



## Voiliers et électricité



Ce qui sera traité...

- Bases des architectures électriques de bord (20')
- Fonctionnement des batteries (10')
- Comment assurer l'autonomie en navigation ? (10')
- Protection contre la foudre (5')
- Notions illustrées sur l'électrolyse (15')
  - *Questions... ad libitum !*



Ce qui ne sera pas traité...

- Bases de l'électricité ( $U=RI...$ )
- Calculs détaillés de production ou d'autonomie

# C'est pas dangereux, c'est du 12V !!!!

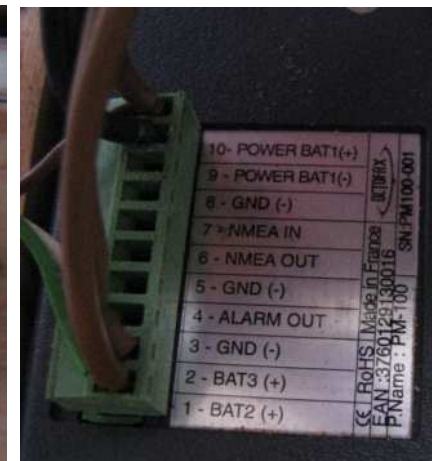
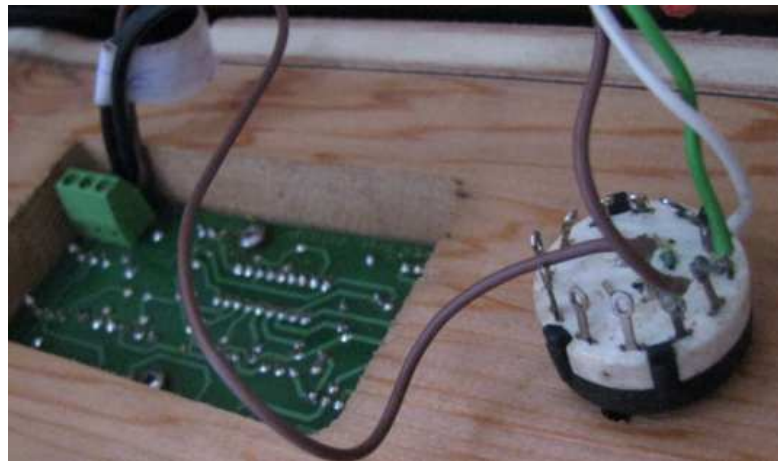
C'est vrai, *on ne risque pas de s'électrocuter.*

... mais ...

- Les courants sont très importants, et donc le risque d'incendie
- Une panne peut avoir des conséquences dangereuses (feux, navigation...)
- ... ou aggraver un accident
- Les batteries ne sont pas sans risque
- Enfin il y a un risque de générer de l'électrolyse



*Détecteur de fuite et  
voltmètre, branchés en  
direct sur les batteries  
sans aucune protection*



# Chapitre 1 - Architectures de base

Le problème :

- Il faut pouvoir couper les batteries en quittant le bateau ou en cas d'urgence



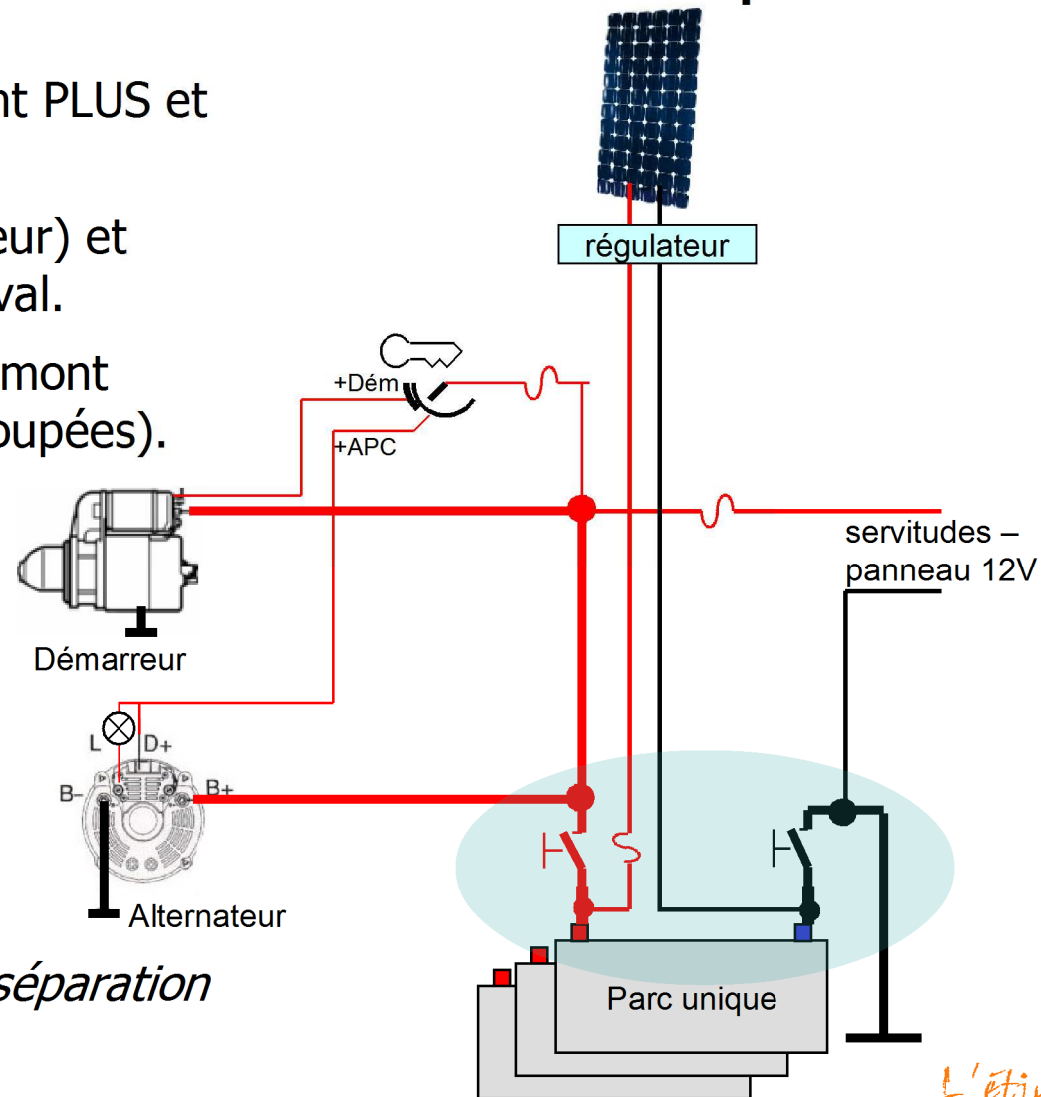
Les contraintes :

