

Electricité à bord d'un bateau.

Table des matières

Principes généraux et composants d'un circuit électrique

I/ Principes généraux

- 1/ tension alternative et continue
- 2/ Principes généraux sur les unités de mesure

II/ Composants d'un circuit électrique

- 1/ Les fournisseurs d'énergie électriques.
- 2/ Les conducteurs d'énergie électriques.
- 3/ Les consommateurs d'énergie électrique

Elaborer un circuit électrique de charge

I/Circuit de charge basique

- 1/ Quelques notions importantes concernant les batteries
- 2/ Quelques notions importantes concernant les alternateurs
- 3/ Quelques notions importantes concernant les câbles
- 4/ Quelques notions importantes sur les pôles + et –

II/Circuit de charge moteur

- 1/ Circuit de charge commun
- 2/ Circuit de charge séparé

III/Circuit de charge étendu

IV/Circuit de charge complet

- 1/ Les chargeurs de quai
- 2/ Les groupes électrogènes

Elaborer un circuit de distribution

I/Circuit de distribution 220V~

- 1/ Eléments de base concernant la distribution EDF de 220V~
- 2/ Circuit de base de distribution "privé" de 220V~

II/Circuit de distribution basse tension continue

Deux possibilités seront à envisager: le circuit 110/220V alternatif et le circuit 12V continu.

Principes généraux et composants d'un circuit électrique

I/ Principes généraux

1/ Tension alternative et tension continue

Le circuit alternatif signifie que la tension est débitée en alternance. Vue sur un appareil de mesure adéquat (oscilloscope), la trace de la tension aura une forme plus ou moins sinusoïdale dont la fréquence est de 50 Hertz (Hz) en Europe et de 60 Hz dans certains pays tels que les Etats Unis. Le réseau EDF fournit du 220V/50Hz. Une borne de quai à Lorient ou Nice vous fournit donc une électricité de ce type.

Le circuit continu signifie que la tension est fixe. Vue sur un oscilloscope, la trace de la tension aura une forme d'une ligne (plus ou moins droite). Une batterie ou une pile fournit une tension stable donc en ligne droite. Un appareil de redressement d'une tension alternative fournit une tension redressée dont la trace aura une forme plus ou moins légèrement ondulante selon la qualité dudit redresseur.

On peut fabriquer une tension continue à partir d'une tension alternative (ex: chargeur de batterie) et on peut fabriquer une tension alternative à partir d'une tension continue (ex: convertisseur). Nous ne rentrerons dans le détail de ces technologies que selon besoin du présent exposé.

2/ Principes généraux sur les unités de mesures

Une tension électrique (U) se mesure en Volts (V). On appelle cela également une différence de potentiel. Pour prendre une image avec un cours d'eau, on peut comparer une tension électrique avec le dénivelé moyen d'un cours d'eau.

La vitesse de débit électrique, son intensité (I) se mesure en ampères (A). On parle alors du courant électrique. Pour prendre une image avec un cours d'eau, on peut comparer une intensité électrique avec la vitesse d'écoulement d'un cours d'eau.

Une résistance électrique (R) se mesure en Ohms (Ω). Pour prendre une image avec un cours d'eau, la résistance "pure" d'un cours d'eau, hors écluses et autres objets "freinants" serait son lit.

On peut considérer qu'une rivière a des caractéristiques communes liées à son dénivelé, sa vitesse et les caractéristiques de son lit (profondeur, distance entre berges). C'est à dire que le débit de l'eau sera régulé par le dénivelé et les caractéristiques du lit.

En électricité également, il existe un lien entre tension, intensité et résistance défini par la loi dite d'Ohm:

$$U=RI$$

Exemple:

a - Je possède une batterie de 12V que je branche sur une résistance de 4Ω , j'aurai alors un courant de $12/4$ soit 3A.

b – Je possède une batterie de 12V que je branche sur un appareil (ou charge) fonctionnant en 12V qui "tire" 3A selon les caractéristiques indiquées sur l'appareil. Cela revient à dire que cet appareil possède une résistance interne de 4Ω .

A propos des caractéristiques de charges, il est parfois mentionné la puissance (P) absorbée d'un appareil. La puissance est exprimée en watts (W). Une autre unité de puissance, utilisée en mécanique essentiellement est le cheval-vapeur (CV). 1CV équivaut approximativement à 700W. En électricité, la relation de puissance peut être énoncée par la formule suivante sur un dispositif à courant continu:

$$P=UI$$

Exemple:

a - je possède une ampoule dont les caractéristiques indiquées sont 12V/6W. Cela signifie que cette ampoule "consomme" $6/12$ soit 0.5 ampères. Cela signifie que dans son circuit circule une intensité de 0.5A.

b – je possède un chargeur de batterie d'une puissance nominale de 60W à brancher sur une batterie de 12V, cela signifie qu'il débitera théoriquement un courant de charge de $60/12$ soit 5A dans ma batterie.

c – je possède un alternateur moteur de 80A, cela signifie que sa puissance théorique est de 80×12 soit 960W.

Tous ces exemples sont purement théoriques et valables dans des conditions "normales" de fonctionnement, c'est à dire dans des plages d'utilisation préconisées. Les plaques signalétiques des différents objets fournissent ces indications et un circuit électrique doit être en relation avec les usages attendus.

II/ Composants d'un circuit électrique

Tout circuit électrique peut se résumer par trois composants:

- Un fournisseur d'énergie électrique
- Un conducteur d'énergie électrique
- Un consommateur d'énergie électrique

Un circuit défaillant est le signe de mauvais fonctionnement d'un ou plusieurs de ces trois composants. En outre, le dysfonctionnement d'un seul peut se répercuter sur la qualité de l'un et/ou l'autre des deux autres. D'où parfois la difficulté à trouver la cause première de dysfonctionnement dans un circuit électrique.

1/ Les fournisseurs d'énergie électriques.

On peut diviser les fournisseurs d'énergie, en ce qui nous concerne en deux catégories: Les fournisseurs "purs" et les fournisseurs "stockeurs".

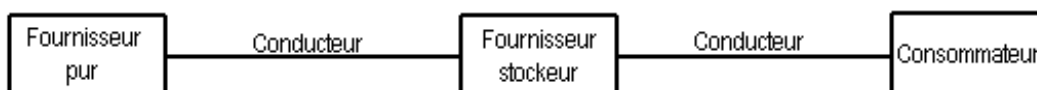
Exemples de fournisseurs purs:

- Eolienne
- Panneau solaire
- Alternateur
- Chargeur de quai
- Groupe électrogène

Exemples de fournisseurs stockeurs:

- Batterie
- Pile
- Tissu adipeux (non concerné par ce cours)

On peut en conclure qu'un fournisseur pur ne fait que charger et qu'un fournisseur stockeur peut se comporter aussi bien en consommateur d'énergie électrique qu'en fournisseur d'énergie électrique. Le stockeur est vu comme un consommateur par le fournisseur pur, il est vu comme un fournisseur pur par le consommateur final selon le schéma ci-dessous:



Un fournisseur est également appelé génériquement générateur. C'est ainsi qu'on parle de générateur de courant et de générateur de tension. Un générateur possède toujours une résistance interne qui limite son utilisation dans une certaine plage de fonctionnement au-delà de laquelle sa tension et/ou intensité s'effondre outre le fait que, s'il n'est pas protégé contre cela, il se détériorera plus ou moins rapidement. Nos différents fournisseurs à bord sont des générateurs de tension dans une plage d'intensité variable mais spécifique.

Exemples:

- a – l'éolienne qui fournit nominalement 5A. On dit qu'elle a une puissance nominale de charge de 5×12 soit 60W
- b – le chargeur de quai qui fournit au mieux 15A. On dit qu'il a une puissance de charge de 15×12 soit 180W
- c – l'alternateur qui fournit au mieux 80A. On dit qu'il a une puissance de charge de 80×12 soit 960W

Si je court-circuite un de ces appareils, cela revient à le faire débiter sur lui-même donc sur sa résistance interne. S'il est assez costaud pour le supporter, et comme il ne peut délivrer plus de puissance qu'il ne peut en donner, cela revient à augmenter considérablement l'intensité électrique et par conséquent à faire chuter la tension en accord avec ma formule $P=UI$. Dans les faits, vos générateurs sont en général

protégés contre cela, sinon il y a fort à parier que des composants du générateur vont rapidement lâcher (ex: les diodes d'un alternateur) et/ou un conducteur rendre l'âme. Nous verrons tout cela un peu plus tard.

2/ Les conducteurs d'énergie électriques.

Il s'agit simplement des fils électriques qui parcourent votre bateau, parfois dans tous les sens. Ils ont des sections variables, La couleur de leur gaine est également variable, la section de l'âme est variable, le métal composant l'âme est généralement du cuivre et l'âme peut être mono brin ou multi brin. On verra pourquoi tout ça et, par conséquent que choisir pour quel usage. A noter qu'un conducteur est également un peu consommateur, on verra cela également.

