou mobiles les bougies ou lampes allumées. 2. Il est également interdit à toute personne occupant à bord une chambre ou un poste de laisser des lumières dans son logement lorsqu'elle s'en absente et de faire usage d'autres allumettes que des allumettes dites amorphes.

Titre IX - De l'état-major du bâtiment. *Officier des torpilles - Art 537 à 548*

Art. 523. — L'officier pourvu de la spécialité des torpilles, et embarqué à ce titre, est chargé des torpilles, ainsi que des appareils électriques et générateurs d'électricité.

Art. 537. — 1. L'officier chargé des torpilles a la surveillance générale du matériel concernant les torpilles de toute espèce embarquées à bord ainsi que des appareils électriques et générateurs d'électricité.

2. Il passe de fréquentes inspections de ce matériel et le fait visiter et entretenir, conformément aux règlements spéciaux. Il rend compte de ces inspections et visites à l'officier en second.

Art. 538. — Il est chargé de l'instruction théorique et pratique du personnel breveté et non breveté attaché aux services des torpilles et des appareils électriques.

Art. 539. — 1. Pendant l'armement, l'officier chargé des torpilles étudie les dispositions prises concernant le matériel des torpilles et des appareils électriques, tant à bord du bâtiment que dans les embarcations. Il rend compte de ses observations à l'officier en second.

2. Il s'attache à bien connaître l'installation des différents circuits électriques existant à bord.

Art. 544. — Les fils électriques des torpilles ne sont mis en relation avec les piles qu'en présence de l'officier chargé des torpilles, ou, en son absence, en présence du chef du poste d'inflammation.

Art. 545. — Lorsqu'une embarcation porte-torpilles est armée, l'officier qui la commande doit assister à l'embarquement des piles dans l'embarcation. Il interdit qu'aucun fil ne soit mis en contact avec la pile avant que l'embarcation soit à une certaine distance du bord.

Art. 547. — L'officier chargé des torpilles fait procéder, par le maître torpilleur, ... aux épreuves réglementaires des piles.

Art. 608. — 1. Le mécanicien principal [l'officier mécanicien], chargé de la direction des machines, est chargé de la direction des machines employées pour le fonctionnement ...de la lumière électrique.

Titre X - De l'équipage du bâtiment.

Maître des torpilles – Art 725 à 730

Art. 725. — Le maître torpilleur est chargé des torpilles de toutes sortes et de leurs accessoires, des matières explosibles destinées à leur chargement, des projecteurs et des transmissions électriques.

Art. 728. — Le maître torpilleur, sous la direction de l'officier chargé des torpilles, fait subir aux piles les épreuves périodiques réglementaires ayant pour but de s'assurer qu'elles peuvent être utilisées sans retard.

1.2 - L'arrêté du 24 juin 1886 : VII titres, 726 articles

L'arrêté détaille neuf champs de responsabilités attribuées au maître torpilleur, qui est de fait l'homme en charge du détail de l'électricité. Les exigences sont exprimées en terme de fonctionnement ou de résultats. L'activité torpille s'appuie sur la mise à feu électrique des mines, mais les autres appareils électriques ne font pas l'objet d'une attention particulière.

Cette rédaction se comprend car l'éclairage intérieur n'est pas nécessairement électrique et il n'y a pas d'autre usage réel et militaire que celui des signaux et des fanaux.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Des rôles en général	1 à 44	11 15 17	3
II	De l'équipage du bâtiment	45 à 308	111 112 118 à 122 124 125 206	10
III	Du service intérieur	309 à 464		
IV	Du service par jour, ...	465 à 601		
V	Dispositions de combat	602 à 668	615 616 617	3
VI	Corps de débarquement et embarcations	669 à 695	694 695	2
VII	Exercices de manœuvre	696 à 726		

Total 18

Art. 11. — 1. Les hommes gradés des diverses spécialités et professions sont répartis pour le combat de la manière suivante:

Torpilles : Les marins torpilleurs, au service des torpilles et des appareils photo-électriques ; les mécaniciens torpilleurs au service des torpilles automobiles, des pompes de compression et des générateurs d'électricité qui ne sont pas destinés à l'éclairage intérieur du bâtiment;

Art. 15. — Le personnel du service des torpilles et des appareils électriques est composé de marins et mécaniciens torpilleurs embarqués comme titulaires et de torpilleurs supplémentaires, désignés, s'il y a lieu.

Art. 17. — Le personnel des signaux se compose des timoniers brevetés et, s'il y a lieu, d'un certain nombre d'hommes exercés à ce service, ainsi que des torpilleurs chargés des signaux électriques.

Art. 111. — Il conserve les piles dans un endroit sec, sur des étagères. Il en fait les épreuves chaque lundi et en rend compte à l'officier torpilleur.

Art. 112. — Il se conforme strictement, dans toutes les circonstances, aux ordres de l'officier torpilleur, relatifs à la mise dans les circuits des piles d'inflammation. Il veille spécialement à ce que les piles ne soient embarquées dans les canots porte-torpilles que sur l'ordre de l'officier torpilleur.

Art. 118. — Il est chargé de l'entretien et de la conduite de toutes les machines électriques, sauf celles destinées à l'éclairage intérieur du bâtiment, ces dernières restant, ainsi que tous les moteurs, à la charge du maître mécanicien.

Art. 119. — 1. A la mer, lorsqu'on est sous vapeur, il s'assure, dans l'après-midi, que les appareils photo-électriques sont prêts à fonctionner.

2. Il prend la même précaution, en rade, dès qu'il est prévenu qu'on doit faire de la lumière électrique le soir.

Art. 120. — Lorsque l'ordre est donné de se préparer à faire de la lumière électrique dans le canot à vapeur, il fait disposer les appareils dès l'après-midi, s'il le peut, et s'assure le plus tôt possible de leur bon fonctionnement.

Art. 121. — 1. Tous les jours, en mer et en rade, il fait mettre en place avant la nuit les fanaux électriques de signaux et disposer l'appareil qui les actionne.

Art. 122. — Il donne son concours au maître de timonerie, pour l'installation des circuits électriques du loch électrique et de l'anémomètre.

Art. 124. — 2. Toutes les deux semaines, au moins, il prend les ordres de l'officier torpilleur, pour faire changer l'eau douce des bailles, où seraient conservés des conducteurs isolés à la gutta.

Art. 125. — 3° Les capots des machines électriques sont enlevés, le coffre des fanaux électriques de signaux est ouvert;

4° Les objets en magasin sont mis à découvert, les couvercles des piles, notamment, sont relevés;

SECTION VII. DU maître MÉCANICIEN.

Art. 206. — 4. Il est chargé de l'entretien et du fonctionnement des appareils destinés à l'éclairage électrique intérieur du bâtiment.

Titre V - Dispositions de combat.

Art. 615. — 1. L'officier torpilleur, aidé du maître torpilleur, des torpilleurs et d'un certain nombre d'hommes, organise le service des torpilles automobiles, celui des appareils photo-électriques et celui de l'appareil actionnant les fanaux électriques.

Art. 616. — 1. Sur les bâtiments armés de torpilles automobiles, les torpilleurs désignés montent les tables de visée, éprouvent les piles et les circuits électriques de mise en feu.

Art. 617. — Les piles ne doivent jamais être introduites dans les circuits sans un ordre spécial donné ou transmis par l'officier torpilleur.

Titre VI - Corps de débarquement et embarcations

CHAPITRE III - DISPOSITIONS À PRENDRE CONTRE L'ATTAQUE DES TORPILLEURS ET CONTRE L'ABORDAGE DES EMBARCATIONS.

Art. 694. — 5. Les appareils photo-électriques sont prêts à fonctionner.

Art. 695. — 1. Si le bâtiment est au mouillage,...

3. Des canots à vapeur munis de leur appareil photo-électrique, des canots armés en guerre et des embarcations légères circulent, autour du bâtiment ou sont placés en vedette pour veiller aux mouvements de l'ennemi, prévenir de son approche et l'attaquer.

2 - 1896, la technicité de la maistrance et sa promotion

Un élément nouveau intervient avec la loi du 10 juin 1896 qui crée, pour aider les officiers de marine dans leurs fonctions, un corps d'employés militaires dénommés adjudants principaux de 1^{ère} à 5^{ème} classe. Les adjudants principaux sont recrutés parmi les premiers maîtres, c'est donc une promotion interne basée sur la compétence technique.

Néanmoins, ce grade ne trouve pas facilement sa place dans la hiérarchie de la Marine. Le nombre de promus reste faible et les responsabilités confiées sont bien distinctes de celles des officiers de marine. Certes les adjudants principaux portent l'uniforme réglementaire des officiers de marine, mais ils doivent le salut à tous les officiers à partir du grade d'enseigne de vaisseau de 1^{ère} classe.

Selon Jacques TUPET⁴²⁷, la répartition des effectifs d'origine est stricte : sur les 73 postes du corps, cinq postes sont réservés à la spécialité de torpilleur. Ces cinq adjudants principaux torpilleurs sont employés uniquement dans les ports et affectés au service des défenses sous-marines : atelier des torpilles, défenses fixes (mines). La responsabilité d'un service à bord n'est pas mentionnée, peut-être pour éviter à ces transfuges du corps des officiers marinières de se trouver dans des ambiguïtés de commandement face à leurs camarades.

⁴²⁷ Jacques TUPET, *Historique de l'officier du recrutement interne dans la marine*, Paris, Société d'études, 1995, p. 66.

Le décret du 1^{er} août 1899 prévoit l'accession au grade d'adjudant principal de 5^e classe aux premiers maîtres torpilleurs. En 1910, l'effectif prévisionnel des adjudants principaux est de 110, à rapporter à l'effectif global des 6 000 officiers marinières.

3 - Les années 1910, de nombreuses précisions s'imposent

3.1 Le décret du 15 mai 1910 : IV titres, 502 articles

La refonte du texte insiste sur l'utilisation militaire des matériels, les services du bord sont mentionnés non plus comme administrateurs de l'entretien d'un matériel mais comme responsables de son efficacité au combat. Le décret est donc plus compact que celui qu'il remplace (502 articles pour 873), mais le sujet « électricité » reste mentionné huit fois, dix auparavant. Le service « Torpilles-électricité » est l'un des huit services d'utilisation, il est cité au 5^e rang.