- Bien appréhender le fonctionnement  
⇒ simplicité
- Avoir une sécurité maximale  
⇒ couper le maximum
- Maintenabilité

Réalisation

# Architecture de base : un seul parc

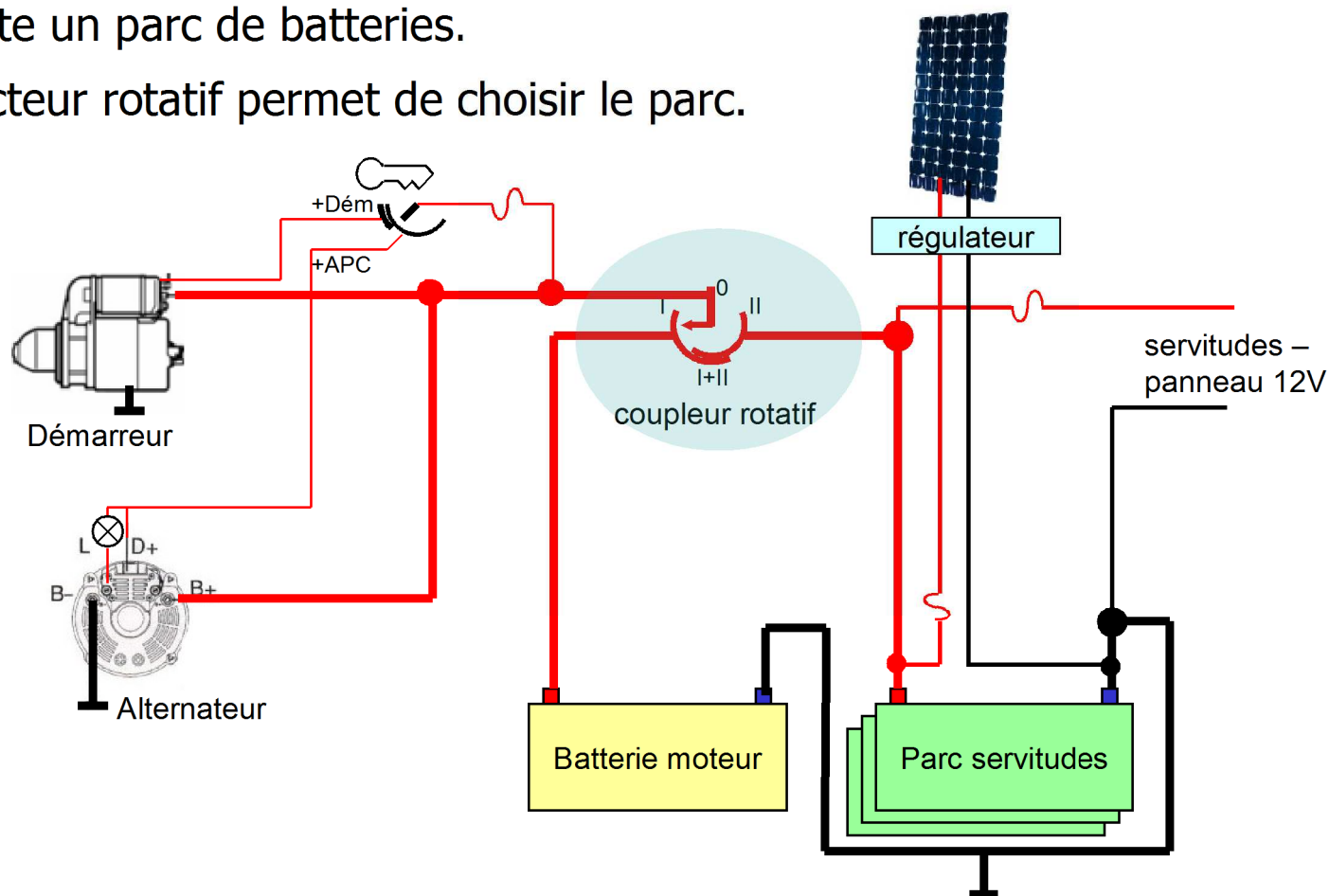
- Les coupe-circuits coupent PLUS et MASSE (cf. div 240)
- Moteur (et donc alternateur) et Servitudes sont pris en aval.
- Systèmes de charge en amont (fonctionnent batteries coupées).



- ***Inconvénient*** : pas de séparation des fonctions.