3/ Les consommateurs d'énergie électrique

Du sèche-cheveux de Madame à la lampe de quart en passant par la pompe de cale, tout ce qui est en bout de chaîne d'un circuit électrique est un consommateur d'électricité plus ou moins gourmand d'où la nécessité de le prendre en compte dans l'élaboration d'un circuit.

Elaborer un circuit électrique de charge

Rester maintenant dans la théorie ne rimerait à rien. Désormais nous nous adosserons à des cas concrets qui ne seront peut-être pas toujours les vôtres, mais suffisamment exhaustifs pour que vous puissiez en tirer une application personnelle pertinente, je l'espère. Le mieux est de réfléchir module par module pour ensuite déboucher sur l'ensemble. Je vous propose d'abord de creuser le module concernant le(s) circuit(s) de charge et travailler ensuite sur celui concernant la distribution/consommation.

Le circuit de charge basique est celui du moteur.

1/Circuit de charge basique

Il y a fort à parier que votre circuit moteur comporte un ou deux alternateurs, une ou plusieurs batteries, un démarreur, un tableau de bord et du câble. Vous avez là les trois composants basiques d'un circuit:

- Alternateur(s) = fournisseurs purs
- Batterie(s) = consommateur(s) vu(s) de l'alternateur
- Démarreur et tableau de bord = consommateurs
- Câblerie = conducteurs

Dans un circuit à un alternateur, la charge se fera dans la batterie dite de démarrage et dans la(es) batterie(s) de servitude.

Dans un circuit à 2 alternateurs, on séparera totalement circuit de charge batterie de démarrage et circuit de charge de la(es) batterie(s) de servitude.

1/Quelques notions importantes concernant les batteries

Il est fortement déconseillé d'utiliser les batteries de démarrage pour les servitudes et vice versa.

- Une batterie de démarrage est conçue pour donner beaucoup de courant pendant peu de temps, une batterie de servitude est conçue pour donner un "certain" courant de manière régulière.
- Une batterie de démarrage supporte très mal les décharges profondes et/ou prolongées, les batteries de servitudes sont conçues pour le supporter
- Toutes les batteries ne sont pas composées des mêmes matériaux
- Il est recommandé qu'un parc de batterie de servitude soit homogène, au moins en ce qui concerne le type de technologie.

Les batteries de démarrage sont de type automobile, à électrolyte liquide (acide)

Les batteries de servitude sont de plusieurs types possibles:

Les batteries au plomb-calcium sont également à électrolyte liquide, ressemblent aux batteries automobiles mais les plaques ont une épaisseur différente et leur niveau de liquide est surélevé pour compenser la gîte.

Les batteries à électrolyte gélifié ont un rendement un peu plus faible que les précédentes compensé par la sécurité qu'elles apportent. Leurs cycles de recharge sont spécifiques et tous les chargeurs ne sont pas adaptés à ce type de batterie.

Les batteries à plaques de carbone représentent une récente évolution vers un gain de poids et d'encombrement. Elles sont chères .

Une batterie est caractérisée par sa capacité en ampères-heures (AH). Ah ces fameux AH sur lesquels même les professionnels racontent bien des conneries. J'ai bien dit ampères-heures et non ampères par heure. Le malentendu est classique, c'est pourtant simple, une batterie mettons de 44AH *peut en toute théorie* débiter 44A pendant 1 heure ($44 \times 1 = 44$) ou 22A pendant 2 heures ($22 \times 2 = 44$), etc... Dans les faits, la capacité en AH correspond conventionnellement à 20 fois le courant qu'une batterie neuve et pleinement chargée fournirait en 20 heures avec phases de repos. Une batterie de 44AH peut donc fournir 2.2A pendant 20 heures en discontinu selon des normes que vous respecterez rarement. C'est comme la consommation UTAC de votre voiture.

Pour ce qui concerne votre batterie de démarrage, sa capacité doit être adaptée à votre démarreur. Pour ce qui est de vos batteries de servitude, un calcul de consommation préalable est nécessaire préalablement à vos choix. L'objectif est de ne pas descendre en dessous de 60% de charge pour ne pas détériorer durablement. Cela ne signifie pas qu'une batterie déchargée à plus de 40% soit morte, cela signifie que si elle reste en l'état régulièrement et/ou durablement, vous pourrez effectivement préparer le chéquier à court terme.

On peut mesurer approximativement l'état de charge d'une batterie en mesurant la tension à vide et au repos à ses bornes. Voici les données concernant une batterie à électrolyte liquide:

Charge	Voltage
	batterie à électrolyte liquide
100%	12,7V
90%	12,6V
80%	12,5V
70%	12,4V
60%	12,3V
50%	12,2V
40%	12,1V

2/ Quelques notions importantes concernant les alternateurs

- Les alternateurs ne sont pas à confondre avec des dynamos.
- La dynamo de la 403 du grand-père fournit une tension continue.
- L'alternateur, comme son nom l'indique d'ailleurs, fournit du courant alternatif redressé.
- Un alternateur possède ou non un régulateur intégré.
- Un alternateur fournit une puissance qui varie en fonction de sa vitesse de rotation et à partir d'une certaine vitesse de rotation.
- Un alternateur à régulateur intégré doit voir son régulateur alimenté en fonctionnement et non-alimenté à l'arrêt.

Nos alternateurs moteur de bateau sont peu ou prou les mêmes que ceux qui équipent votre automobile. Je ne parlerai pas ici des alternateurs d'arbre, à hélice traînée (hydrogénérateurs), à pales aériennes (éolienne, eh oui). Les principes sont communs à tous. Nous parlerons donc précisément de nos bons vieux alternateurs de moteur. Electriquement, ils ont 3 bornes: une notée D+ qui est l'entrée de référence, une borne B+ qui est celle qui fournira la puissance avec B-.

Il est composé de deux éléments fondamentaux:

Un stator qui est un bobinage qu'on appelle également l'induit. C'est à travers ce bobinage qu'est fabriqué (par induction) le courant alternatif de puissance (en triphasé la plupart du temps). Ce courant sera redressé par un pont de diode pour sortir sur la borne B+

Un rotor qui est un bobinage en rotation alimenté en courant continu via D+ et le régulateur. A l'arrêt, rotor alimenté, un champ magnétique continu est créé. Ce rotor en tournant provoque une variation alternative du champ magnétique dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation. On dit donc que le rotor est l'inducteur. En jouant sur la tension aux bornes du rotor, on fait varier le champ magnétique, c'est ce phénomène qui permet "d'asservir" l'alternateur à la batterie qu'il est sensé charger puisque à différents points de charge, la tension aux bornes de la batterie change. C'est également à cause de ce phénomène qu'il est dangereux de rompre la liaison batterie-D+ en rotation: l'alternateur "croit" avoir affaire à une batterie vide et donnera sa puissance maximale. Néanmoins, les bons alternateurs possèdent une sécurité sous forme d'une résistance posée entre B+ et D+ ce qui fait qu'il ne peut jamais y avoir OV sur D+ et que la puissance fournie est ainsi limitée. Dans tous les cas, une rupture de liaison batterie-D+ condamne très rapidement votre batterie.

3/ Quelques notions importantes concernant les câbles

Commençons par le plus facile; les couleurs des gaines. De bonnes mœurs en matière de circuits à courant continu voudraient que le rouge indique une liaison à un pôle + de production, le noir une liaison à un pôle - de production. Néanmoins, on trouve également le bleu, le marron et le jaune voire d'autres couleurs plus exotiques. Rien ne vous empêche de choisir vos propres couleurs pourvu que vous sachiez ultérieurement vous y retrouver dans ce qui pourra ressembler à un faisceau plus ou moins organisé. Restez donc aux standards en la matière sauf pour les câbles de grosse section (>25mm²) qui sont généralement fournis en noir, des étiquettes autour du câble seront alors utiles. Il existe plusieurs compositions chimiques des gaines de câbles. Sans rentrer dans le détail des RO2V et autre HOXX, je dirais qu'il faut toujours choisir des câbles dont les gaines agréées pour un usage extérieur donc résistants à l'air aux rayonnements et à l'eau.

Câbles rigides et câbles souples, que choisir. Je pense que les câbles à une seule âme (rigides) sont à proscrire car peu faciles à manipuler et pouvant casser dans la gaine. Exit donc le bon vieux fil bâtiment classique. Dommage, c'est le moins cher. Les câbles semi-rigides (toron d'une dizaine d'âmes) sont mieux adaptés en ce qui concerne les utilisations en section moyenne et sur des longueurs significatives (section de 4mm et plus, 1m et plus). Les câbles souples (torons de dizaines d'âmes fines) sont intéressants pour les petites sections et courte longueur mais ils ont un inconvénient bien ennuyeux; ils

s'oxydent plus facilement et plus profondément que les précédents, d'où l'utilité quel que soit le câble d'étamer les extrémités voire de capuchonner leurs jonctions avec de la gaine thermo rétractable. La section de câble à employer dépend de l'intensité qui y circule et de la longueur utilisée entre la source et la destination. C'est le point fondamental de ce chapitre: en 12V circulent des courants qui entraînent des chutes de tension identiques à celle d'un circuit EDF classique mais dans des proportions bien plus significatives.