En ce qui concerne l'électricité, il n'y a pas de changement notable entre les deux textes.

La vigilance sur la lumière non-électrique et le danger d'incendie corrélé reste forte et similaire au texte de 1885 : le sujet est maintenant à l'article 49, toujours de première importance.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Dispositions générales - Forces navales	1 à 149	#49#	
II	Du bâtiment	150 à 312	168 169 248 255 267	5
III	Préparation à la guerre - Combat	313 à 412	381 395	2
IV	Marques distinctives, honneurs et préséances	413 à 502		
Total				8

Interdictions diverses.

Art. 49. — *Il est interdit à toute personne embarquée : 4° De transporter de la lumière autrement que dans un fanal fermé et de faire usage de briquets à essence et d'allumettes autres que celles dites « amorphes ».*

Titre II – Du bâtiment.

Art. 168. — 1. Le commandant doit s'attacher à développer par tous les moyens la valeur du personnel placé sous ses ordres.

Art. 169.- 1. Le commandant dirige l'instruction des officiers et de l'équipage en vue de les préparer à l'accomplissement de leurs fonctions en temps de guerre et de développer, dans la plus large mesure possible, leur valeur professionnelle et technique.

2. Il surveille lui-même et fait surveiller par l'officier en second l'exécution des exercices et théories.

Art 248 – Le personnel et le matériel du bâtiment sont répartis, au point de vue de l'utilisation, en huit services qui sont: ...Service n°5 Torpilles-électricité.

Art. 255. — Les officiers chefs de service ont pour mission de préparer, en vue de la guerre, le service dont ils sont chargés et de le mettre en œuvre le jour du combat.

Art 267 - . L'officier chef du service des torpilles et de l'électricité est spécialement chargé de l'entretien et des réparations de tous les appareils électriques du bâtiment dans tous les cas où ce soin n'a pas été confié par le commandant aux services utilisant ces appareils.

Titre III – Préparation à la guerre - Combat.

Art 381 – Les services de combat sont ainsi au nombre de sept. ... Service au combat n°4 Torpilles-électricité.

Art 395 – Le rôle des officiers des services ; ... torpilles-électricité, pendant le combat , est déterminé par les ordres du commandant.

3.2 L'arrêté du 28 octobre 1910 : VIII titres, 714 articles

En première approche, la structure et la taille de l'arrêté de 1910 sont similaires à l'arrêté antérieur : huit titres pour sept auparavant, 714 articles pour 726. Une lecture plus détaillée appelle plusieurs remarques :

- l'instruction arrive en force dans ce texte, qui cadre dans le niveau organisationnel la déclinaison du décret de mai 1910. L'instruction est une responsabilité importante du commandant, elle fait entre autres l'objet de deux articles du titre I et du seul titre V, avec 29 articles.
- l'électricité est partout à bord, il convient d'en surveiller les effets indésirables sur les compas, la consommation de combustible, les risques d'incendie et d'électrocution, les pannes de l'éclairage électrique avec le recours aux lampes à pétrole ou à huile.
- une description succincte des équipements électriques et des responsabilités d'usage et d'entretien.
- des exigences précises sur la conduite de ces équipements lors du combat au travers de trois articles.

Ces articles sont parfaitement alignés avec l'évolution de l'esprit du décret.

En ce qui concerne l'électricité, le changement entre les deux arrêtés est donc très important sur le fond. Alors que l'arrêté de 1886 consacre 18 articles à l'électricité, celui de 1910 recourt à 27 articles. Cette inflation quantitative se double d'un changement de registre du contenu : la rédaction privilégie les résultats à atteindre plutôt que l'énumération des moyens disponibles.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Du commandant et des officiers	1 à 185	8 9 44 62 97 178 183	6
II	De l'équipage du bâtiment	186 à 370	221 237 239 276 278 280 319	7
III	Des rôles en général	371 à 441	383 390	2
IV	Du service intérieur	442 à 598	440 441	2
V	De l'instruction	599 à 628	605	1
VI	Emploi du temps	629		
VII	Du matériel	630 à 665	640 641 643 644 657 659	6
VIII	De la guerre et du combat	666 à 714	684 687 690	3
Total				27

Titre I - Du commandant et des officiers

Art 8 – Instruction technique des officiers

Art 9 – Instruction de l'équipage

Surveillance des compas.

Art. 44. — 1. Le commandant veille à ce que l'officier chargé des montres exerce une surveillance continue sur les compas du bord.

3. Il fait étudier par l'officier des montres l'influence sur les compas des projecteurs et autres appareils électriques, de la rotation des tourelles, des mouvements des porte-manteaux, monte-charges ou autres masses de fer avoisinant les compas, de l'échauffement des cheminées, etc.

Surveillance de l'éclairage électrique

Art 62 – 1. Le commandant fixe avec l'officier en second et avec l'officier chef du service torpilles-électricité les conditions de fonctionnement de l'éclairage électrique.

2. Il s'applique à réduire la durée de l'allumage des lampes sans perdre de vue qu'un bon éclairage intérieur est indispensable pour assurer la surveillance dans toutes les parties du navire accessibles à l'équipage.

Fonctionnement des ateliers centraux de réparations.

Art. 97. — 1. L'officier en second a la direction générale des ateliers centraux de réparations mécaniques, électriques, de charpentage et de voilerie.

Officier chef du service « torpilles-électricité ».

Art.178. 1. L'officier chef du service TE reçoit, conserve et tient à jour les divers plans et documents concernant son service ...

2 -Il détache momentanément ou définitivement, suivant les instructions du commandant, une partie de son personnel aux autres services pour la mise en œuvre ou la réparation des appareils électriques.

3 - Il établit pour les appareils nécessitant une visite périodique un roulement de visites fixant l'ordre des démontages.

4 - Il procède périodiquement aux épreuves de résistance des divers circuits et remédie sans retard aux défauts d'isolement constatés.

6 - Il propose à l'officier en second les consignes relatives aux heures d'allumage et d'extinction des différentes lampes électriques du bord et les mesures qu'il juge utiles pour restreindre autant que possible la consommation de ces lampes.

Officier chargé des montres et des compas.

Art 183 - 11. il étudie l'influence sur les compas des mouvements des pièces mobiles, bossoirs, canons, etc., situés dans le voisinage, ainsi que celle des projecteurs et des moteurs électriques et communique au commandant les résultats de cette étude.

Titre II - De l'équipage du bâtiment

Section III. — Du maître de timonerie.

Art. 221. — Il veille à ce que les appareils d'éclairage non électriques destinés aux appartements et aux signaux soient toujours en état d'être utilisés et il assure leur fonctionnement dans le cas où l'électricité viendrait à manquer.

Section IV. — Du maître canonier

Art 237 - 3. Il surveille également l'éclairage des soutes. Si cet éclairage est électrique, il veille à ce que les lampes ne soient allumées que lorsqu'il y a du monde dans les soutes.

Si l'éclairage ne fonctionne pas, il fait allumer les fanaux quand c'est nécessaire et les fait éteindre dès que les soutes sont fermées.

Eclairage intérieur du bâtiment.

Art. 239. — 1. Lorsque l'éclairage électrique ne fonctionne pas, il est chargé d'assurer de jour comme de nuit l'éclairage des diverses parties du bâtiment affectées au logement de l'équipage; en tout temps, il fournit les fanaux de ronde.

2. Toutefois, en temps de guerre, les lampes d'appliques et les fanaux sont répartis entre les différents services qui sont alors chargés de leur entretien et de leur allumage.

Section VI. — Du maître torpilleur.

Art. 276. — Le maître torpilleur seconde l'officier chef du service TE dans la direction et l'instruction du personnel torpilleur, ainsi que dans l'entretien et la mise en œuvre du matériel attribué à ce service, à l'exception des torpilles automobiles et de leurs appareils de chargement et de lancement du matériel.

Art. 278. — Il veille à la stricte application des mesures prévues par les règlements et de celles qui sont prescrites par son chef de service pour assurer l'entretien et le bon fonctionnement du matériel électrique de toute nature et des engins explosifs autres que les torpilles automobiles.

Art. 280. — Il surveille et dirige les travaux de réparation exécutés par l'atelier central de réparations électriques.

Consignes relatives à l'éclairage électrique.

Art. 319. — En dehors du service, il est interdit à tout homme de l'équipage de toucher à tout dispositif de la distribution électrique, et en particulier de l'éclairage.

Titre III – Des rôles en général

Rôles de combat. ...Combat de nuit.

Art. 353.— Dans le combat de nuit, il y a lieu d'assurer, en dehors des moyens d'action du combat de jour, le service des projecteurs et de leurs commandes; ce service est assuré par un personnel distrait, pour les projecteurs, du service «torpilles-électricité», pour les commandes, des autres services de combat.

Art. 390. — Durant la nuit, il y a lieu également de prévoir le personnel des projecteurs et celui des commandes; ce personnel est pris, pour les projecteurs, dans le service TE.

Titre IV – Du service intérieur.

Art. 440.- 1. Sur les cuirassés et grands croiseurs, il est constitué quatre compagnies formées conformément aux indications du tableau no 11. ... La 3^e compagnie réunit les séries de combat du service de sécurité, du service « conduite du navire » et du service « torpilles-électricité ».

Art. 441. — Sur les petits bâtiments, il est formé seulement deux compagnies. La 1^{re} compagnie réunit les séries de combat des services « artillerie, conduite du navire, de sécurité, torpilles et électricité »

Titre V- De l'instruction.

Art. 605. — 1. Les instructeurs doivent faire appel à l'intelligence de l'homme beaucoup plus qu'à sa mémoire.

2. Ils doivent s'efforcer de lui faire comprendre le but de la fonction qu'il remplit et l'utilité de l'enseignement qui lui est donné.

Titre VII - Du matériel.

Section II. — Répartition du matériel entre les divers services.

Services « timonerie ».