# Séparation fonctionnelle « 1980 » : 2 batteries

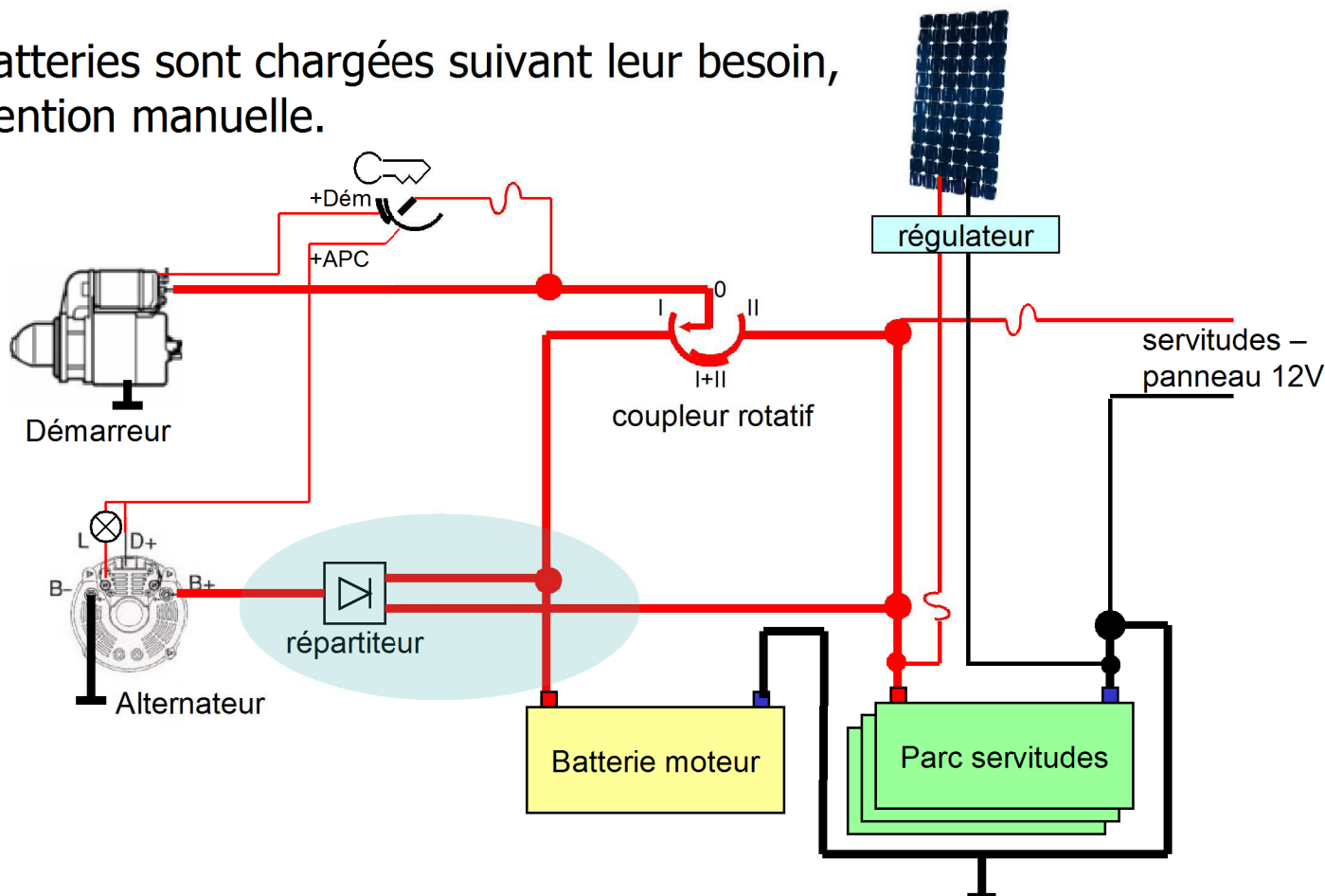
- On ajoute un parc de batteries.
- Un sélecteur rotatif permet de choisir le parc.



- **Inconvénient** : beaucoup de manipulations, charge d'un seul parc à la fois, risque de décharger la batterie moteur en position « I »
- Pas d'autre coupe-circuit, non conforme

# Amélioration « moderne » avec un répartiteur

- Les deux batteries sont chargées suivant leur besoin, sans intervention manuelle.