Démonstration par l'exemple:

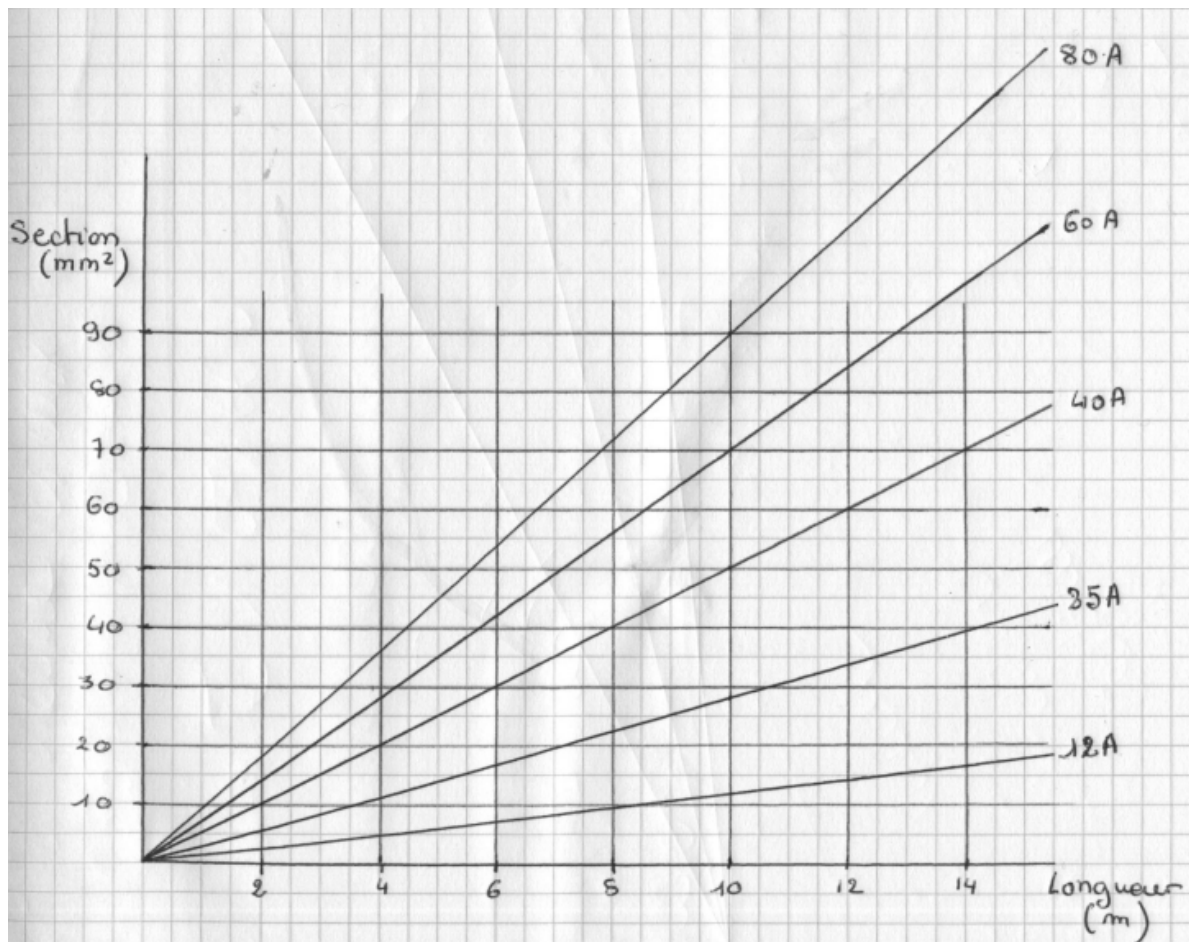
Je possède une lampe de 110W-220V raccordée à une prise par un câble de 5m de section 1.5mm². Après de "savants calculs", je constate que je consomme 0.5 ampères. Mon fil ne chauffe pas mais, avec un voltmètre, si je mesure 220V à la prise, je n'en mesure que 218 à l'entrée de ma lampe. Cela signifie que j'ai perdu 2V dans le fil. Cela signifie que mon fil a une résistance R telle qu'il "freine" l'électricité. Cette résistance est calculable ($U=RI$), elle est de 2V divisé par 0.5A soit 4Ω. Je peux également dire que mon fil présente une résistivité de 4Ω divisé par 10m (5M à l'aller + 5M au retour) soit 0.4Ω par mètre. Cela dit, entre 220V et 218V, la différence est négligeable (moins de 1%). Dans ce cas, la section de mon fil est suffisante pour ne pas le "contraindre thermiquement" et sa résistance n'entraîne pas une chute significative de tension aux bornes de ma lampe.

Je possède maintenant une lampe de 6W-12V raccordée à ma batterie par un câble de 5m de section de 1.5mm² (le même que précédemment). Si je mesure 12V à la batterie, je n'en mesure plus que 10 aux bornes de mon ampoule. Soit une chute de près de 20%. Ciel mon mari!

Conclusion: la chute absolue est la même dans les deux cas (2V) mais cette chute entraîne proportionnellement un déséquilibre significatif et inacceptable dans le deuxième cas. C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles les "standards" techniques domestiques (5A au mm²) ne sont pas applicables à notre installation nautique.

Comment résoudre le problème, en d'autres termes, et c'est un dilemme à poser en permanence quand on travaille sur des tensions aussi basses que le 12V, comment limiter les chutes de tension entre producteurs et consommateurs?

Nous savons que nous ne pouvons jouer que sur deux paramètres: la section de câble et la longueur de câble. Faire une liaison aussi courte que possible est intéressante quoique insuffisante. Nous jouerons donc sur la section de câble. Allez-vous devoir, à chaque liaison calculer la section de câble pertinente entre intensité circulant et longueur nécessaire? Vous pouvez mais d'autres l'ont pensé et gravé dans le marbre. Voici donc un abaque simplifié et un tableau rapporté aux sections de câble couramment pratiquées:

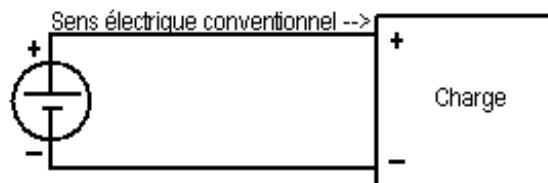


L / I	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	40	60*	80*
2	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	4	4	6	8	10	10	12
4	1.5	1.5	2.5	2.5	4	4	4	6	6	8	12	25	25	25
6	1.5	2.5	2.5	4	6	8	8	10	10	10	16	35	35	50
8	1.5	2.5	4	6	8	10	10	16	16	16	25	50	50	50
10	1.5	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	50	50	70
12	1.5	4	6	8	10	16	16	25	25	25	35	70	50	70
14	2.5	4	8	10	16	16	25	25	25	25	35	70		
16	2.5	6	8	16	16	25	25	25	25	25	50	70		
18	2.5	6	10	16	25	25	25	25	25	35	50			
20	4	6	10	16	25	25	25	25	35	35	50			
22	4	8	12	16	25	25	25	35	35	35				
24	4	8	12	25	25	25	35	35	35	35				

* Pour des utilisations de courte durée

4/ Quelques notions importantes sur les pôles + et –

Le pôle + représente le point de connexion positif dans un circuit, le pôle – représente le point de connexion négatif. En électricité automobile, le pôle négatif est rapporté à la masse de l'ensemble. Sur un bateau, d'autant plus s'il est métallique, le pôle négatif sera indépendamment électriquement des éléments de structure navale. On considère de manière parfaitement arbitraire, aux bonnes fins de parler tous le même langage, que l'électricité circule toujours du pôle + vers le pôle -. Cela dit, les puristes vous rétorqueront que l'électricité est une manifestation d'électrons se déplaçant du – vers le +. Ils ont également raison, mais on s'en tape.



On branche la borne + d'un appareil au + de l'alimentation, sa borne – au – de l'alimentation.

II/Circuit de charge moteur

Deux cas de figure peuvent se présenter:

- le circuit de charge est commun batterie de démarrage / batterie(s) de servitudes
- Le circuit de charge de batterie de démarrage est séparé du circuit de charge de batterie(s) de servitude

1/ Circuit de charge commun

Vous aurez donc un alternateur, une batterie de démarrage et au moins une batterie de servitude. Le sens commun vous dirait de connecter, d'une façon ou d'une autre, les – des deux batteries sur la borne B- de l'alternateur et les + sur la borne B+. C'est bien sauf que le sens commun a tout faux.

Le montage que vous avez fait revient à mettre vos deux batteries en parallèle. En d'autres termes vous permettez théoriquement à l'une de se vider dans l'autre, ce qui est une trrrrrrés mauvaise idée. Imaginez que l'une des batteries "fuit" électriquement, non seulement elle se videra, mais elle videra l'autre. **Le montage permanent de batteries en parallèle, pour quelque montage que ce soit est la meilleure mauvaise idée que vous pourrez avoir.**

Vous pourrez alors envisager un coupe circuit pour séparer les deux batteries hors charge. Oui, techniquement, l'idée est intéressante. Si vous envisagez tout de cette manière, vous multipliez les coupe-circuits et serez toujours à la merci d'un oubli, dans un sens qui vous fera retourner dans le cas précédent ou dans un autre qui ne permettra pas la recharge de la servitude quand le moteur tourne.