Art 640 - Le service de la timonerie comprend: a)

le matériel, appareils et installations de toutes sortes, destinés à exécuter les signaux de jour et de nuit, les feux de navigation, l'ameublement et l'éclairage non électrique des locaux occupés par l'état-major et les officiers mariniers

Service « artillerie principale ».

Art 641 – Ce service comprend :...

Les munitions et soutes d'artillerie principale, leurs appareils d'éclairage et de ventilation à partir des tableaux secondaires ...

L'éclairage non électrique des locaux habités par l'équipage,

Services « torpilles-électricité ».

Art. 643. — Ce service comprend: b)

Les réseaux de distribution électrique, y compris les grands tableaux de répartition jusqu'aux prises de courant afférentes aux divers services;

L'éclairage extérieur et intérieur par l'électricité, les projecteurs;

La télégraphie et la téléphonie sans fil;

Les appareils électriques de toute nature qui ne dépendent pas des autres services;

L'atelier central de réparations électriques, les locaux affectés à ce service, le matériel de rechange et l'outillage appropriés.

Service « machines »

Art. 644. — Ce service comprend: ... Les dynamos génératrices

et leurs moteurs;

Eclairage semestriel non électrique.

Art. 657. — Tous les six mois, pendant vingt quatre heures, toutes les dynamos du service général sont stoppées et l'éclairage entier du bord est assuré avec les lampes à pétrole ou à huile et avec les fanaux à bougie. Toutes les lampes à huile doivent avoir un fonctionnement satisfaisant pendant six heures au moins.

Entretien du matériel du service « timonerie ».

Art. 659. - Les lampes à huile des appartements doivent être toujours prêtes à fonctionner.

Tout défaut de fonctionnement des signaux électriques et des transmissions d'ordres, doit être immédiatement signalé de jour ou de nuit à l'officier de quart qui y fait aussitôt porter remède.

Titre VIII - De la guerre et du combat.

Art. 684. — Les dispositions à prendre par les divers services de combat sont:

4. TORPILLES ET ÉLECTRICITÉ

Descendre à leurs postes protégés, s'il en existe, les projecteurs de réserve, leurs conducteurs et leurs commandes.

Tout disposer pour assurer l'alimentation et la mise en œuvre de tous les appareils électriques de combat, de concert avec le service « machines » d'une part, et les divers services de combat d'autre part.

Disposer les canalisations de fortune avec les conducteurs disponibles.

Prévoir, de concert avec le service « conduite du navire », l'installation de dispositifs de fortune pour la TSF.

Organiser sous la cuirasse, s'il ne l'est déjà, l'atelier de combat des torpilles et d'électricité.

Art. 687. - Les dispositions quotidiennes ou périodiques à prendre dans chaque service de combat sont les suivantes:

4. TORPILLES ET ÉLECTRICITÉ

Le matin, lorsqu'on est dans le voisinage de l'ennemi, descendre à l'abri les projecteurs pour lesquels il est prévu des postes protégés, ainsi que leurs conducteurs et leurs commandes, les remonter chaque soir et vérifier leur fonctionnement avant la nuit.

Procéder chaque semaine à des essais de couplage de dynamos, à des essais d'alimentation des tableaux secondaires par les circuits d'un seul bord ...

Disposition du branle bas de combat.

Art 690 -4. TORPILLES ET ÉLECTRICITÉ

Coupler les dynamos nécessaires pour assurer une production largement suffisante; tenir les autres en veilleuse.

Envoyer par la voie normale prévue, le courant à tout tableau ou appareil appelé à fonctionner durant le combat.

Couper le courant dans toute canalisation sans utilité durant le combat, en particulier dans les canalisations non protégées.

4 - Les années 1930, une spécialité parmi d'autres

4.1 Les décrets du 18 février 1928 ; V titres, 257 articles

Un premier décret du 18 février 1928 concerne le service dans les Forces Navales et à bord des bâtiments de la marine militaire : il comporte 257 articles. Un second décret du même jour concerne uniquement les marques et honneurs : ce décret comporte 103 articles. Les deux décrets abrogent le décret du 15 mai 1910.

Cette présentation appelle plusieurs remarques, tant sur le fond que sur la forme. Sur le fond, le rapport de présentation des deux décrets souligne les points cardinaux de cette refonte réglementaire : l'attribution à la Marine de la défense des côtes et la naissance des forces aériennes.

Le décret traitant du service à bord est nettement plus concis que ses prédécesseurs alors que la complexité des équipements militaires s'est notablement accrue. En fait, le règlement n'aborde plus le détail de la cascade hiérarchique et la répartition des postes entre individus : il présente la coordination interne aux Forces Navales envisagées dans une globalité. La direction de cet ensemble, d'aucun dirait de ce système, est abordée sous l'angle organique du commandement et non pas d'un individu, fut-il commandant ou amiral. Ainsi, l'ensemble de l'équipage, quel que soit son grade, relève du terme générique « auxiliaires du commandement » : la finalité de la mission prime sur les questions secondaires de rang et d'appellation. Ce décret voit donc quasiment disparaître les explicitations d'officier électricien, de maître électricien au profit d'une énumération incomplète de spécialités : la spécialité de maître électricien est implicite et contenue dans un vague « etc. » dans les articles 181 et 182.

A contrario, la place de la machine et de la propulsion est reconnue et plus précisément celle des mécaniciens ; le corps des ingénieurs mécaniciens participe à ce phénomène formel qui traduit bien un statut spécifique. Le service machines est organisé autour des ingénieurs mécaniciens, le décret explicite leur rôle et celui du maître mécanicien dans plusieurs articles. La spécialité de mécanicien présente une exception à la règle hiérarchique entre officier de marine et officier « technicien ». Ainsi l'article 167 prévoit qu'un officier des équipages Mécanicien peut être chef du service machines, et qu'un officier de marine ne peut l'être qu'à défaut. Le jeune corps des officiers des équipages y trouve donc une reconnaissance de compétences technique et hiérarchique.

Créé par la loi du 30 décembre 1913, le corps des officiers des équipages comprend cinq classes : Officier principal et officiers des équipages de 1^{ère} à 4^{ème} classe. Il s'agit d'harmoniser la pratique dans l'Armée : les adjudants principaux de la marine deviennent des officiers des équipages. En 1917, alors que le grade de Maître principal est créé, le corps des officiers des équipages se réduit à trois classes : Officier principal et officiers des équipages de 1^{ère} à 2^{nde} classe. Le recrutement des officiers des équipages se fait alors parmi les Maîtres principaux et les premiers maîtres. En 1913, l'effectif du corps est alors de 250. En 1929⁴²⁸, il passe à 392⁴²⁹ (dont 50 affectés à l'aéronautique).

428 Rapport au Sénat de la Commission de la Marine. 1928. Annexe au PV de la séance du 24/6/1928. P 164

429A cette date, les effectifs du corps des officiers de marine est de 2112, celui des ingénieurs mécaniciens est de 417, celui des ingénieurs du génie maritime de 200 et celui des ingénieurs de l'artillerie navale de 442.

L'année 1917 a vu la restauration du grade de capitaine de Corvette, premier grade d'officier supérieur, ce qui facilite le déroulement de carrière des officiers de marine.

Le décret traitant des honneurs est séparé du décret traitant du service à bord, ce qui rend l'ensemble des deux textes plus facile à consulter. Sur la forme, cette dissociation est aussi une opportunité d'explicitier le poids relatif des deux missions de la Marine, l'une étant militaire, l'autre étant diplomatique. Cette forme étant posée, l'exercice du commandement opérationnel ne peut qu'en être simplifié et d'autant plus efficace.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Généralités	1 à 22	#19 #	6
II	Du commandement dans les Forces Navales et à bord des bâtiments	23 à 105	38	7
III	Des auxiliaires du commandement	106 à 184	118 129 166 167 171 180 181 182	2
IV	Mouvements du personnel – Logements -Tables - Commissions	185 à 214		
V	Disposition complémentaire du temps de guerre	215 à 257	246	1

Total 16

Titre I – Généralités.

Interdictions diverses. Art. 19. — Il est interdit à toute personne embarquée : 4° De transporter de la lumière autrement que dans un fanal fermé et de faire usage de briquets à essence et d'allumettes autres que celles dites «amorphes».

Titre II - Du commandement dans les Forces Navales et à bord des bâtiments.

Art. 38. Devoirs généraux du commandement.

1. Le commandant d'une Force navale ou d'un bâtiment s'attache à développer la valeur du personnel. Il dirige l'instruction et l'entraînement en vue de réaliser la meilleure préparation au combat.

Titre III - Des auxiliaires du commandement.

Art. 118. Services de la Force navale.

1. Les services constitués dans l'état-major de la Force navale sont les suivants : Transmissions., Artillerie., Armes sous-marines., Aéronautique, Électricité, Machines, Génie maritime, Intendance, Santé.

Art. 129. Etat-major de bâtiment.

1. Un état-major de bâtiment est constitué par l'ensemble des officiers embarqués à bord du bâtiment comme auxiliaires du commandant.

Il comporte un officier en second s'il comprend au moins un officier de Marine ou un officier des équipages d'une spécialité pouvant accéder au commandement.

Il peut comporter également suivant l'importance du bâtiment : Un officier chef du service intérieur; Des officiers chefs de service;

SECTION VI. DE L'INGÉNIEUR MÉCANICIEN DE GARDE ET DE QUART. Art 163 et 164

Art. 166. Répartition du personnel et du matériel.

- 1. Le personnel et le matériel des bâtiments sont répartis entre les services suivants : 8° Electricité;*
- 2. La direction des services armes sous-marines et électricité est généralement assurée par le même officier.*

Art. 167. Officiers chefs de service.

- 3. Les officiers chefs des services ... électricité, sont dits respectivement officiers , électricien.*
- 4. A défaut d'ingénieur mécanicien ou d'officier des équipages mécanicien, un officier de Marine est chef du service machines.*

Art. 171. Attributions et devoirs généraux des officiers chefs de service.