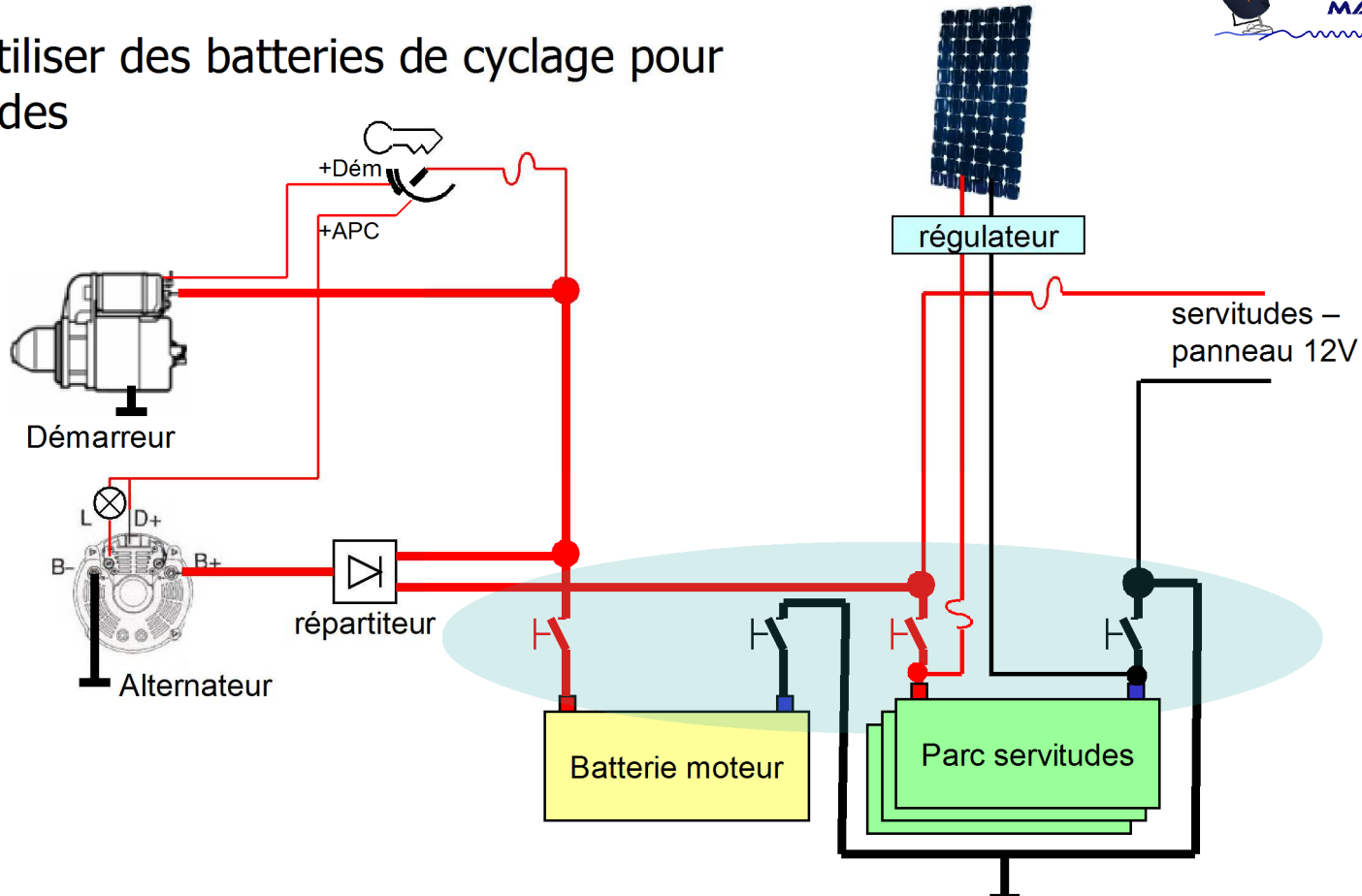


- Inconvénient** : toujours beaucoup de manipulations, toujours le risque de décharger la batterie moteur en position « I »
- Toujours pas d'autre coupe-circuit, non conforme



# Remise à plat : séparation complète

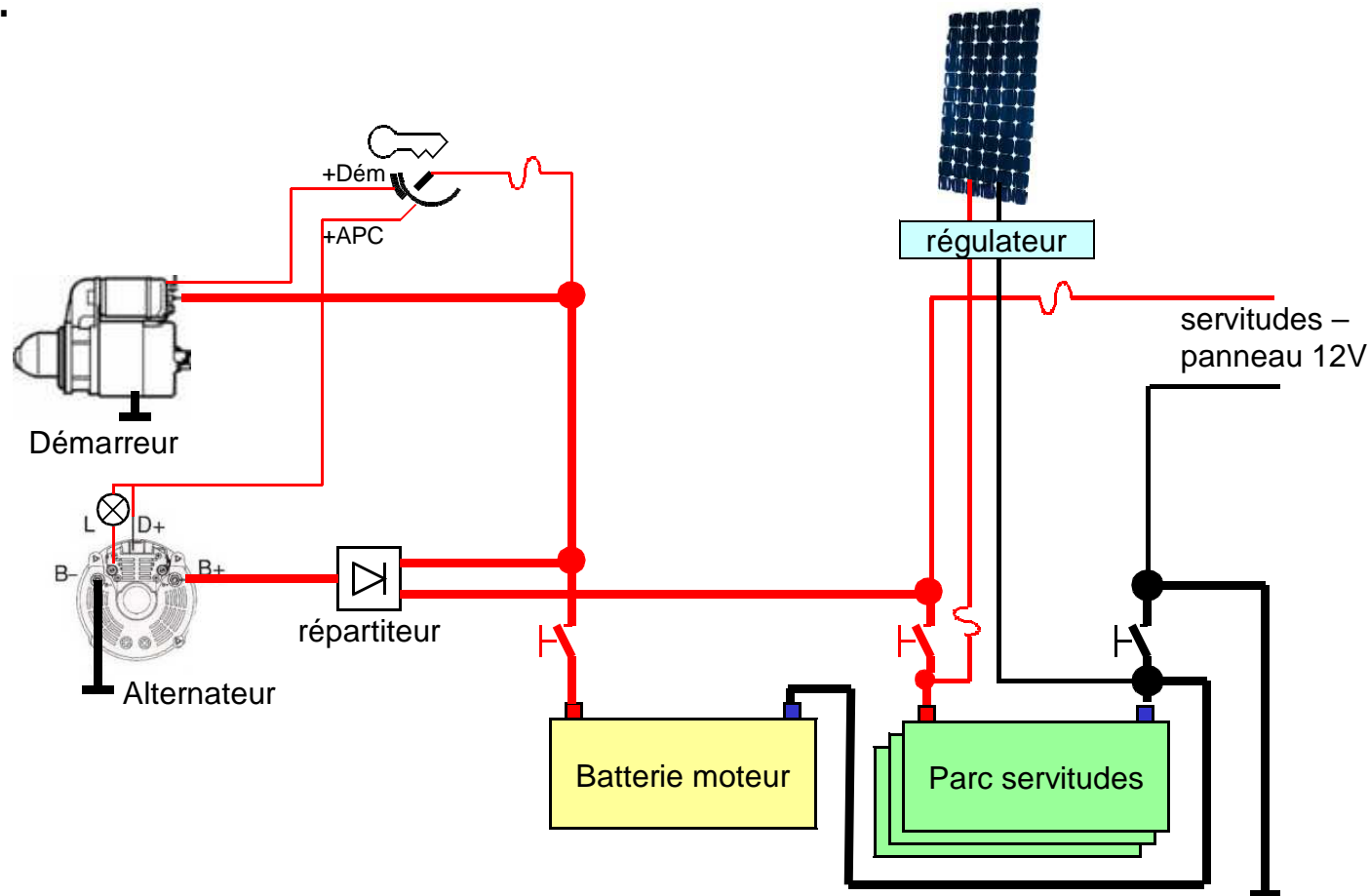
- Les deux circuits deviennent complètement indépendants, sauf la charge par l'alternateur – et donc la masse.
- On peut utiliser des batteries de cyclage pour les servitudes



- **Inconvénient** : Plus de démarrage « de secours » par la batterie service, mais on peut embarquer un câble de secours (type automobile)