On peut imaginer des solutions à base de relais contacteurs et autres dispositifs mécaniques (séparateurs) alors qu'il existe une solution facile, incolore et inodore: le répartiteur.

Le répartiteur a ses défenseurs et ses détracteurs tout aussi déchaînés les uns que les autres. Chacun a ses bonnes raisons qui empêchent souvent la simple raison de s'exprimer.

Avant cela, rappelons quelques évidences. En électricité comme ailleurs, il y a rarement place pour une vérité absolue et universelle dans ses bienfaits, mais des compromis à trouver dont la qualité dépend des buts réels à atteindre car les solutions idéales n'existent qu'au paradis pour ceux qui y croient.

Le répartiteur est décrié parce qu'il entraîne une chute de tension par lui-même, c'est vrai et il poserait problème dans le cas de la charge si cette chute ne pouvait être compensée.

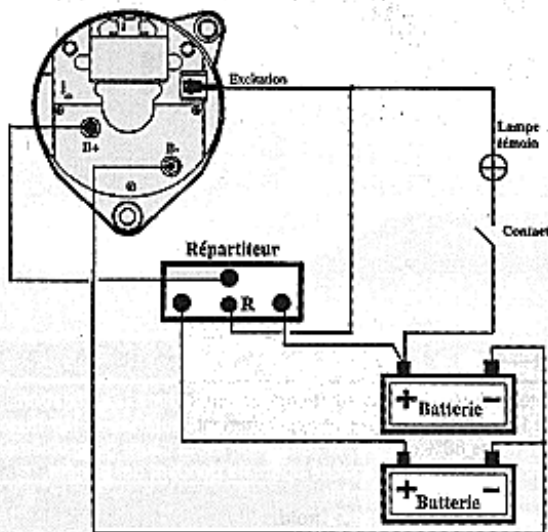
Le répartiteur est décrié parce qu'il peut claquer sans qu'on s'en rende compte. C'est vrai et cela poserait problème si claquer est une caractéristique majeure et fréquente de ce dispositif, ce qui n'est pas le cas s'il est calibré correctement et il est fort à parier que ma belle-mère passera l'arme à gauche avant le mien. Qui osera dire maintenant que je n'ai qu'à me passer de belle-mère?

Un répartiteur, ça coûte cher. C'est vrai, mais on peut également le fabriquer soi-même pour 3 euros six cents. Pas d'autres remarques? Alors on peut continuer.

D'abord, il y en a ici qui se pose une question intéressante, à savoir ce qu'est un répartiteur. Bonne question, il s'agit d'un dispositif à diodes. Une diode est un composant électronique passif qui a la particularité de laisser passer le courant dans un sens et pas dans l'autre. En d'autre mot, une diode est un "clapet électrique". Une diode a un petit inconvénient qui est effectivement la chute de tension qu'elle entraîne (entre 0.3 et 0.7V) mais je vous ai dit plus haut que l'on peut contourner cet inconvénient.

Un répartiteur permet donc, grâce aux qualités des diodes qu'il contient d'empêcher des batteries qui lui sont connectées de faire vase communicant. Voyons le schéma de base ensemble:

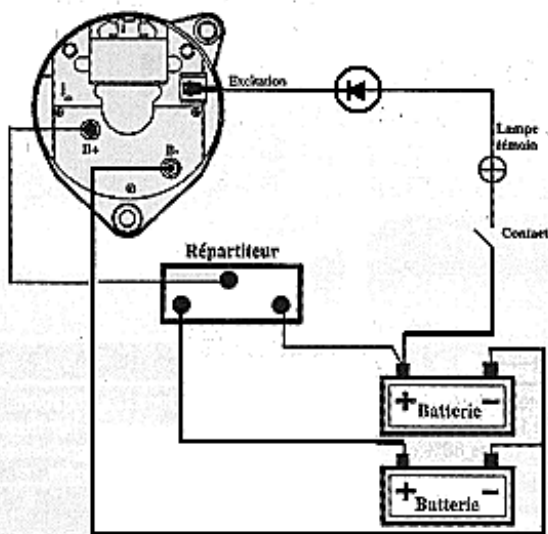
Alternateur avec régulateur incorporé



Notre répartiteur est ici équipé d'un point de référence qui sera raccordé au D+ de l'alternateur. Cette référence compense "la chute diode". Le luxe.

Le répartiteur sera choisi pour supporter la puissance "délivrable" par l'alternateur.

Alternateur avec régulateur incorporé



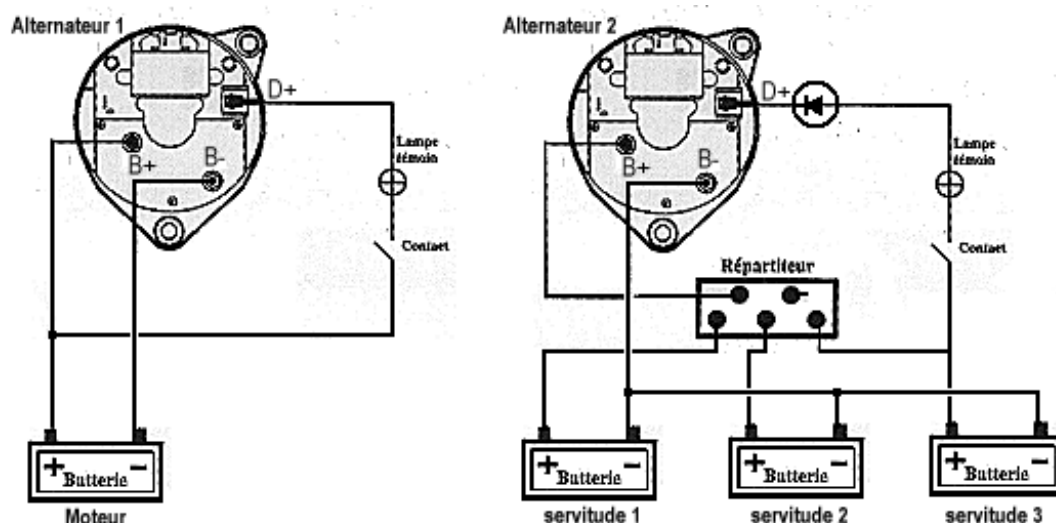
Dans le cas d'un répartiteur sans référence, il faudrait choisir la batterie qui, selon vos estimations, est la plus sollicitée (probablement la servitude) et ajouter une petite diode qui fera chuter la référence. Cette chute provoque une meilleure sollicitation de l'alternateur, compensant ainsi le répartiteur de charge.

Cet ajout de diode est effectivement nécessaire si vous voulez assurer une bonne charge de vos batteries, sur la base de la batterie la plus sollicitée.

La solution n'est certes pas parfaite puisqu'il y a éventuellement possibilité de surcharge de la batterie non prise en compte à l'excitation. Néanmoins, sauf à utiliser votre voilier comme promène couillon enfumé, cette batterie ne vous en tiendra pas vigueur.

2/ Circuit de charge séparé

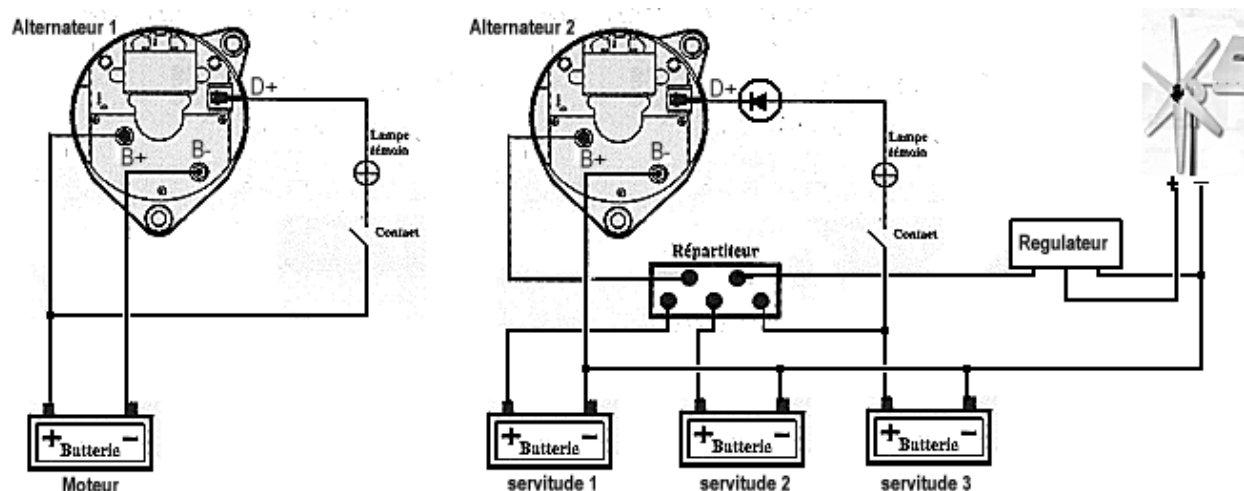
Cette solution est meilleure techniquement que la précédente, elle est adaptée aux parcs importants et notamment pour les globe-floteurs au long cours. Elle nécessite évidemment deux alternateurs. Un alternateur servira à la charge de la batterie moteur, l'autre à la charge des servitudes. Voici, à titre d'exemple une partie de mon propre circuit de charge moteur.