- 1. Les officiers chefs de service ont pour mission de préparer, en vue de la guerre, le service dont ils sont chargés et de le mettre en œuvre le jour du combat.*
- 2. Les officiers chefs de service sont chargés :*
 - a. D'assurer l'instruction et l'entraînement du personnel;*
 - b. De l'utilisation et de la conduite des appareils de leur service;*
 - c. De l'entretien et des réparations de ces appareils, en faisant au besoin appel au concours d'autres services, dans les conditions fixées par le commandant, en vertu de l'article 99 du présent décret.*
- 3. Ils rendent compte à l'officier en second des travaux à entreprendre ou en cours d'exécution ; ils lui soumettent toutes les demandes de travaux nécessitant les concours des ateliers du bord qui ne dépendent pas de leur service.*
- 5. Ils ont le devoir de développer le plus possible l'esprit d'initiative de leurs subordonnés.*

Art. 180. Devoirs généraux des officiers mariniers.

- 1. Les officiers mariniers sont les auxiliaires des officiers; ils doivent assurer l'exécution de leurs ordres en toutes circonstances.*
- 2. Ils sont adjoints aux officiers pour l'instruction et l'entraînement du personnel, ainsi que pour l'entretien du matériel.*

Art. 181. Les officiers mariniers restent sous les ordres de l'officier chargé de leur spécialité.

Art. 182. (Mol. le 6 avril 1930.) Maîtres chargés.

- 1. Dans chaque spécialité l'officier marinier le plus ancien, à l'exception des maîtres principaux, reçoit l'appellation de maître, suivie du nom de la spécialité à laquelle il appartient : maître de manœuvre, maître canonnier, etc.*

2. *Il est le maître chargé de la spécialité. Ses attributions sont définies dans l'arrêté sur le service à bord.*

Titre V - Disposition complémentaire du temps de guerre.

Art. 246. Service à la mer et dans les rades susceptibles d'être attaquées.

2. *La nuit, toutes les lumières visibles de l'extérieur sont masquées.*

Les électriciens sont une sous spécialité de mécanicien pour l'aéronautique 1926(voir manuel de formation)

4.2 L'arrêté du 15 mars 1928 ; IX titres, 618 articles

L'arrêté du 15 mars 1928, publié au J.O. du 2 juin 1928, concerne le service dans les Forces Navales et à bord des bâtiments de la marine militaire : il comporte 618 articles Il abroge le précédent arrêté du 28 octobre 1910 qui comportait 714 articles.

Cet arrêté décline les cadrages posés par le décret du 18 février 1928, il en reprend donc la structure avec les concepts de force navale et de commandement. La trame de l'organisation reste similaire, avec toujours un point fort invariant : l'instruction de l'ensemble de l'équipage. Comme dans l'arrêté de 1910, cet aspect est mentionné dès le titre I et le titre IX lui est entièrement dédié.

L'électricité est devenue un phénomène commun à terre, et même si sa contribution à la marche du navire est indispensable, elle ne fait plus l'objet de mesures décrites dans le détail comme en 1910. Il est remarquable que les effets indésirables de l'électricité ne sont plus mentionnés, comme la déviation des compas magnétiques ou le recours aux lampes à huile. Le terme d'éclairage de secours apparaît, en particulier dans les dispositions relatives au combat.

Alors que le précédent arrêté spécifie la périodicité des mesures d'isolement du matériel à charge du maître torpilleur, le règlement de 1928 n'impose pas au maître électricien une telle exigence de niveau opérationnel. Cet écart est à relier avec la création de la spécialité de Marin électricien en 1912, l'implantation de l'Ecole des électriciens à Toulon, les trois niveaux de qualification du marin électricien (brevet provisoire, élémentaire et supérieur) et la diffusion du Manuel du marin électricien. Ce qui devait être exécuté comme un « ordre venant du Ministre » est devenu une pratique professionnelle partagée dans la profession.

Le chef du service électricité est cité après six autres chefs de service sur les dix du bord. La technique électrique n'intervient plus directement dans les armes, elle contribue seulement aux fonctions générales du navire. La place du service électricité est comparable à celle du service machines, les services liés directement aux manœuvres et au combat étant les plus essentiels.

La description des fonctions à assurer dans les groupes de combat est décrite pour l'ensemble des services du bord, ce qui donne une vision synthétique de l'organisation et participe à une efficacité collective transverse.

Titre	Objet	Articles	Articles spécifiques à l'électricité	Nbre.
I	Méthode de commandement	1 à 76	55 56 57	3
II	Des états-majors de force navale.	77 à 86	82	1
III	Commissions permanentes	87 à 94	91	1
IV	Etat-major des bâtiments	95 à 245	198 201 213 220	4
V	Des officiers mariniens	246 à 296	288	1
VI	Dispositions personnelles aux officiers et aux officiers mariniens.	297 à 331	298 299 319	3
VII	Rôles	332 à 378		
VIII	Du service intérieur	379 à 539	385 532	2
IX	De l'instruction	540 à 566	546	
X	Mobilisation	567 à 582		
XI	Du temps de guerre et du combat.	583 à 618	587 596 609 Tableau N°2	4

Total 19

Titre I - Méthode de commandement

Art. 55. — Le commandant, pour développer la formation militaire et l'instruction technique des officiers.

Art. 56. — 1. Il donne, ..., les ordres sur la façon de conduire l'instruction des gradés en vue d'améliorer leurs qualités morales et militaires, leur aptitude au commandement, et leur valeur professionnelle.

2. Il fait apporter un soin particulier à la formation des quartiers-maîtres et prescrit de saisir toutes occasions d'éveiller en eux le sens de la responsabilité en vue de la préparation des meilleurs d'entre eux au rôle d'officiers mariniens.

Art. 57. — 1. Le commandant se fait soumettre par l'officier en second un programme d'instruction conforme aux ordres du commandant de force navale ...; et visant en particulier le développement des qualités morales et militaires du personnel

Titre II - Des états-majors de force navale.

Composition des états-majors de force navale. Art. 82. — 1. La composition des états-majors est fixée par les tableaux ci-après.

Flotte - 4e bureau. - Service armes sous-marines et électricité.- 1 capitaine de frégate ou de corvette, breveté torpilleur, chef du service.

Escadre - 4e bureau. - Service armes sous-marines et électricité.- 1 capitaine de frégate ou de corvette ou lieutenant de vaisseau, breveté torpilleur,

Titre I II- Commissions permanentes

Art. 91. — Les commissions [permanentes d'une force navale] sont les suivantes: ...Electricité.

Titre IV - Etat-major des bâtiments

Art.190. — Le personnel et le matériel sont répartis à bord des bâtiments entre 11 services. Le commandant confie la direction de chaque service au plus ancien des officiers attachés à ce service. Cet officier est appelé chef de service.

Art. 196 - 1. L'officier chef de service est chargé de l'instruction et de l'entraînement de tout le personnel affecté à son service

2. Il est particulièrement chargé de l'instruction de spécialité.

Art. 198. - 3. L'entretien, la visite, le démontage et les réparations des appareils électriques non à la charge d'un service sont assurés par le service Electricité.

Art. 201.-2. [L'officier chef du service Conduite du navire] se borne à surveiller l'état et à contrôler les indications des appareils électriques utilisés par son service et recourt au service «Electricité» ... pour leur entretien, leur visite et leur démontage; il informe ces services dès qu'un dérèglement ou une avarie se produit.

Art. 213. - 2. [L'officier chef du service armes sous-marines] est chargé de l'entretien du matériel suivant: ...Explosifs destinés au chargement de ces divers engins, soutes les contenant, ventilation et éclairage de ces soutes,...

Art. 220. — 1. L'officier chef du service « électricité » se conforme aux prescriptions des articles 190 à 199.

2. Il concourt, sur demande, à l'entretien. et aux réparations des appareils électriques d'autres services et détache auprès de certains d'entre eux une partie de son personnel pour la mise en œuvre ou la réparation de ces appareils.

3. Il propose à l'officier en second des consignes pour l'allumage et l'extinction des lampes et toutes autres mesures pour en restreindre la consommation.

Art. 221. — L'officier chef du service« électricité » est spécialement chargé du matériel suivant:

- Réseaux de distribution électrique à partir des génératrices, y compris les grands tableaux de répartition jusqu'aux prises de courant afférentes aux divers services.

- Réseaux d'éclairage intérieur et extérieur.

- Fanaux portatifs d'éclairage électrique. - Projecteurs.

- Appareils électriques utilisés par le service « conduite du navire »

- Appareils électriques de toute nature qui ne dépendent pas des autres services.

- Atelier des réparations électriques.

- Matériel de rechange et outillage approprié.

Art. 223. — 1. L'officier chef du service « machines» est chargé de la conduite, de l'entretien et des réparations de tous les appareils à vapeur du bâtiment, savoir: ... Dynamos génératrices et leurs moteurs;

2. Il est chargé de l'entretien et de la visite des locaux et matériel suivants; ... Eclairage non électrique des locaux affectés au service « machines»;

Titre V - Des officiers mariniers

Art. 288. — 1. Le maître électricien seconde l'officier chef du service électricité conformément aux prescriptions des articles 246 à 253.

2. Il règle le service des équipes d'électriciens à détacher momentanément dans d'autres services.

Titre VI - Dispositions personnelles aux officiers et aux officiers mariniers.

Art. 298. — Les commandements et fonctions qui peuvent être attribués aux officiers de marine dans les forces navales sont;

6° Lieutenant de vaisseau. ...e) Chef de service, second de service sur les grands bâtiments.

7° Enseigne de vaisseau...d) Chef ou second de quart, chef de service sur les petits bâtiments, attaché en sous-ordre à un service sur les grands bâtiments.

Art. 299. — Les fonctions que les officiers des équipages de la flotte peuvent remplir dans une force navale sont:

b) Attachés en sous-ordre au service de leur spécialité

c) Attachés à un état-major de force navale;

Art. 319 Du service intérieur. — Les postes de combat des maîtres chargés sont: 4. ... maître électricien. - Sécurité.