# Variante la plus commune – 3 coupe circuit

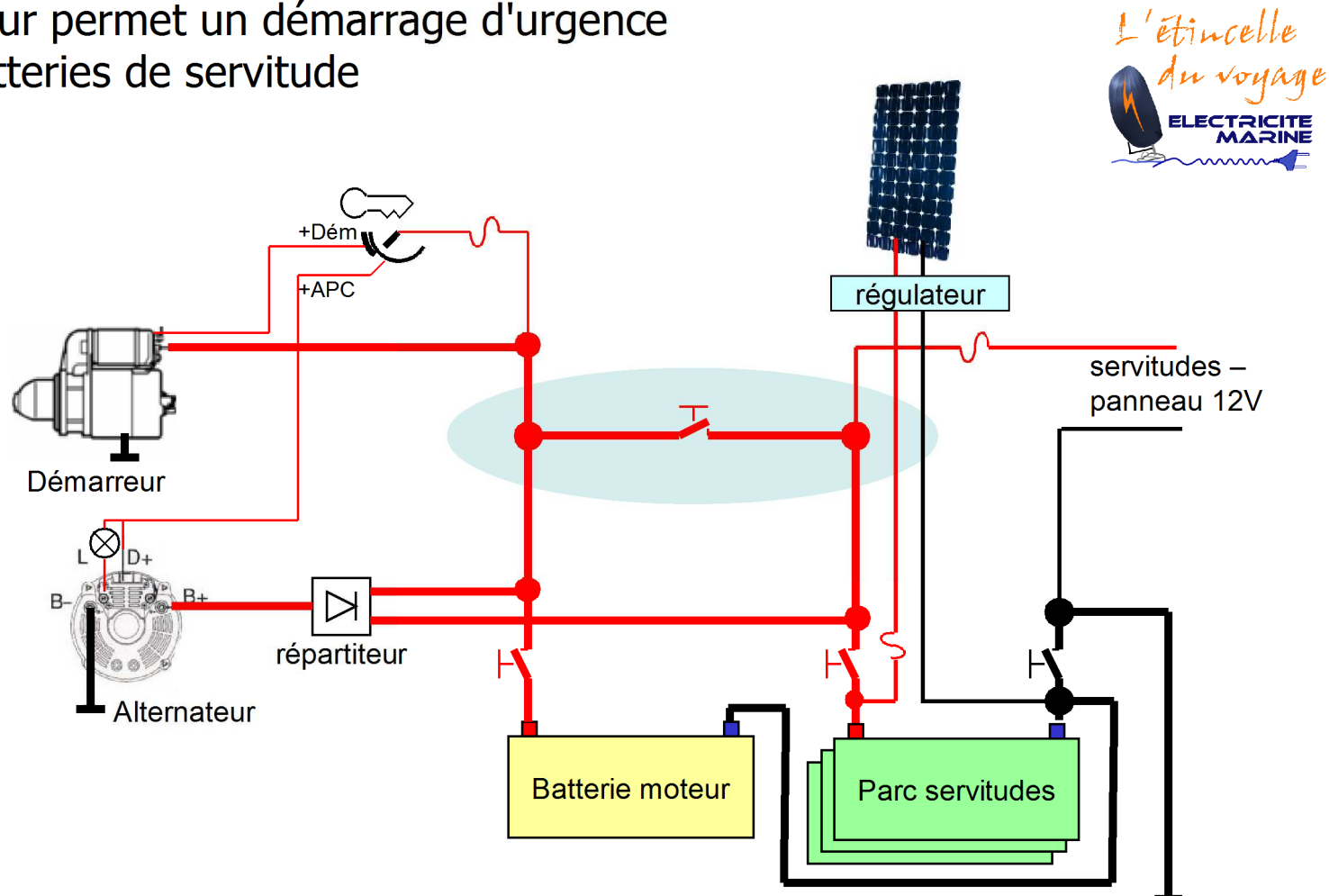
- Fonctionnellement identique au schéma précédent.





# Variante avec couplage de secours

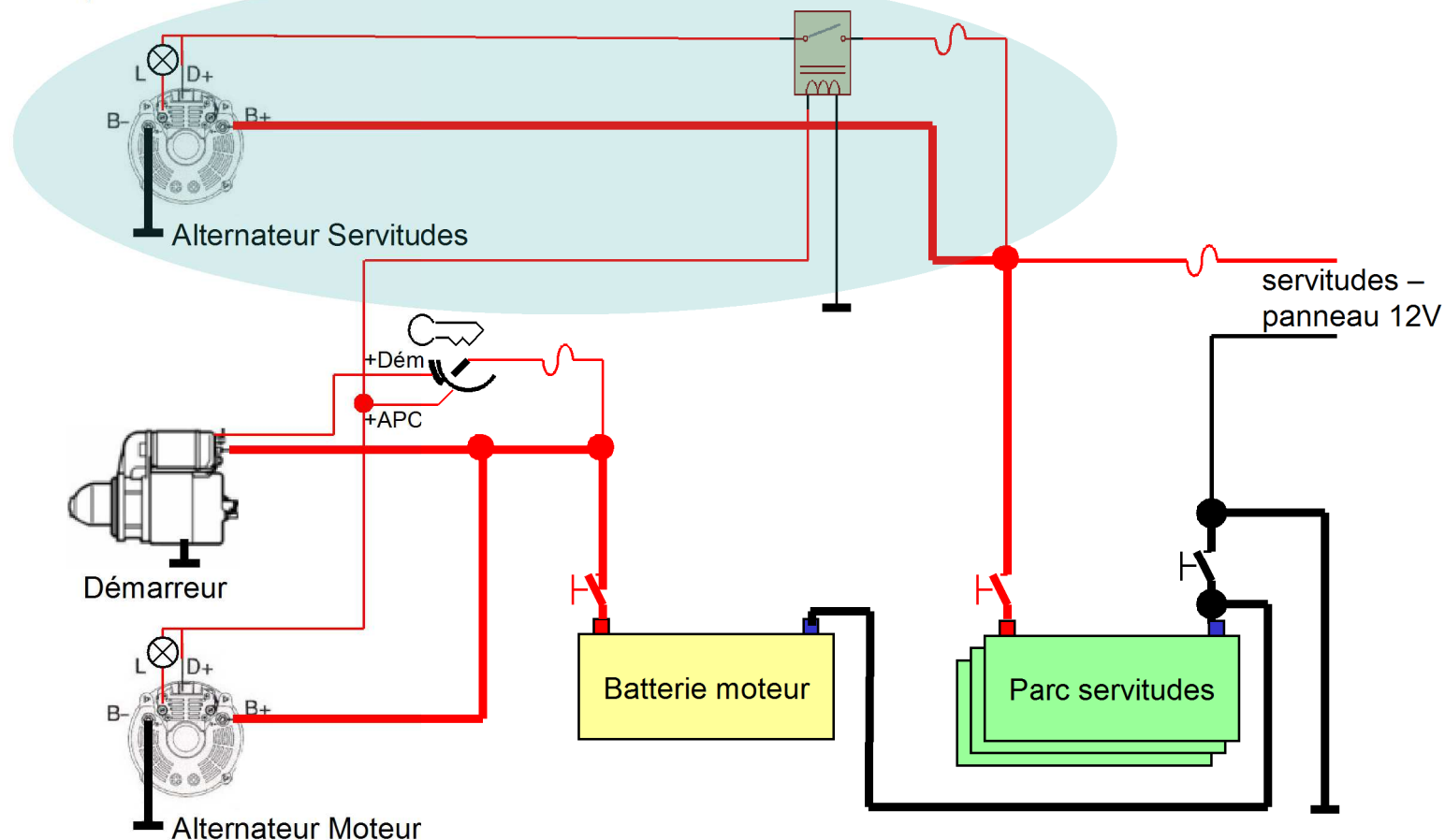
- Un coupleur permet un démarrage d'urgence sur les batteries de servitude