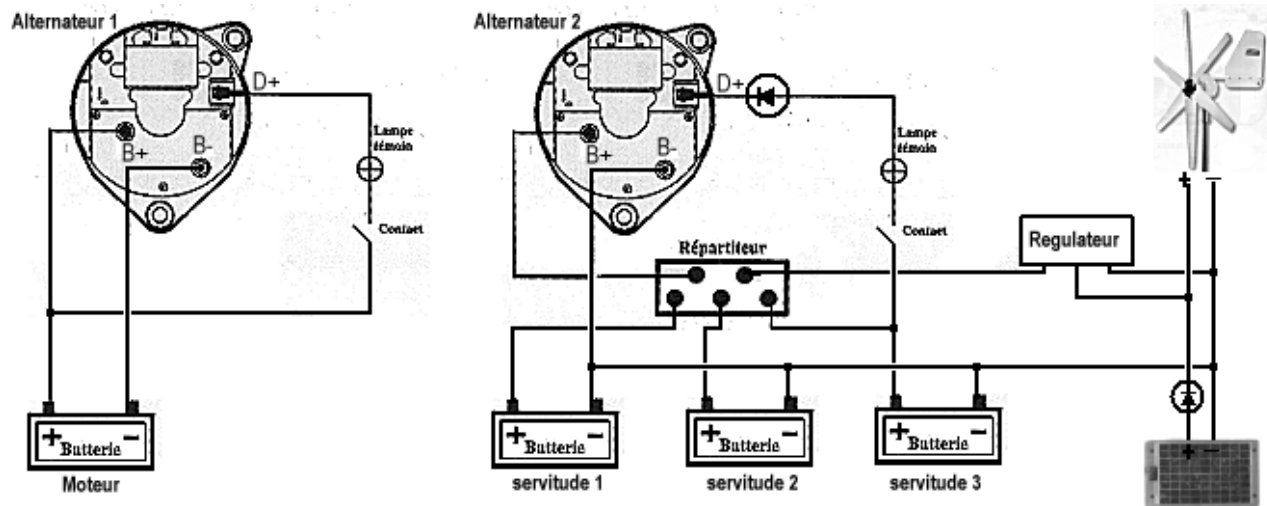
Les contacts sont rapportés au tableau de bord, ils sont fermés lorsque j'enclenche le préchauffage des bougies au démarrage. Les lampes témoins sont sensées s'allumer avant démarrage et s'éteindre quand les alternateurs tournent et voient les tensions s'équilibrer. S'ils restent allumés après "amorçage" des alternateurs, cela signifie que vous avez un souci d'excitation et qu'il est probable que vous ne chargez pas.

III/Circuit de charge étendu

Il est assez probable que, dans un souci d'autonomie, vous souhaitiez ajouter une éolienne et/ou un dispositif solaire.



Vous remarquez que vous avez ici besoin d'un répartiteur à deux entrées. L'éolienne a besoin d'un régulateur qui permettra de limiter la charge. Il est à noter que les régulateurs fournis sont réglés en usine pour charger les batteries en direct. Dans un montage à répartiteur, il faudra rehausser le réglage pour s'affranchir de la chute de tension liée au répartiteur. La notice des régulateurs indique la manip à faire.



Si on rajoute un panneau solaire, on pourra souvent profiter du régulateur de l'éolienne, sinon il faudra impérativement ici aussi investir sur ce petit machin. Vous remarquerez la diode de sortie sur le panneau. Le panneau solaire a pour caractéristiques de pouvoir fournir du courant mais également d'en absorber. Autant donc ne pas le transformer en plaque chauffante.

IV/Circuit de charge complet

Il nous reste maintenant à intégrer les fournisseurs extérieurs que sont les chargeurs de quai et/ou groupes électrogènes.

1/ Les chargeurs de quai

Leur rôle est de transformer le 220V/50Hz et/ou le 110V/60Hz en 12V continu. Si le principe de redressement du courant alternatif en courant continu est simple, il faut néanmoins tenir compte des caractéristiques de charge des batteries. En d'autres termes, il faut pouvoir charger une batterie dans un délai raisonnable et faire en sorte qu'elle se maintienne en charge maximale sans "déborder". Les chargeurs classiques de voiture ne peuvent répondre à cette nécessité car elles ne sont pas prévues pour être utilisées en continu (dans le temps). Un chargeur type automobile est prévu pour être utilisé sur une durée de plage limitée et non en permanence comme un chargeur de bateau à quai.

Il existe donc, pour l'usage à bord des chargeurs "intelligents" qui vont opérer une charge batteries en trois étapes.

- **Etape de charge effective (boost):** la batterie étant relativement vidée, le chargeur délivrera une intensité constante. La tension fournie varie donc en fonction de cette intensité.
- **Etape d'égalisation (absorption):** la batterie approchant de sa charge complète, le chargeur fonctionnera en intensité décroissante jusqu'à ce que la tension soumise aux bornes de la batterie atteigne un seuil. Ce seuil dépend du type et éventuellement de la marque de batteries utilisées.
- **Etape de maintien (floating):** La batterie étant considérée comme pleinement chargée, le chargeur va maintenir une tension constante (la fameuse tension de seuil) et garder ainsi la batterie en capacité optimale.

De ces caractéristiques, on peut tirer plusieurs enseignements:

Il est ennuyeux de posséder un parc contenant des batteries de technologies différentes car leur tension de floating n'est pas forcément la même. Sauf à posséder un chargeur dont chaque sortie serait réglable, le panachage de type de batteries est donc à déconseiller. Par ailleurs, je suis incapable de vous dire si ce type de chargeur existe dans les faits et à quel prix!!! Il est à noter que beaucoup de chargeurs modernes contiennent des micro interrupteurs (micro-switches) ou des cavaliers permettant de calibrer la tension de floating voulue. Certains fournisseurs poussent la délicatesse jusqu'à indiquer les tensions de floating conseillées selon modèle et fournisseur de batterie. Si vos batteries n'y figurent pas, adoptez la tension du modèle (technologie et constructeur identique). A titre d'exemple, voici le tableau de valeur que fournit Navicom pour sa gamme proton:

**CONFIGURATION DES CAVALIERS*
POUR FIXER
LA TENSION DE CHARGE (MODE)**

* UTILISER UNE PETITE PINCE POUR OTER LES CAVALIERS
NE PAS FORCER SUR LE CIRCUIT IMPRIME

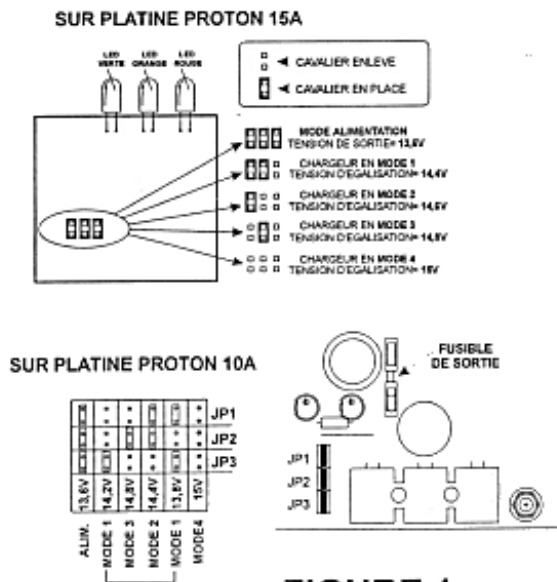


FIGURE 1

**EXEMPLE DE CHOIX DE CHARGEUR
EN FONCTION DU MODELE DE BATTERIE**

CHARGEUR RECOMMANDE	PROTON 5A	PROTON 10A	PROTON 15A
MODELES BATTERIES			
CEAC-DRYFIT 57Ah (Étanche-gélifié)	MODE 1		
CEAC-Nautica 88Ah (Ouverte-liquide)		MODE 1	
CEAC-MaXXima 50Ah (Étanche gélifiée)	MODE 1		
DELPHI-Freedom 105Ah (Fermée-liquide)		MODE 4	
ELECSOL 90-Ah (Fermée-liquide)		MODE 2	
HOPPECKE-Energy 100Ah (Fermée-liquide)		MODE 1	
OPTIMA-Bleue Top 60Ah (Fermée-gélifiée)		MODE 1 À MODE 3	
TROJAN-SCS151 215Ah (Ouverte-liquide)			MODE 1 À MODE 3

Il est intéressant de posséder un parc dont les capacités de chaque batterie soient en rapports les unes avec les autres de chacune.