Titre VIII – Du service intérieur

Art. 385. — 1. Sont adjoints à l'officier de quart:

a) Un maître de service appartenant à l'une des spécialités ..., électricité,...chargé de la surveillance des mouvements, des appels, de la tenue et de l'exécution des consignes générales;

Art. 532. - Les dispositions à prendre par les divers services sont:

VIII. - Electricité.

- Tout disposer pour assurer l'alimentation et la mise en œuvre de tous les appareils électriques de combat, de concert avec les divers services;

- Organiser sous cuirasse, s'ils ne le sont déjà, des ateliers de combat;

Titre IX – De l'instruction

Art. 546. — L'instruction par spécialité a pour but:

1. De développer l'instruction technique des gradés, brevetés et aides.

2. De leur donner les connaissances industrielles nécessaires pour assurer dans de bonnes conditions l'entretien du matériel.

Cette instruction est dirigée par les officiers de spécialités

Titre XI – Du temps de guerre et du combat

Art. 587 — 1. Le chapitre 1^{er} du registre de préparation au combat expose sommairement, sans description de matériel, les moyens d'action du bâtiment au combat. Il se divise comme suit.

B. — Moyens d'action défensifs.

8° Moyens d action pour réparer le matériel durant le combat;

9° Eclairage, projecteurs;

C. — Moyens de manœuvre.

1° Chaudières, machines, distribution d'énergie (vapeur, électricité, air comprimé)

D. — Moyens de transmissions.

1° Signaux de jour et de nuit;

2° Télégraphie et téléphonie sans fil;

3° Transmissions intérieures;

4° Liaisons diverses

Art. 596. — Les dispositions quotidiennes ou périodiques à prendre dans chaque service sont les suivantes:

VIII. - Electricité.

- Abriter au jour les projecteurs pour lesquels il est prévu des postes protégés, les dégager chaque soir et vérifier leur fonctionnement avant la nuit.

- Vérifier chaque jour que rien n'engage les appareils de mise à l'eau des grenades ou des torpilles remorquées;

- Procéder chaque semaine à des essais d'alimentation des tableaux

Rappel au branle-bas de combat.

Art. 609. -Allumer partout l'éclairage de secours.

Dispositions particulières à chaque service.

VI. - Electricité.

- Coupler les dynamos nécessaires pour assurer une production largement suffisante, tenir les autres en veilleuse.

- Envoyer, par la voie normale prévue, le courant à tout tableau ou appareil appelé à fonctionner durant le combat;

- Couper le courant dans toute canalisation sans utilité durant le combat, en particulier dans les canalisations non protégées.

TABLEAU No 2. : Répartition du personnel par groupes de combat aux postes de combat Electricité : Fonctions exercées

Surveillance des tableaux de couplage et de répartition, des tableaux secondaires et tertiaires.

Surveillance des canalisations et de l'éclairage.

Surveillance des appareils électriques en fonction pendant le combat (à l'exclusion des appareils de l'artillerie et de la sécurité).

Projecteurs (combat de nuit)

Table des illustrations

Illustration 1: Schéma du système technique électrique.....	16
Illustration 2: Autre représentation du système technique électrique.....	17
Illustration 3 : Le projecteur Mangin.....	20
Illustration 4 :Chromographie n°40 de la série « L'électricité ».....	21
Illustration 5 :Chromographie Biscuits Pernot.....	22
Illustration 6 : Chromographie "artistique".....	22
Illustration 7 : Matelot manœuvrant un projecteur.....	25
Illustration 8 : Projecteur à lentille de Fresnel.....	27
Illustration 9 :Ménisque de l'optique Mangin.....	28
Illustration 10 : Projecteur Mangin à ménisque.....	29
Illustration 11 : Appareil secondaire.....	30
Illustration 12: Présentation multi-critère des attributs du projecteur marine.....	32
Illustration 13 : Machine à bord de l'Héroïne.....	33
Illustration 14 : Le Richelieu équipé d'un projecteur photo-électrique.....	34
Illustration 15 : Machine Sautter-Lemmonier 1600 becs.....	36
Illustration 16 : Machine Sautter-Lemmonier type C.....	37
Illustration 17 : Performance affichée en Watt et Bougie.....	38
Illustration 18 : Génératrice d'avion (1919).....	39
Illustration 19 : Boite de sûreté.....	44
Illustration 20: Commande manuelle à distance.....	47
Illustration 21 : Projecteur de hune.....	48
Illustration 22 : Projecteur de sabord.....	48
Illustration 23: Arc de la lampe SPERRY.....	50
Illustration 24 : Mécanisme interne d'une lampe à arc.....	51
Illustration 25 : Pointage manuel par deux matelots.....	52
Illustration 26 : Appareil conçu en 1892 par la DCN Toulon.....	53
Illustration 27 : Projecteur télécommandé.....	54
Illustration 28 : Télécommande par boutons.....	55
Illustration 29 : Le croiseur Emile BERTIN en 1935.....	56
Illustration 30 : Extrait d'un courrier du 27/7/1935.....	58
Illustration 31 : Projecteurs arrières de l'Emile BERTIN.....	59
Illustration 32 : Tableau électrique - Modèle Portsmouth.....	64

Illustration 33 : Générateur d'électricité du cuirassé l'Indomptable.....	71
Illustration 34 : Tableau électrique de l'Indomptable.....	72
Illustration 35 : Présentation d'une distribution en série et en étoile.....	75
Illustration 36 : La réalité des rongeurs à bord.....	78
Illustration 37 : La ventilation d'un cuirassé.....	80
Illustration 38 : Ventilateur de refoulement.....	81
Illustration 39 : Commande à distance du gouvernail avec un moteur à vapeur.....	82
Illustration 40 : Commande locale du gouvernail avec un moteur à vapeur.....	83
Illustration 41 : Commande électrique du gouvernail.....	84
Illustration 42 : Guindeau à vapeur.....	85
Illustration 43 : Guindeau électrique.....	86
Illustration 44 : Manipulateur de gouvernail.....	88
Illustration 45 : Chadburn électrique.....	88
Illustration 46 : Gyroscope de relèvement.....	89
Illustration 47 : Gyroscope Sperry.....	90
Illustration 48 : Loch électrique 1875.....	91
Illustration 49 : Loch électrique à moulinet.....	91
Illustration 50 : Optimisation de l'espace de vie.....	93
Illustration 51 : Eplucheuse à légumes.....	94
Illustration 52 : Lave-vaisselle.....	95
Illustration 53 : Sécurité reliant les tableaux de répartition du Jauréguiberry.....	96
Illustration 54 : Baguette en bois.....	100
Illustration 55 : Distribution en arborescence.....	103
Illustration 56 : Epissure et règles de l'art.....	104
Illustration 57 : Greffe de fil sur un câble.....	104
Illustration 58 : Boîte de jonction.....	105
Illustration 59 : Schéma des fonctionnalités de Répartition et de Distribution.....	106
Illustration 60 : Tableau type de la période initiale 1880 /1885.....	108
Illustration 61 : Fonctionnalités du tableau type de la période initiale 1880 /1885.....	109
Illustration 62 : Tableau type 1890.....	110
Illustration 63 : Fonctionnalités du tableau type 1890.....	110
Illustration 64 : Tableau de répartition et plusieurs tableaux de distribution.....	112
Illustration 65 : Fonctionnalités du tableau de répartition avec des tableaux de distribution.....	113
Illustration 66 : Fonctionnalités des tableaux avec une manœuvre électrique des canons.....	114
Illustration 67 : Tableau de répartition pour l'artillerie du Jauréguiberry.....	115

Illustration 68 : Sécurité reliant les tableaux de répartition du Jauréguiberry.....	115
Illustration 69 : Fonctionnalités des tableaux avec des dynamos couplées en quantité.....	116
Illustration 70 : Tableau de répartition du Bouvet.....	117
Illustration 71 : Tableaux de distribution du Bouvet.....	118
Illustration 72 : Exemple d'un système en boucle de la Royal Navy.....	119
Illustration 73 : Interrupteur à couteaux.....	122
Illustration 74 : Détecteur de pertes.....	123
Illustration 75 : Tableau de distribution principal de l'USS Jupiter.....	125
Illustration 76 : Presse-étoupe étanche pour 30 fils (Marceau 1887).....	132
Illustration 77 : Passage de cloison étanche avec un disque plat.....	133
Illustration 78 : Codification des canalisations.....	138
Illustration 79 : Schéma et diagramme de calcul.....	141
Illustration 80 : Douille à vis Pieper.....	143
Illustration 81 : Durée de vie vs Puissance.....	144
Illustration 82 : Durée de vie vs voltage.....	145
Illustration 83 : Croissance des sections de câbles.....	148
Illustration 84 : Recettes des câbles et mesures d'isolement.....	149
Illustration 85 : Câble à isolant minéral et à gaine métallique.....	152
Illustration 86 : Prélèvement archéologique d'un câble au plomb 1911.....	153
Illustration 87 : Implantation machines AV.....	156
Illustration 88 : Emplacement des tunnels de câbles.....	157
Illustration 89 : Une carte postale « Nos électriciens : La perte est positive ».....	161
Illustration 90 : Réglage d'une mine à contact électrique 1914.....	168
Illustration 91 : Distribution de la force motrice par courroie - 1918.....	169
Illustration 92 : Insigne de spécialité d'électrotechnicien (Marine Nationale Equipage).....	171
Illustration 93 : Électricien en pantoufles.....	175
Illustration 94 : Atelier d'électricité de Toulon 1925.....	177
Illustration 95 : Électricien intervenant sur une dynamo en rotation.....	183
Illustration 96 : Maintenances sur une dynamo.....	184
Illustration 97 : Tableau électrique avec interrupteurs à couteaux.....	185
Illustration 98 : Électriciens travaillant sur un tableau et une dynamo.....	186
Illustration 99 : Brevet provisoire d'électricien.....	194
Illustration 100 : Brevet élémentaire d'électricien.....	195
Illustration 101 : Analyse quantitative du contenu du Manuel de l'électricien 1880-1952...	197
Illustration 102 : Unités physiques utilisées par la maistrance.....	198