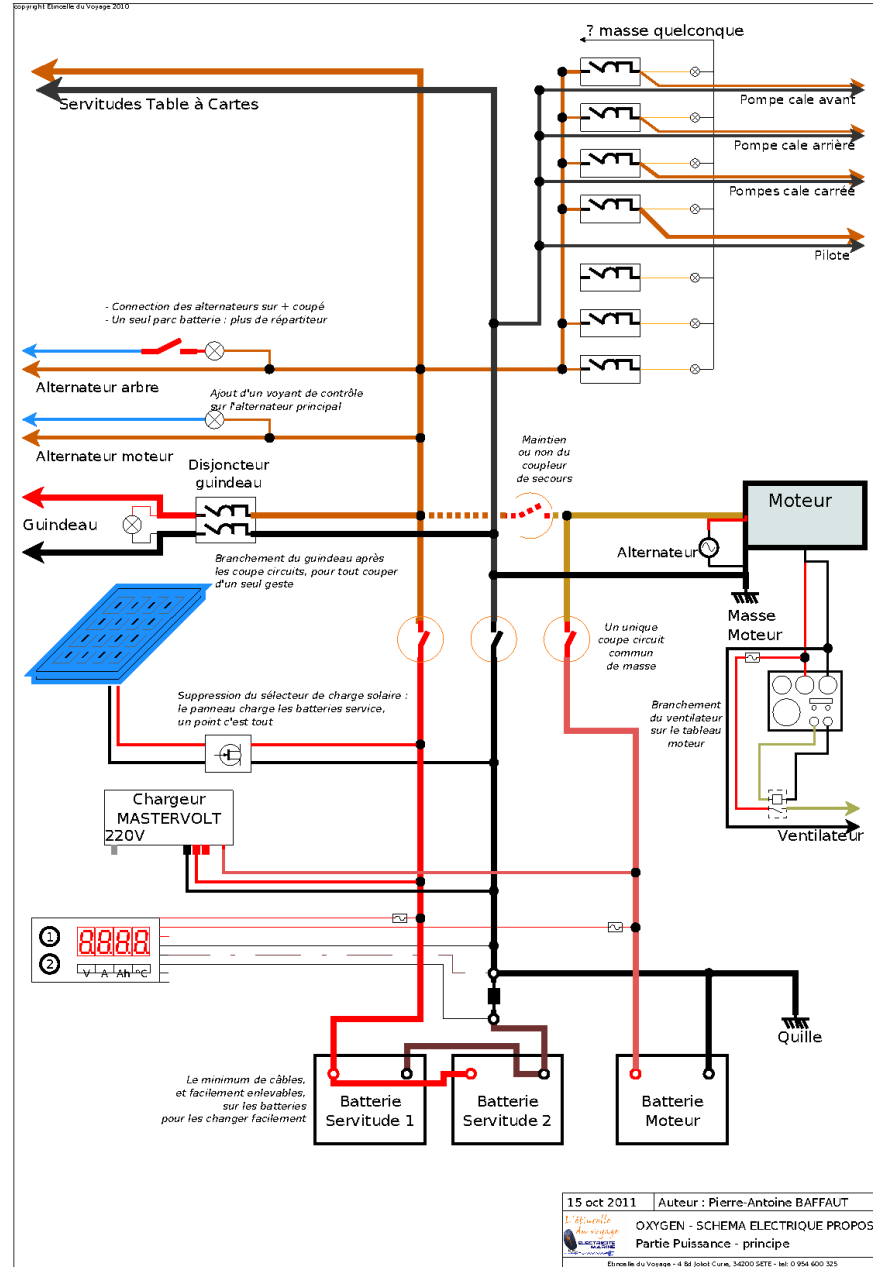
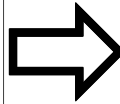
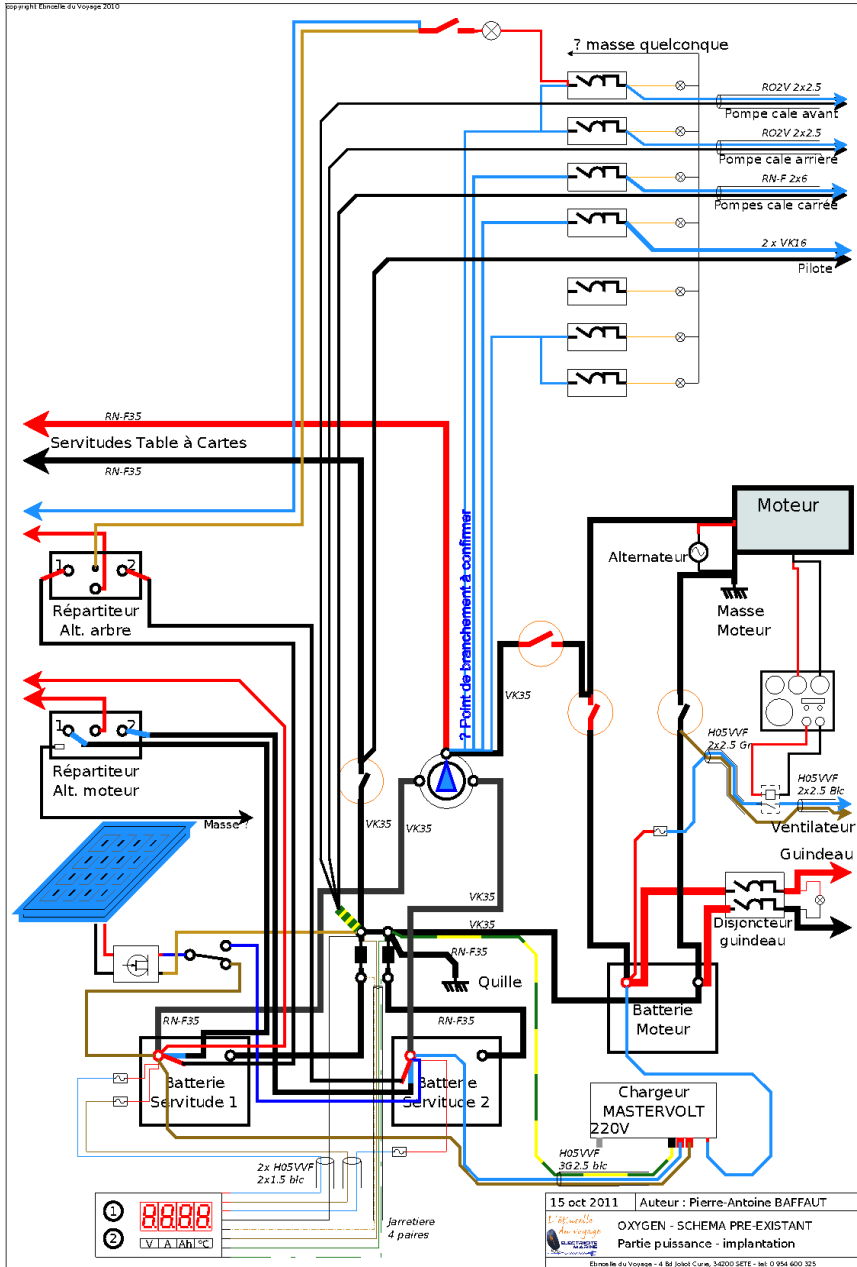
- Inconvénient** : Risque de mauvaise utilisation si le coupleur reste enclenché, schéma et utilisation plus complexes pour ne s'en servir qu'une ou deux fois.