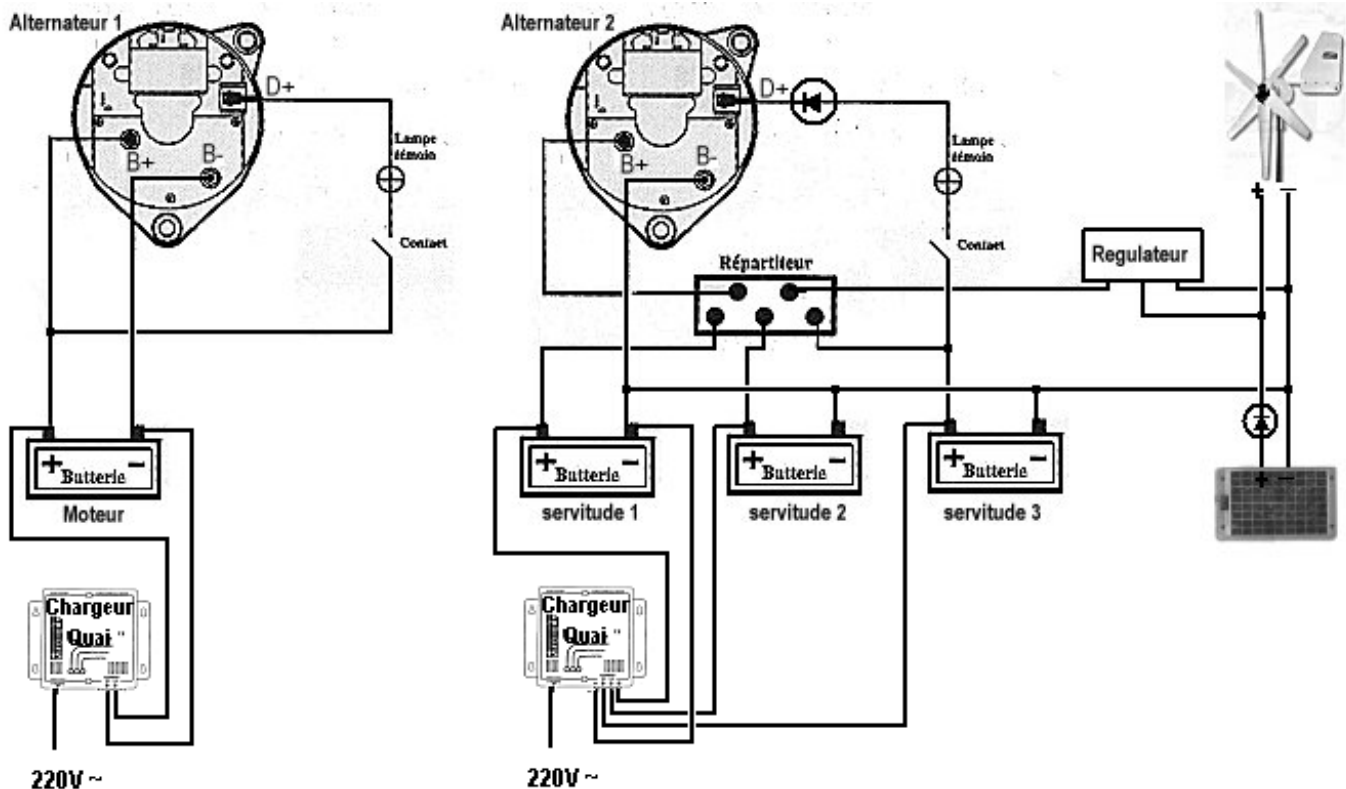
L'intensité possible à fournir par le(s) chargeur(s) doivent être cohérentes avec la capacité des batteries. Par exemple, une batterie de 250AH sur un chargeur pouvant fournir 5A prendra, comme le disait F.Raynaud, un "temps certain" pour effectuer ses cycles de charge. La batterie n'en souffrira pas vraiment, le chargeur, si! On considère que l'intensité "maximale" de charge correspond à 20% de sa capacité. Pour ma batterie de 250AH, cela voudrait dire que l'intensité possible est de 50A. Compte tenu des chargeurs existant sur le marché, un chargeur annoncé pour 30A ferait l'affaire.

Exemple pratique: Je possède un parc de trois batteries de 135AH de capacité annoncée chacune. Quel sera mon choix de chargeur.

Chaque batterie peut accepter 0.2x135 ampères en charge soit 27A. Je peux donc choisir "idéalement" un chargeur 25A à trois sorties. Selon les caractéristiques de ma caisse de bord, je pourrai éventuellement me rabattre sans problème sur un chargeur 15A / 3 sorties.

Il est enfin à noter qu'un chargeur doit être protégé en amont et en aval. En d'autres termes, il possède un fusible de protection ou son propre dispositif de disjonction en amont (sur le tableau 220V) et un fusible en aval de protection contre les courts-circuits sur le circuit de charge proprement dit. Le(s) fusible(s) "avals est(sont) intégré(s) au boîtier du chargeur. Vous prévoyez vous-même le dispositif de protection amont. Nous reverrons ce dernier point au chapitre concernant la distribution du 220V à bord.

Pour continuer nos schémas, voici ce que pourrait être maintenant notre circuit de charge à cette étape du cours.



Vous avez remarqué la présence de deux chargeurs. Dans le cas présent, cela est justifié par la séparation totale des circuits "moteur" et "servitude". Bien évidemment, dans le cas plus classique d'un circuit mixte moteur/servitude, il y a un chargeur .

2/ Les groupes électrogènes

Juste quelques mots. Il existe deux types de groupes. Ceux qui délivrent du 220V~ et ceux qui délivrent du 12 ou 24V continu. Si on veut pousser le vice, on peut également indiquer l'existence des groupes mixtes. Dans tous les cas, un moteur à explosion (essence ou diesel) fournit l'énergie mécanique à un générateur (un gros alternateur, quoi!) qui délivrera de l'électricité.

Les premiers peuvent être associés à une source du même type que celle délivrée par EDF et ne sont pas concernés par ce chapitre.

Les seconds peuvent servir de source directe de 12V à bord et, selon fournisseur et modèle, de chargeur pour les batteries. On entre ici dans des aspects dans lesquels le globe flotteur moyen est assez peu concerné, j'ai donc décidé de ne pas approfondir. Juste, en guise de conclusion là-dessus, je pense que la dépense pour un groupe continu n'est pas justifiée pour un usage moyen habituel à bord d'un bateau de grande croisière.

Selon vos besoins, un groupe dit "de chantier" pourra suffire si votre objectif est de pouvoir utiliser du matériel électroportatif par exemple. Ces groupes ne comportent que rarement des filtres, le courant fourni est de tension et fréquence non stabilisée. Le matériel électroportatif et, de manière générale, vos moteurs électriques n'en souffrent pas voire aiment cela. Par contre, si votre but est de pouvoir recharger votre téléphone portable et/ou alimenter votre ordinateur portable, je crains qu'il faille opter pour un groupe régulé tel qu'Honda en propose. C'est cher mais vous éviterez de la casse. Selon les humeurs de votre caisse de bord, d'autres alternatives moins tranchées mais réalistes peuvent être envisagées: le choix d'un convertisseur peut être judicieux si l'usage du 220V à bord et en route reste limité et temporaire.

Elaborer un circuit de distribution

La règle générale des circuits de distribution suit des règles censées régler les problèmes de protection des installations, de protection des personnes et de pertes électriques en ligne

Les règles de protection des circuits impliquent que votre nœud de distribution comportera des fusibles ou des disjoncteurs calibrés correctement, des conducteurs de section suffisante et pertinente.

Les règles de protection des personnes impliqueront qu'il existe au moins un dispositif détecteur des fuites électriques. Si ces fuites ne présentent généralement aucun danger pour les appareillages, elles peuvent être mortelles pour l'homme.

Les règles de prévention des pertes en ligne impliquent également une section pertinente des conducteurs et une connectique de qualité.

I/Circuit de distribution 220V~

La législation maritime française à ce sujet est détaillée, précisée et sans ambiguïté et j'encourage mes lecteurs naviguant sous pavillon français à s'y conformer au pied de la lettre, les autres à s'y reporter pleinement dans l'esprit.

Plutôt que rentrer dans les méandres de la législation, des normes et des symboles, nous allons partir d'un schéma que nous allons ramifier.

Au début fut le tableau de distribution raccordé au quai par une prise extérieure.

La prise de branchement extérieure est de type prise de pont (encastrable en général) mâle à trois broches. Le neutre, la phase et la terre seront branchés chacun sur sa broche. Il est à noter qu'en général, la phase et le neutre peuvent être croisés indifféremment alors que la terre est connectée à une broche spécifique et repérée par un logo qui ressemble à un sapin de Noël déplumé et planté à l'envers.