Illustration 103 : Brevet supérieur d'électricien.....	200
Illustration 104 : Vaisseau Algésiras – Ecole des torpilleurs 1888.....	204
Illustration 105 : Cuirassé Marceau – Ecole des torpilleurs 1906.....	205
Illustration 106 : Le croiseur-école D'Entrecasteaux en 1912.....	206
Illustration 107 : Cuirassé Amiral Tréhouart - Ecole des TSF 1919.....	207
Illustration 108 : Cuirassé Patrie – Ecole des électriciens 1919.....	207
Illustration 109 : Cuirassé Condorcet – Ecole des électriciens 1927.....	208
Illustration 110 : Cuirassé Paris – Ecole des électriciens 1931.....	208
Illustration 111 : Extrait de l'atlas de coque.....	212
Illustration 112 : Commutateur de retour automatique de position -1891.....	217
Illustration 113 : Relais à trois contacts.....	219
Illustration 114: Exercice sur une pièce de 152 mm en 1904.....	222
Illustration 115 : Convoyage séparé de gargousses et d'obus.....	224
Illustration 116 : Équipement pneumatique d'une tourelle- 1896.....	226
Illustration 117 : Tourelle blindée à mécanisme hydraulique - 1891.....	227
Illustration 118 : Pointage en direction par pistons et chaînes.....	228
Illustration 119 : Manœuvre électrique sur un canon Canet.....	230
Illustration 120 : Commutateur de résistance - dispositif Canet.....	230
Illustration 121 : Dispositif pour la rotation des tourelles du croiseur Capitan Prat.....	231
Illustration 122 : Commande à relais Sautter-Harlé.....	232
Illustration 123 : Pointage avec deux dynamos en prise directe.....	233
Illustration 124 : Appareil Janney avec sa commande.....	235
Illustration 125 : Appareil Janney et rotation d'une tourelle.....	236
Illustration 126 : Dynamo et transmission Janney pour le pointage.....	236
Illustration 127 : USS Brooklyn en 1898.....	237
Illustration 128: Pointage en hauteur – système Bréguet.....	238
Illustration 129 : Matériel polyphasé Bréguet-Routin.....	239
Illustration 130 : Matériel polyphasé Granat.....	239
Illustration 131 : Cinq exemples de répartition des usages de l'énergie électrique.....	249
Illustration 132 : Moteur Brotherhood avec une machine Sautter-Lemonnier de 200 becs. .	254
Illustration 133 : Moteur système Mégy.....	255
Illustration 134 : Moteur bi-cylindre tandem équipant une machine Sautter-Lemonnier.....	256
Illustration 135 : Moteur bi-cylindre Armington & Sims Engine à faible hauteur.....	257
Illustration 136 : Moteur mono-cylindre de petite puissance.....	258
Illustration 137 : Moteur bi-cylindre à double effet , constructeur Bellis.....	259

Illustration 138 : Moteur compound vertical.....	261
Illustration 139 : Moteur compound horizontal à deux cylindres.....	262
Illustration 140 : Turbine à vapeur Amstrong.....	263
Illustration 141 : Turbine à vapeur mono étage constructeur De Laval.....	264
Illustration 142 : Turbo-dynamo Sautter-Lemonnier.....	265
Illustration 143 : Turbine multi-étages General Electric.....	266
Illustration 144 : Tableau comparatif de 23 dynamos en 1888.....	269
Illustration 145 : Dynamo type H.....	271
Illustration 146 : Formes de masses polaires.....	272
Illustration 147 :Dynamo multipolaire.....	272
Illustration 148 : Dynamo duplex Bréguet.....	273
Illustration 149 : Dynamo « triplex ».....	273
Illustration 150 : Rotor avec un collecteur.....	274
Illustration 151 : Rotor avec deux collecteurs.....	274
Illustration 152:Dynamo duplex Bréguet (type Cassard).....	276
Illustration 153 : Dynamo type M. 24.....	276

Sources et bibliographie

Sources manuscrites

Service Historique de la Défense

Les tableaux ci-dessous ne font pas état des consultations d'ouvrages ayant une cote individualisée au sein du SHD. Ne sont mentionnés que les ensembles de documents non répertoriés de manière individualisée, dans des boîtes le plus souvent.

Site de Brest

Cote	Titre
5 G 151 /1 à 9	Croiseur <i>Emile BERTIN</i> dossier de construction
4E3 4761/4762	Croiseur <i>Emile BERTIN</i> rôle d'équipage 1934

Site de Lorient

Cote	Titre
	Atlas n°4 Coque et électricité Escorteur <i>Duperré</i>
	Atlas Coque et électricité Escorteur <i>Surcouf</i>
	Atlas n°1 Coque <i>Jeanne d'arc</i>
	Atlas Coque Torpilleur <i>Brestois</i>

Site de Chatelleraut

Cote	Titre
AA18 2I 15 carton 2	Production d'énergie électrique à bord
AA18 2I 15 carton 3	Distribution de l'électricité
AA18 2I 15 carton 4	Distribution de l'électricité Eclairage
AA18 2I 15 carton 6 à 11	Instructions techniques de la Marine, Normes Marine Nationale

Concernant le croiseur *Emile Bertin*, le site de Chatelleraut possède des plans d'équipements-coque (11), torpilles (4), machines (28), mais pas d'atlas de plans électriques.

ENSM de Nantes – Centre de Documentation

Les plans des navires militaires ci-dessous ont été conservés dans les locaux de l'ENSM de Nantes et mis à l'abri en 1940. Leur inventaire a été effectué en juillet 2016 sous l'impulsion de Pascal ROBERT, professeur d'électrotechnique à l'ENSM et chercheur associé au Centre François VIETE.

Titre	Date de notification du marché
SUFFREN : croiseur de 10 000 Tx protégé, 1. Appareil moteur et évaporatoire: Atlas de montage - Atlas n° 1 - Atlas n° 4	20/01/1926
BOUGAINVILLE : Aviso pour campagnes lointaines (plans conformes à l'exécution) Appareil moteur Diesel à hélices de 3200 cv effectifs à 205 tours - Atlas n° 1/4 des plans : Appareil moteur - Atlas n° 2/4 des plans : Appareils auxiliaires du compartiment des moteurs - Atlas n° 3/4 des plans : Tuyautages généraux et rechanges du compartiment des moteurs	22/03/1929
EMILE-BERTIN : croiseur mouilleur des mines 5980 Tx W (plans conformes à l'exécution) - Atlas n° 1/ ? Appareil évaporatoire. - Atlas n° 2 deux/ ? Appareil moteur. - Atlas n° 5 / ? Electricité.	11/09/1931
CHASSEURS DE SOUS-MARINS de 150 Tw – CH2 – CH4 Appareil moteur de type MAN (plans conformes à l'exécution) 3 troistomes - Tome I - Tome II - Tome III	14/09/1931
LE TRIOMPHANT : contre-torpilleur de 2610 T Appareil moteur – Atlas de montage 1er volume 2ème volume	1933 (?)

Sources imprimées

Ces documents ont été consultés dans plusieurs sites physiques et sur quelques sites informatiques. Outre les établissements précédemment mentionnés, les principales bibliothèques visitées sont la bibliothèque du CNAM à Paris, la bibliothèque Forney, le centre de documentation de l'école centrale de Nantes.

Les principaux sites web consultés sont Gallica, la Bibliothèque numérique en histoire des sciences et des techniques du Conservatoire Numérique des Arts et Métiers, le site du Centre d'études stratégiques de la Marine, le site CAIRN, le site du San Francisco Maritime National Historical Park, le site du Historic Naval Ships Association, les collections numériques de la Library of Congress à Washington, le Centre for Maritime Historical Studies de l'Université d'Exeter, le site du Naval History and Heritage. D'autres serveurs numériques ont permis de croiser certaines informations et de conforter les analyses présentées.

Les ouvrages

ABEILLE, L. *Considérations générales sur les installations électriques à bord des bâtiments de guerre*. Paris, Revue Maritime et Coloniale, 1893.

ASCHBACHER. *Organisation du service de l'artillerie légère*. Paris, Revue maritime, Tome 175, 1907.

AUBUSSON, Edouard. *Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime*. Paris, Librairie Maritime, 1899.

BAYLE. *Couplage des dynamos et régulateurs compensés*. Paris, Revue maritime - Tome 174, 1907.

BERNAY, Henri. *Visite d'un navire chilien*. Paris, Le Yatcht n°2385, 1928.

BLACK, H.S. *Stabilized feedback amplifiers*. New-York, The Bell system technical journal, 1934.

BLERZY, H. *Les phares et les balises*. Paris, Revue des deux mondes - Tome 62, 1866.

BONNEFONT, Gaston. *Le règne de l'électricité*. Tours, Alfred Mame et fils, 1895.

BOUASSE, Henri. *Résistance des fluides - L'esprit Taupin*. 1928.

CALFAS, P. *Revue générale des sciences pures et appliquées - Tome 26*. Paris, Octave DOUIN & fils, 1915.

CALLOU, Louis. *Electricité pratique : cours professé à l'école supérieure de maistrance de Brest*. Paris, Challamel, 1894.

CALLOU, Louis. *Électricité pratique : cours professé à l'école supérieure de maistrance de Brest*. 2^Nde édition revue et corrigée, Paris, Librairie Maritime et Coloniale, 1897.