# Variante avec deuxième alternateur

- L'alternateur «servitudes» est excité à travers un relais commandé par la clef.
- Les deux circuits restent reliés avec une masse commune, car les alternateurs ne sont pas isolés.



# Réalisation : simplifier, clarifier !!!



# Réalisation : Rigueur, clarté, souplesse

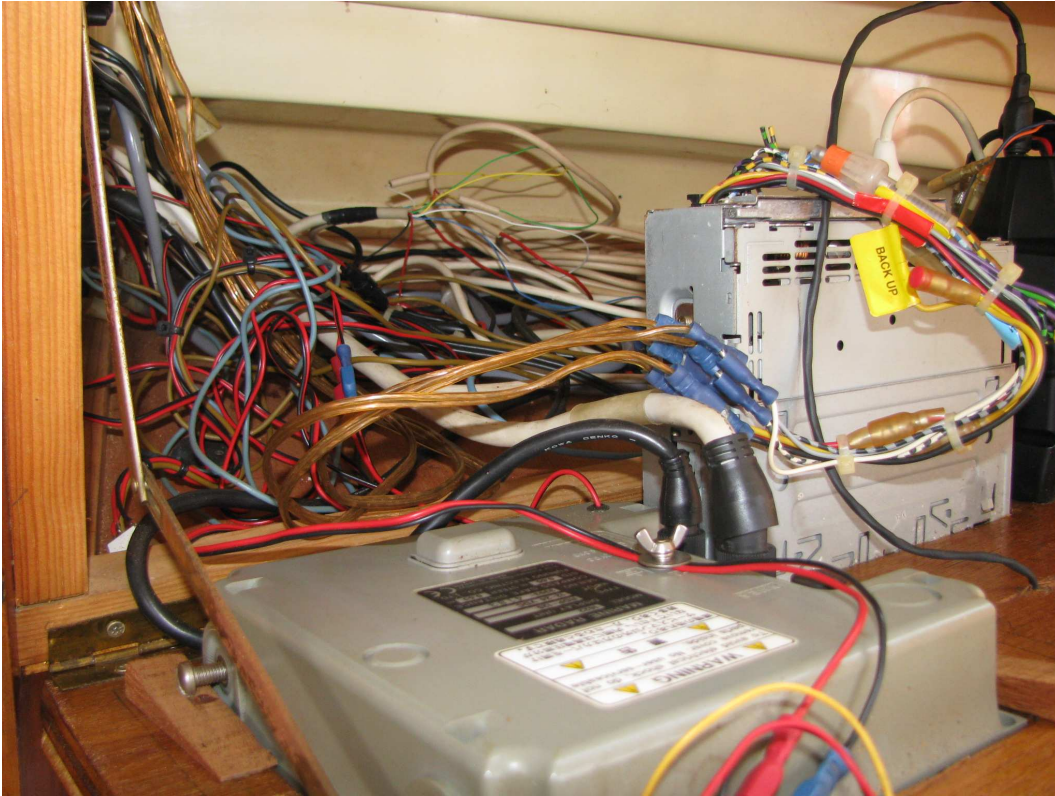


- Pas de fils multiples sur les cosses de batterie
- Privilégier les points de connexion fixes
- Prévoir de l'espace



- Section juste suffisante, pas trop gros. Privilégier la souplesse, la qualité.
- Fixer les fils et câbles
- Protection mécanique (gaine fendue)
- Pas trop de colliers

# Réalisation : Simplicité pas de fonctionnalité superflue !!!



*Tableau électronique où tous les  
branchements sont rassemblés sur  
une baie de connexion, à gauche.  
C'est plus clair comme ça ?*

- Limiter le nombre d'organes et de points de connexion au strict nécessaire
- Laisser un peu de marge sur les longueurs, pas trop
- Travailler l'étiquetage et les schémas.
- Respecter les codes de couleur