La couleur de conducteur allouée à la terre et le jaune ou bandes jaunes et vertes. Le bleu est normalement alloué au neutre et le marron à la phase. Certains ne seront pas d'accord avec mon propos, en fait, on s'en fout, l'essentiel est que vous choisissiez une fois pour toutes, hormis la terre, quelle couleur vous choisirez pour la phase et les "neutre"

On peut utiliser un tableau de type domestique qu'on peut trouver chez Casto-Merlin-Dépôt pourvu que le nombre d'emplacements pour les dispositifs de protection soient en quantité suffisante à votre usage.

1/ Éléments de base concernant la distribution EDF de 220V~

Notre fournisseur national ou d'autres, à partir de centrales, fabriquent de l'électricité qu'ils transportent puis distribuent au consommateur final. Le courant fabriqué est de type triphasé (trois phases). A l'origine la production est de type haute tension (plus de 20000V, jusqu'à plusieurs millions de volts). Elle est transportée par un réseau (en général aérien) de lignes à haute tension. Sur des nœuds de distribution, cette électricité va être transformée pour alimenter le circuit de transport de moyenne tension (aérien ou souterrain). Enfin, près des foyers de consommation, cette électricité sera retransformée en 380V, prête à l'usage.

Une petite question vous taraude, je le sens bien, à savoir d'où vient le 220V? La réponse est simple, j'ai parlé de 380V et celui-ci s'entend entre phases. Le neutre n'est qu'une forme inerte de repiquage créée par EDF sur le pylône près de chez vous, il ne fait pas partie du réseau de transport de l'électricité, il est local. Je n'entrerai pas dans les technologies possibles de repiquage existantes, nous ne sommes pas ici dans un cours de BAC ou BTS électrotechnique. Considérez pour simplifier que le neutre EDF n'est qu'un branchement de terre en amont de votre compteur EDF. Le 220V est la mesure de tension entre une phase et le neutre.

Une nouvelle question vous vient alors à l'esprit immédiatement, à quoi sert alors votre terre puisque le neutre est déjà un lien vers la terre? Cette question est excellente et une réponse limpide vous sera donnée très bientôt, soyez patient.

2/ Circuit de base de distribution "privé" de 220V~

Privé parce qu'en aval du compteur EDF, il respectera les trois fondamentaux énoncés au début de ce chapitre.

Il comptera donc un disjoncteur principal qui a entre autres fonctions de permettre de sectionner tout le circuit et de le protéger contre les courts-circuits majeurs. Il servira également à protéger les personnes contre les dangers de fuite qui, je le répète, s'ils n'ont pas d'incidence sur le matériel, peuvent vous emmener au cimetière. Ce disjoncteur est donc d'un type particulier.

Il comportera des fusibles ou des disjoncteurs qui protègent les circuits de chaque élément composant votre circuit électrique.

Il comportera enfin des conducteurs de section appropriés, interconnectés le cas échéant de manière appropriée.

Le disjoncteur principal est de type dit disjoncteur différentiel. C'est à dire pour simplifier qu'il contrôle que ce qui rentre par la phase sort en "quantité" identique par le neutre. Si ce disjoncteur détecte une différence entre ce qui rentre et ce qui sort, c'est à dire qu'il détecte une différence, il coupe alors le circuit.

Supposez que vous possédiez un appareil fonctionnant normalement et pour lequel un défaut mécanique intérieur provoque une mise à la phase résistive de sa carcasse. Deux cas peuvent se présenter.

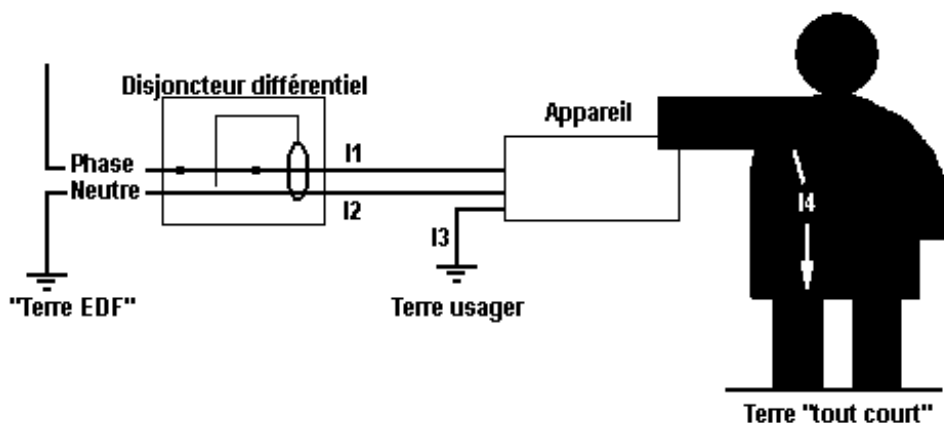
La phase s'écoulera (un peu) à la terre. Vu du disjoncteur, Le courant entre par la phase, sort en partie à la terre et en partie au neutre qui revient au disjoncteur. Le disjoncteur détecte donc un différentiel et coupe immédiatement le circuit.

Pour une raison ou une autre, la terre est absente, il ne se passe rien tant que vous ne touchez pas l'appareil et le disjoncteur ne bronchera pas dans sa partie de détection différentielle. Quand vous touchez l'appareil, vous provoquez donc une mise à la terre via votre corps qui offre néanmoins une certaine résistance. Si rien n'est fait, outre le choc que vous ressentirez, vous prendrez notamment le risque de foutre la merde sur un muscle qui vous est cher: le cœur. En effet le cœur est naturellement régulé électriquement et lui imposer une source extérieure significative et non conforme, revient à dénaturer son fonctionnement et le pauvre vieux peut éventuellement ne pas se remettre (arrêt ou fibrillations anarchiques), ce n'est pas vraiment un bon plan. Heureusement cette fuite, si elle est détectée par le disjoncteur différentiel selon le principe déjà énoncé, sera stoppée par la coupure du circuit.

Un disjoncteur différentiel respecte deux caractéristiques: Il possède un seuil de déclenchement et sa coupure, quand elle doit intervenir, doit être rapide. Ce sont des normes moyennes physiologiques qui imposent les caractéristiques nécessaires pour l'efficacité d'un disjoncteur différentiel. Pour un bateau, le seuil de déclenchement est de 30mA soit 0,03A. C'est peu mais suffisant dans certains cas pour favoriser un contact anticipé avec St Pierre et ses copains ailés. La vitesse de mise hors tension est définie dans des normes électriques générales que je passerai ici pudiquement sous silence.

Par ailleurs ce disjoncteur principal est, évidemment calibré pour la protection des circuits, c'est à dire qu'il ne laissera passer que le nombre d'ampères autorisés pour votre circuit électriques.

Une dernière question, si vous n'avez pas encore déchiré ce cours et pris vos jambes au coup, peut alors vous tirailler douloureusement. Comment peut faire un disjoncteur pour refuser 30mA et accepter... disons 15A? Voilà une question qu'elle est bonne. Place aux petits schémas de Tonton Yves.



Le bilan des intensités est: $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Maintenant que le décor est posé, imaginons plusieurs cas

L'appareil fonctionne correctement, il n'y a pas de fuite. Cela revient à dire que $I_3 = 0$ et $I_4 = 0$. Donc $I_1 = I_2$.

La différence entre I_1 et I_2 est nulle \Rightarrow le différentiel ne détecte rien

Si I_1 est inférieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, pas de surintensité donc pas de coupure.

L'appareil fonctionne (ou non) mais, il présente une fuite au capot et la terre usager est correcte. Cela revient à dire que $I_1=I_2+I_3+I_4(?)$. En fait, compte tenu de la résistance du corps de l'utilisateur, l'essentiel du courant de fuite est contenu dans I_3 .

La différence entre I_1 et I_2 est égale à I_3+I_4 .

Si $I_3+I_4 > 30\text{mA}$ => le différentiel provoque l'ouverture du circuit

Si I_1 est inférieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, pas de surintensité donc pas de coupure générée par la partie principale du disjoncteur.

Si I_1 est supérieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, il y a surintensité coupure générée par la partie principale du disjoncteur. Mais la partie différentielle a normalement déjà opéré.

L'appareil fonctionne (ou non), il présente une fuite au capot et sa terre est défectueuse ou cet appareil ne possède pas de terre. Cela revient à dire que $I_1=I_2+I_3(?) + I_4$. Dans ce cas il est possible que la résistance à la terre de l'appareil soit plus faible que celle du corps de l'utilisateur. L'essentiel du courant de fuite peut être contenu dans I_4 , lorsque l'utilisateur prend l'appareil.

L'appareil n'est pas encore entre les mains de l'utilisateur, il vient juste de le brancher

Si $I_3 < 30\text{mA}$ => le différentiel ne bronche pas

Si $I_3 > 30\text{mA}$ => le différentiel provoque l'ouverture du circuit.

Dans les deux cas, I_1 sera inférieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, donc la partie du disjoncteur sensible aux surintensités n'aura pas bougé.

L'appareil a été branché, rien ne s'est passé, l'opérateur prend l'appareil en mains.