- CASSEY, T.E. *Alternating current in the electric plant on naval vessels*; JASNE Vol 44. Washington, R. Beresford, 1932.
- CHARLTON, Alexander. *Current-carrying capacity of electric cables, US Navy*. Washington, Journal of the American Society of Naval Engineers, 1919.
- CREMEL. *Aide-mémoire de poche de l'électricien*. Paris, 1910.
- CRONEAU, Alphonse. *Construction pratique des navires de guerre-Tome 2*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.
- DANA GREENE. *Recent naval progress-The electric lighting of US ships of war*. Washington, Office of naval intelligence, 1887.
- DE BLOCH, Jean. *La Guerre future - Tome III*. Paris, Guillaumin et Cie, 1898.
- DE KADORE, Pierre. *Armée et marine -N° 51*. Paris, 1907.
- DE PARVILLE, Henri. *L'électricité et ses applications*. Paris, Masson, 1883.
- LAYA. *Par les moyens du bord*. Toulon, Le cri du marin n°52, 1913
- DESMER, Jean. *Le brevet supérieur*. Toulon, Le cri du marin n°23, 1913
- DU MONCEL, Théodore. *L'éclairage électrique*. Paris, Librairie Hachette, 1879.
- DUCAUSSOY. *La batterie de côte*. Ecole d'Application de l'Artillerie, 1932.
- FATOU, Louis. *Appareils de manoeuvre à l'air comprimé à bord du monitor américain TERROR*. Paris, Revue maritime, 1897.
- FIGUIER, Louis. *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes, Supplément aux Bâtiments cuirassés, tome II*. Furne, Jouvet et Cie, 1891.
- FIGUIER, Louis. *L'année scientifique et industrielle*. Paris, Librairie Hachette, 1894.
- FONTAINE, Hippolyte. *Eclairage à l'électricité*. Paris, Librairie Polytechnique, Baudry et Cie, 1888.
- GAUTIER, Ch. *Service de l'artillerie dans la défense des côtes*. Paris, Ecole d'application de l'artillerie et du génie, 1894.
- GAYDE. *Cours pratique de construction navale*. Paris, Challamel, 1895.
- LESTONNAT, Raymond. *L'amiral GERMINET*. Paris, Navigazette n°964, 1907.
- GOLDSMIT. *Cours d'artillerie navale*. Paris, École d'application du génie maritime, 1914.
- GROSJEAN, Marius. *Les projecteurs de gros calibre pendant la guerre*. Paris, Revue Générale de l'Electricité - Tome VI - N°14, 1919
- GROSJEAN, Marius. *Les projecteurs de gros calibre pendant la guerre (fin)*. Paris, Revue Générale de l'Electricité - Tome VI - N°16, 1919
- HORNER. *Journal of the American Society of Naval Engineers-Volume XXVII*. Washington, R. Beresford, 1915.

- HOSPITALIER, E. *L'Électricité à l'Exposition de 1900. 15. Applications diverses*. Paris, Vve Ch. Dunod, 1902.
- HOSPITALIER, Edouard. *L'Électricité à l'Exposition de 1900. 15. Applications diverses*. 1902.
- JOURDAN, Sauvaire. *La Nature N° 1828 - Le pointage automatique des canons de marine*. Paris, Masson, 1908.
- JOURDAN, Sauvaire. *La marine de guerre*. Vuibert, 1910.
- JOURNET et POLLARD. *Rapport sur les appareils d'éclairage électrique à bord du Richelieu*. Mémorial du Génie Maritime, 1879.
- JUPPONT, Pierre. *Science et Guerre - L'éclairage électrique à la guerre*. Paris, Bernard TIGNOL, 1888.
- KELLER et PIKE. *Roper's questions and answers for stationary and marine engineers and electricians*. Philadelphia, David McKAY, 1897.
- KRAMMBRER, Victor. *Danger du courant électrique et moyens de les éviter*. Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°4, 1904.
- KRAMMBRER, Victor. *Danger du courant électrique et moyens de les éviter (fin)*. Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°14, 1905.
- LAFFARGUE, Joseph. *Manuel de l'ouvrier monteur électricien*. Paris, B.TIGNOL, 1898.
- LEBLOND, Henri. *Cours élémentaire d'électricité pratique - 2de édition*. Berger-Levrault et Cie, 1896.
- LEBLOND, Henri. *Cours élémentaire d'électricité pratique - 3ième édition*. Berger-Levrault et Cie, 1899.
- LEBLOND, Henri. *Complément du cours d'électricité*. Ministère de la Marine, 1900.
- LEDIEU et CADIAT. *Le nouveau matériel naval*. Paris, Vve Charles DUNOD, 1889.
- LUCAS, Jean. *La D.C.A. ,de ses origines au 11 novembre 1918*. Paris, Baudinière, 1934.
- MADAMET. *Instructions et écoles*. Paris, Carnet du Génie Maritime, 1874.
- MARTIN, Julius. *Electrical installations of the US NAVY*. Annapolis, The US Naval institute, 1907.
- MARTINENQ, Benjamin. *Aide-mémoire du constructeur de navires*. 1901.
- MAUGER. *La sécurité dans la navigation*. Paris, Armée et marine, 1914.
- MCDOWELL. *Fundamentals of naval service - Electricity in the navy*. Philadelphia, J.B. LIPPINCOTT, 1917.
- MERVEILLEUX DU VIGNAUX. *L'artillerie à tir rapide en France*. Paris, Société des ingénieurs civils de France, 1894.

- MINEL, P. *Electricité appliquée à la marine*. Gauthier-Villars et fils, 1904.
- MONMERQUE. *Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité*. 2e édition. Paris, C. Béranger, 1904.
- MORLEY, A. *Journal of the American Society of Naval Engineers-Volume VII*. Washington, R. Beresford, 1895.
- NICOL, Ernest. *Traité d'artillerie à l'usage des officiers de marine*. Paris, Berger-Levrault et Cie, 1894.
- O'CONNOR. *Practical electricity*. New-York, THE NORMAN W. HENLEY PUBLISHING CO., 1913.
- OLLIVE (CF). *Artillerie (Utilisation)*. Ecole de Guerre navale, 1927.
- PICARD. *La science et la vie*. Paris, 1913.
- PICOU, R.V. *La distribution de l'électricité*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890.
- REY, Jean. *La commande électrique des tourelles cuirassés*. Paris, Bulletin de la Société Française des Electriciens, 1921.
- RICAUD. *Applications de l'électricité à la marine*. Paris, 1930.
- ROBINSON. *The applicability of electrical propulsion to battleship*. New-York, Society of naval architects and marine engineers, 1914.
- SAINT-EDME, Ernest. *Cathéchisme d'électricité pratique*. Paris, Bernard TIGNOL, 1895.
- SHELDON, Samuel. *Dynamo electric machinery*, New-York, Van Nostrand Company, 1900,
- SVIET. *L'électricité dans la marine militaire, les services de l'artillerie*. Paris, Revue pratique de l'électricité - Deuxième série - N°22, 1904.
- TOGARI. *Louis-Emile BERTIN, son rôle dans la création de la marine japonaise*. Paris, Charles LAVAUZELLE & Cie, 1935.
- TREVE, A. *Etude sur les machines magnéto-électriques*. Paris, Revue Maritime et coloniale, Tome 23, 1868.
- VUILLERME. *Note au sujet d'un servo-moteur hydro-électrique*. Mémorial du Génie Maritime, 1901.
- WAUWERMANS. *Applications nouvelles de la science et de l'industrie à l'art de la guerre*. Paris, Tanera, 1869.
- WEISSENBRUCH, L. *Les appareils de projection de lumière électrique en usage dans les armées européennes*. Librairie militaire C.MUQUARDT. Bruxelles, Revue militaire belge - Tome II, 1882.
- WEISSENBRUCH, L. *Les appareils de projection de lumière électrique en usage dans les armées européennes (fin)*. Librairie militaire C.MUQUARDT. Bruxelles, Revue militaire belge - Tome III, 1882.

YTIER, Emile. *Note sur une installation d'éclairage de fortune faite à bord du Japon*. Paris, Revue Maritime et Coloniale - Tome 117, 1893.

Album de la science. Paris, Ancienne Librairie FURNE, 1894.

Annales industrielles. Paris, 1887.

Bulletin d'information du Génie Maritime, 1925.

Bulletin Technologique -Ecole Nationale des Arts et Métiers. Paris, Librairie Chaix, 1901.

Canons électriques système Fauchon-Villeplée. Paris, Revue d'artillerie, 1922.

Carnet de l'officier de marine. 1895.

Carnet de notes pour le Génie Maritime - Fascicule 3, 1897.

Cours d'électricité professé à l'École d'application du génie maritime. Paris, Bernard et Cie, 1894, 239 p.

Distribution de l'électricité -IT N°II VII C. Paris, Marine Nationale, 1931.

Exposition universelle de 1889. Paris, 1889.

General information, Series N°3. Washington, Office of naval intelligence, 1884, 380 p.

La marine à l'exposition de 1878, Tome 1. Gauthier-Villars, J.Hetzel et Cie. Paris, 1879.

La marine à l'exposition de 1878, Tome 2. Gauthier-Villars, J.Hetzel et Cie. Paris, 1879.

La mécanique à l'exposition de 1900 - Tome III. XVII. Les applications mécaniques de l'électricité. Paris, 1902.

La nouvelle revue -Tome 32. Paris, La nouvelle revue, 1885.

La revue industrielle - supplément au N°31. Paris, 1890.

Le problème du tir des torpilles. Paris, Ecole de Guerre navale, 1922.

Manuel du canonier breveté. 1915

Manuel du marin électricien - EDITION PROVISOIRE. 1918.

Manuel du matelot électricien -PREMIERE EDITION. France, Marine Nationale, 1921,.

Manuel du mécanicien torpilleur-PREMIERE EDITION - 2e et 3e Partie - Pompes de compression, Appareils photo-électriques. France, Ministère de la Marine, 1890, 100 p.

Mémoire de l'académie des sciences ... d'Amiens-Tome XLIII. Amiens, Librairie Yvert et Tellier, 1897.

Naval mobilization and improvement in materiel. Washington, Office of naval intelligence, 1888 et 1889.

Notes on naval progress. Washington, Office of naval intelligence, 1902.

Radio World - Vol 1 - N°6. New-York, Radio World Co, 1922.

Rapport au Sénat n°137 - séance du 29 mars 1913. Paris, 1913.

Revue du cercle militaire - Les étapes du torpilleur. Paris, 1888.

Revue du Génie Militaire - Tome XXI. Paris, Rue de Bellechasse, 1901.

Revue technique de l'exposition de Chicago en 1893. Paris, Bernard et Cie, 1894.

Revue technique de l'exposition universelle de Chicago. 1893.

Tactique appliquée des forces de surface. Ecole de Guerre navale, 1931.

The year's naval progress. Washington, Office of naval intelligence.1891.

Torpedo manual for His Majesty's fleet. Londres, Eyre and Spottiswoode Ltd, 1907, 433 p.

Ventilation,Sautter Lemonnier & Cie. SHD, 177CG2_Carton 01, 1878.

Les périodiques

Les périodiques mentionnés ont fait l'objet de recherches thématiques sur les années 1880- 1935.

Une vingtaine de revues françaises ou en langue anglaise ont été consultées, avec des renvois ponctuels sur les notes en bas de page.

La consultation des articles traitant de l'électricité dans la Revue Maritime et la Revue Maritime et Coloniale doit beaucoup au travail de Master effectué en 2011 par Matthieu CASALI. Ce mémoire particulièrement intéressant m'a été signalé par Jean-Claude LEROUX, responsable du SHD de Lorient.

Titre	Date	Numéro
Armée et marine	1901, 1904	N°11, N° 3
Bulletin d'encouragement pour l'industrie nationale	1877	
Bulletin d'information du Génie Maritime	1925, 1926, 1927	N° 1, 3, 4, 5, 6
Bulletin de l'Association Technique Maritime, puis Bulletin de l'Association Technique Maritime et Aéronautique	1890-1924 1925 – 1960	
Bulletin Officiel de la Marine	1912 1913 1914 1915 1921 1923	
Electrical experimenter		
General Electric Review	De 1907 à 1921	Du N° 9 à 24
Journal Officiel	1914, 1925	
L'électricien	1911-1922	de 1070 à 1314
La lumière électrique	1879 à 1894	Tome 1 à 46
La lumière électrique - Deuxième série	1915 1916	Tome 30et 35

Titre	Date	Numéro
La nature	1908	
Le cri du marin	1913	N° 52, 58
Le Figaro	1927	
Le Génie civil	1885 1896 1911 1921	
Mémorial du Génie Maritime	1866 à 1878, 1901	Tome n° 17 à 38
Navigazette	1907, 1911 , 1913	N° 936, 1165, 1273
Revue des deux mondes	1866	Tome 62
Revue du cercle militaire	1887 1888 1889 1898	
Revue Générale d'Electricité	1917 -1923	13 numéros
Revue Industrielle	1879 1890	N° 27, 31 Sup.
Revue Maritime	1896, 1898, 1901, 1909	
Revue Maritime et Coloniale	1868 à1895 1920-1923	Tome 47, 76,124
Revue militaire des armées étrangères	1901 à 1914	32 numéros
Revue pratique de l'électricité - Deuxième série	1904 1907	N°11, 12 et 13 N°16

Bibliographie

- ABEGUILLE-PETIT, Catherine. *Marine et industrie en Bretagne : l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIIIème et XIXème siècles*. Rennes, Université de Rennes 2, 2002.
- BARRON, Géraldine. *Edmond Pâris et la révolution maritime du XIXe siècle : un engagement technologique*. <http://paris.hypotheses.org/471>, consulté le 30 juillet 2016.
- BERTHIAU, Jean André. *Des maîtres entretenus aux ingénieurs (1819-1971)*. Paris, Université de Paris 4, 1997.
- BLANC, P. *Electricité, armement, défense*. Bulletin de l'histoire de l'électricité N°23. Paris, Association pour l'histoire de l'électricité en France, 1994.
- BOUCHET, Renaud. *Mémoire du camouflage de la Grande Guerre dans l'art contemporain*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2016.
- BOUVIER, Yves. *Les revues d'électricité et la construction d'une communauté internationale de pratique technologique à la fin du XIXème siècle*. Paris, Le Temps des médias, 2008.
- BRISOU, Dominique. *Accueil, introduction et développement de l'énergie vapeur dans la marine militaire française au XIXème siècle*. Paris 4, 1998.
- BRISOU, Dominique. *La propulsion du sous-marin français des origines à 1940*. Service Historique de la Défense. Paris, 2007.
- CARON, François et CARDOT Fabienne . *Histoire de l'électricité en France - Tome premier 1881-1918*. Paris, Fayard, 1991.
- CARON, J.P. *Les premiers pas de l'éclairage électrique au XIXe siècle*. Paris, Bulletin de la société pour l'encouragement de l'union des physiciens, 2001.
- CRAWFORD, Matthew B. et SAINT-UPERY Marc. *Éloge du carburateur essai sur le sens et la valeur du travail*. Paris, la Découverte, 2010.
- DELUMEAU, Isabelle. *Les Dardanelles ou la fin de l'illusion des prédreadnought*. Revue d'histoire maritime, 2015.
- GILLE, Bertrand. *Histoire des techniques*. Paris, La Pléiade, 1978.
- HUGHES, Thomas. *L'histoire comme système en évolution*. Paris, Annales HSS, 1998.
- LASSAQUE, Jean. *Le croiseur Emile BERTIN 1933-1959*. Bourg en Bresse, Marines Editions, 2004.
- LUCAS, Jérôme. *La fée électricité entre dans les campagnes bretonnes*. Langast, Editions Récits, 2015.
- MABER, John. *Electrical supply in warships, a brief history*. MoD, 1980.

- MCDOWELL. *Fundamentals of naval service - Electricity in the navy*. Philadelphia, J.B. LIPPINCOTT, 1917.
- MERER, Laurent. *Bulletin d'études de la Marine - N° 45*. Ministère de la Défense, 2009.
- MOULIN, Jean et JORDAN John . *French cruisers 1922-1956*. Annapolis, Naval Institute Press, 2013.
- NEE, Marlène. *Arsenal & activités associées : les industries militaires à Cherbourg 1900 – 1939*. Caen, 2008.
- PEIRA, M.P. *Historique de la conduite de tir dans la marine 1900-1940*. Mémorial de l'artillerie française, 1957.
- ROBERT, Pascal. *Histoire des techniques électriques employées sur les navires civils au XIXe et au début du XXe siècle*. Nantes, 2008.
- ROCHE, J.M. *La flotte de guerre française de 1671 à nos jours*. Paris, SHD Vincennes, 2005.
- SKJONG et J. CUNNINGHAM. *The Marine Vessel's Electrical Power System _history*. New-York, iee.org/document/7329674/references, 2015.
- SMITH. *A short history of naval and maritime engineering*. Cambridge, The university press, 1938.
- THERY, René. *Marine française et progrès technique*. Paris, Revue de la Défense Nationale, 1950.
- TOBIN, William. *Léon Foucault, le miroir et le pendule*. Les Ulis, EDP Sciences, 2002.
- TUPET, Jacques. *Historique de l'officier du recrutement interne dans la marine*. Paris, Société d'études, 1995.
- TUPET, Jacques. *La nouvelle flotte française (1890-1914) - Carnet de la Sabretache 208*. Paris, La Sabretache, 2016.
- VILLAIN-GANDOSSI, Christiane. *Deux siècles de constructions et chantiers navals milieu XVIIe-milieu XIXe siècle [actes du 124e congrès des sociétés historiques et scientifiques, section sciences géographiques et environnement, Nantes, 19-26 avril 1999]*. Paris, Ed. du CTHS, 2002.

Un corps au service de la Marine: les IETA. Paris, Marine-Cols Bleus, 1973.

Titre : L'introduction de l'électricité dans la marine militaire, 1880 – 1935.

Mots clés : Électricité, marine, Histoire des techniques, artillerie navale, épistémologie, Conduite de système

Résumé : Dès 1880, le projecteur photo-électrique contribue à la protection des cuirassés contre les torpilleurs, ouvrant la voie à de multiples applications embarquées. Alors qu'à terre l'électricité se répand sous la forme de réseaux socio-techniques, le processus de l'électrification des navires militaires interfère fortement avec les innovations des armes navales. Après la diffusion de l'éclairage intérieur, nombre de servitudes quittent la motorisation à vapeur pour des dispositifs électromécaniques. Au service de la mission militaire, ces usages sont énergivores et la maîtrise du système technique devient impérative, sa fiabilité étant un enjeu au combat. Vers 1910, la complexité de l'outil fait apparaître un professionnalisme spécifique, indispensable pour que chacun dispose d'une énergie devenue essentielle. Le savoir-faire du marin électricien s'appuie sur des écoles de formation et sur la l'expérience acquise, l'équipage et sa hiérarchie adaptant en autonomie les pratiques à leur environnement. Durant cette période, seule l'US Navy expérimente la propulsion électrique sur un bâtiment de surface et elle n'en généralise pas l'usage. Par ailleurs, les cultures maritimes différentes des flottes facilitent ou entravent la motorisation électrique des tourelles blindées. L'artillerie navale est l'ultime conquête de cette jeune énergie, mais deux freins brident ce système technique électrique: le courant continu limite les performances des génératrices et les asservissements de puissance manquent de modèles conceptuels face aux boucles de rétroaction. En 1930, devenue incontournable à bord, l'énergie électrique y apporte une contribution essentielle aux armes navales.

Title : History of the introduction of electricity into the military navy, 1880 – 1935

Keywords : Electricity, military navy, History of technology, naval artillery, epistemology, System control

Abstract : From 1880, the photoelectric projector contributed to the protection of battleships against torpedo boats, paving the way for multiple on-board applications. As electricity spreads ashore in the form of socio-technical networks, the electrification process of military ships interacts strongly with naval weapon innovations. After the diffusion of interior lighting, many servitudes leave the steam engine for electromechanical devices. In the service of the military mission, these uses are energy consuming and the control of the technical system becomes imperative, its reliability being an issue in combat. Around 1910, the complexity of the tool revealed a specific professionalism, essential for everyone to have access to an energy that had become essential. The electrician's know-how is based on training schools and experience gained, with the crew and their hierarchy independently adapting skills to their environment. During this period, the different maritime cultures of the fleets facilitate or hinder the electric motorization of the armoured turrets. Thus, only the US Navy experiments with electric propulsion and does not generalize its use. Naval artillery is the ultimate conquest of this young energy, but two difficulties hinder this electrical technical system: direct current limits the performance of generators and power servoing lacks conceptual models to deal with feedback loops. In 1930, electrical energy, which had become a must on board, made an essential contribution to naval weapons.