Si $I_3+I_4 < 30\text{mA}$ => le différentiel ne bronche pas

Si $I_3+I_4 > 30\text{mA}$ => le différentiel provoque l'ouverture du circuit.

Dans les deux cas, I_1 sera inférieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, donc la partie du disjoncteur sensible aux surintensités n'aura pas bougé.

L'appareil fonctionne (ou non), il présente une fuite, sa terre est présente (correcte ou défectueuse), l'utilisateur est isolé (en lévitation ou porte des bottes en caoutchouc par exemple).

Cela revient à dire que $I_1=I_2+I_3$, $I_4=0$.

Si $I_3 < 30\text{mA}$ => le différentiel ne bronche pas

Si $I_3 > 30\text{mA}$ => le différentiel provoque l'ouverture du circuit.

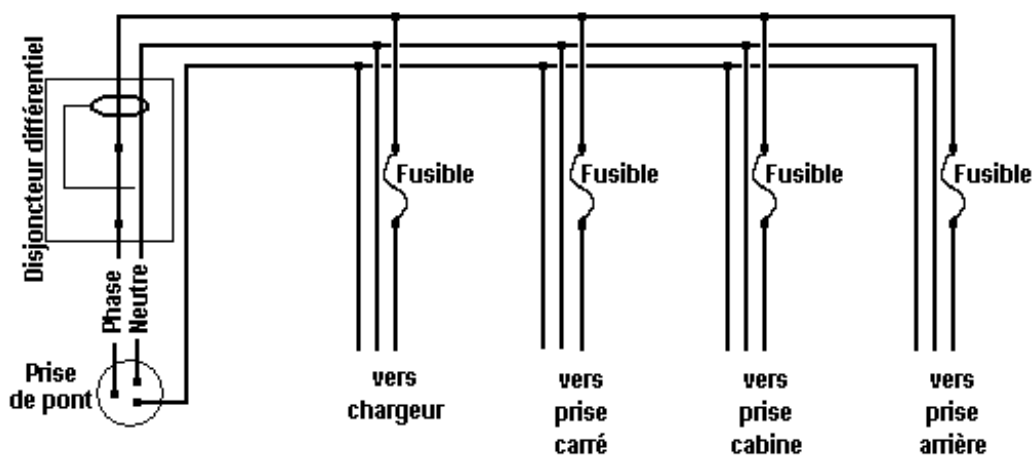
Dans les deux cas, I_1 sera inférieur à l'intensité de fourniture donnée par le disjoncteur, donc la partie du disjoncteur sensible aux surintensités n'aura pas bougé.

En conclusion:

L'appareil et le circuit sont protégés contre les surintensités par la partie habituelle du disjoncteur.

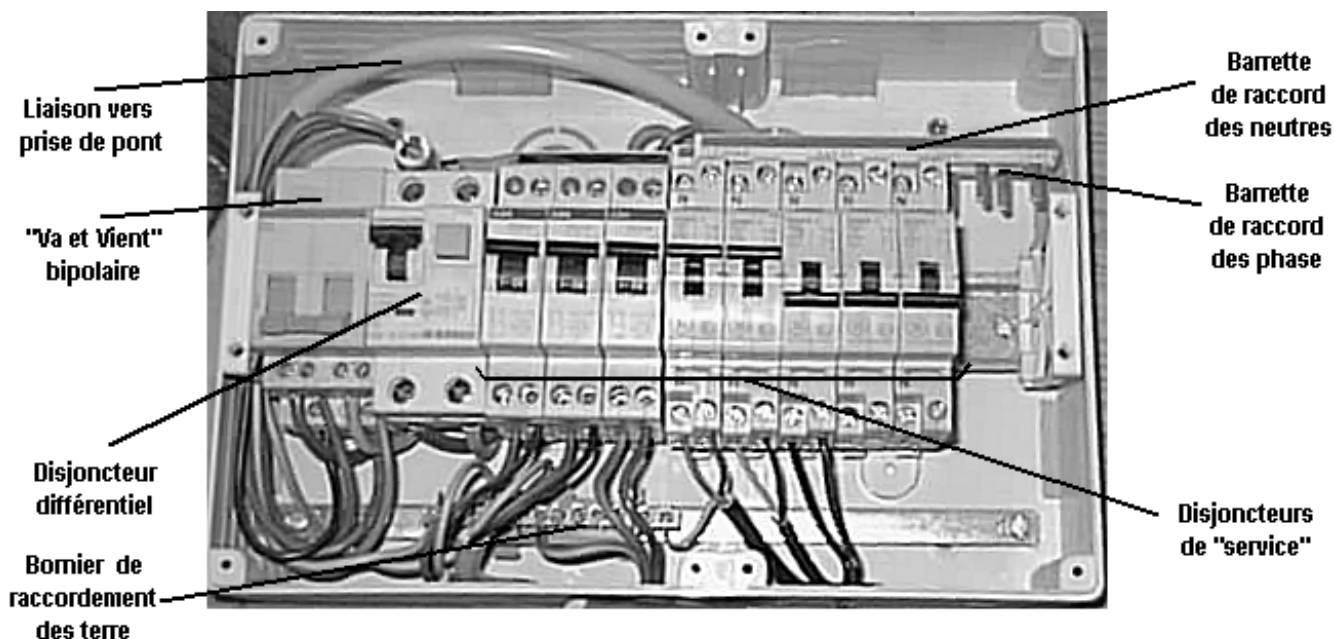
L'utilisateur est protégé par la partie différentielle de ce disjoncteur.

Pour aller plus loin, nous intercalerons dans notre circuit autant de protections contre les intensités (fusibles+portefusibles ou mini disjoncteurs) qu'il a de dispositifs à protéger. La protection des personnes est assurée par le disjoncteur (différentiel) principal. Faisons évoluer notre schéma en conséquence.



J'ai ici représenté le neutre et la terre. Sur vos schémas, compte de leur interconnexion, il est inutile de les représenter.

Les ensembles porte fusibles et fusibles coûtent moins cher que les mini disjoncteurs, mais cela vaut la peine d'investir là-dessus. Vous en trouverez chez Brico-Casto-Leroy dans le même rayon que votre tableau. Le disjoncteur différentiel est assez onéreux mais incontournable.



Concrètement, voilà ce que ça peut donner.

Les extrémités des câbles sont étamées puis vissées. Le "va et vient" bipolaire me permet de basculer l'alimentation du tableau vers la prise de pont (fourniture électrique de quai) ou vers le groupe électrogène embarqué (fourniture électrique autonome).

Les disjoncteurs de service et la connectique vers chaque destination sont calibrés en fonction de la portion alimentée. On trouve ces disjoncteurs se déclenchant à partir de 3 ampères. Ils sont pratiques car, outre leur fonction de protection, ils sont utilisables en tant qu'interrupteurs.

On considère que pour une portion de circuit de 10A et moins, du câble de section 1.5mm² suffit. Au-delà, on passera à 2.5mm². Les distances seront ici sans grande influence, sauf si vous possédez le Club-med'. Enfin, compte tenu de votre environnement intérieur et compte tenu des capacités des bornes de quai, sauf à posséder par exemple un chauffage électrique sur secteur de plusieurs KW, vous n'utiliserez pas de sections de câble supérieures à 2.5mm². A la limite, et dans un cas normal et non extrême, si vous souhaitez concentrer vos achats de matériel, câblez tout en 2.5mm². N'oubliez pas qu'en amont du tableau, vous avez une rallonge vers la borne de quai qui, en général, est en 1.5mm². Un disjoncteur différentiel 16A/30mA suffira généralement sauf si vous envisagez d'emmener un poste à souder....

Si vous installez des prises à bord, indépendamment de l'esthétique, préférez les blocs PVC protégés des intempéries. Ils sont rustiques, costauds et bon marché que vous placerez de préférence en hauteur. Vous ne ferez pas passer vos câbles dans les fonds, préférez les goulottes qui circulent en hauteur (jonction bordé-pont par exemple). Bien entendu vous éviterez les blocs multi-prises, les fils dénudés qui traînent et les raccords directs avec ruban adhésifs les dominos non enfermés, bref vous suivrez à ce sujet toutes les règles d'une installation domestique correcte en y ajoutant l'étamage des extrémités de vos câbles autant que nécessaire.

Dernière chose: éviter formellement d'installer une prise 220V dans votre salle de bain à bord et, de manière plus générale dans les zones à projections de liquides; les prises fixes extérieures sont donc à proscrire. Préférer l'usage d'une rallonge branchée à une prise intérieure.

Je vous rappelle également que l'eau de mer conduit très bien l'électricité. Evidemment, en ce qui concerne les bateaux en métal, vous n'utiliserez jamais et en aucune manière la coque comme "terre". En cas d'utilisation d'un groupe électrogène, votre terre, s'il en nécessite une, devra être "branchée" directement à la mer ou à la terre ferme via un fil et un piquet. Cela est franchement vrai pour les groupes type de chantier. Les petits groupes portables ne donnent pas ces contraintes.

C'est tout pour le circuit de distribution 220V.

II/Circuit de distribution basse tension continue