# Réalisation : Protéger



*Faisceau moteur ancien (+/- 20ans) suite à un court circuit interne*

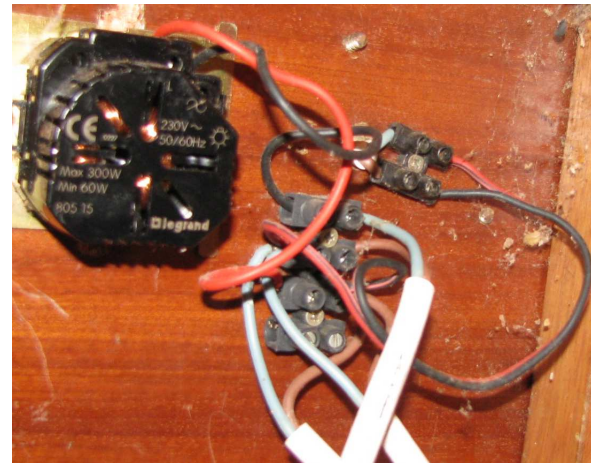
- Protéger TOUS les départs, sauf démarreur, par des fusibles
- Penser à ajouter un fusible sur le tableau moteur
- Ne pas oublier les voltmètres et autres détecteurs de fuite
- Les appareils électriques sont incombustibles, mais attention aux supports

# Réalisation : Penser au 220 V

- Appliquer à la base la NF-C 15.100 comme à la maison
- Au minimum : un interrupteur différentiel, deux ou trois disjoncteurs (ou unité d'énergie)
- Qualité de câble : souple, donc connexions vissées (devient difficile à trouver), utiliser des embouts
- Pas de boîte de dérivation
- Séparation entre 220V et 12V
- Pas de câble 220V dans les fonds
- Travailler l'étanchéité à tous les niveaux
- Bien fixer tous les câbles
- Norme (Div 240) : terre reliée aux masses importantes, dont la quille (est-ce une bonne idée?) ⇒ pas obligatoire selon ISO13297 dans certains cas.



*Tableau 220V marine (VDO). Un tableau étanche bâtiment convient aussi.*



*A ne pas faire*



# Réalisation : Entretien et évolution



*Même bien protégé, un circuit peut générer un incendie à partir d'une dizaine d'Ampère*

- Resserrer les connexions après une semaine, puis un mois, puis un an (valable à la maison aussi!)
- Ne pas négliger les alertes (sensations ou odeurs de chaud)
- Penser au relais de guindeau
- Pourquoi pas une thermographie infra-rouge ?

Pas de compromis lors des rajouts ultérieurs !

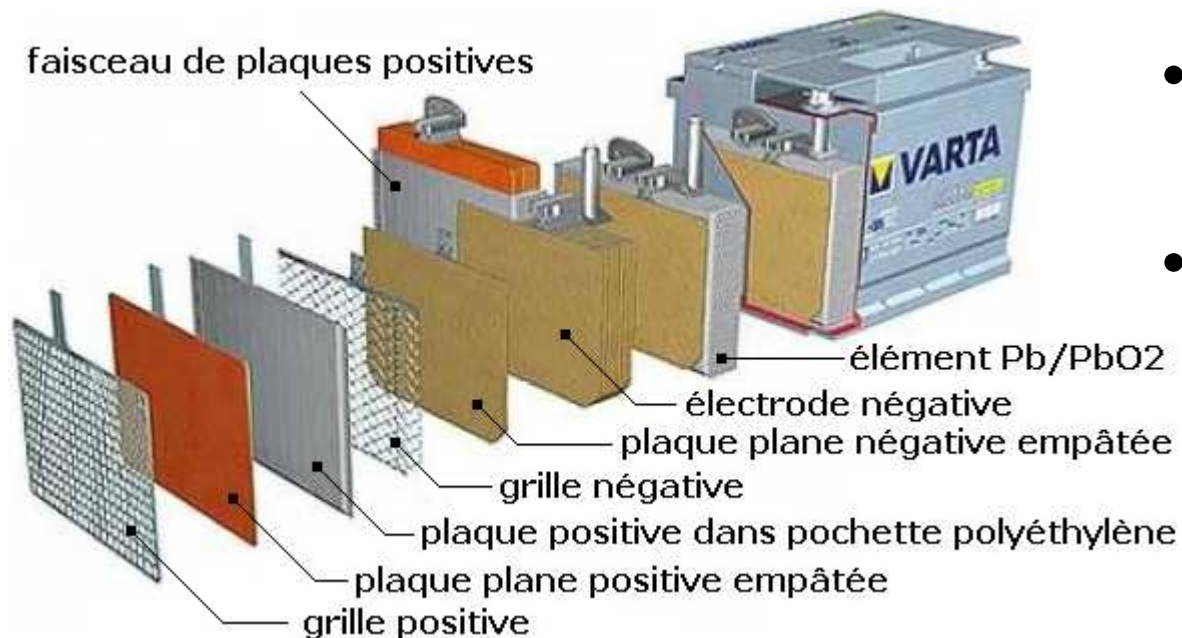


# Chapitre 2

## Comprendre (un peu) les batteries au Pb

Le problème :

- Bien choisir ses batteries
- Savoir les utiliser et les protéger



Les solutions :

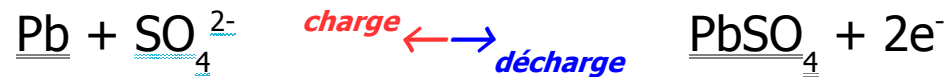
- Comprendre leur fonctionnement
- Détecter les causes possibles d'usure prématurée



# Un peu de chimie de base ???

Fabrication : grilles en plomb tartinées de plomb-pâte (+) ou d'oxyde de plomb (-), ensachées, reliées et baignées d'acide sulfurique.

Sur la plaque « + » :



Sur la plaque « - » :



Donc pendant la décharge :

- Pb et PbO<sub>2</sub> des plaques deviennent PbSO<sub>4</sub>, plus volumineux.
- L'acide sulfurique de la solution devient de l'eau.



Intérieur d'une petite batterie

# Mais... beaucoup de variantes



- Additifs sur les grilles : antimoine (obsolète), calcium, argent... Agit sur l'hydrolyse de l'eau et donc sur l'entretien (*entretien = vérification du niveau d'eau*).
- Géométrie des plaques et du boîtier. Effet sur la résistance mécanique, la puissance maxi (pour le démarrage), la circulation et le mélange de l'acide.
- Valve Regulated Lead Acid (VRLA) : une soupape calibrée de dégazage empêche l'échappement d'hydrogène/oxygène. Ils se recombinent en eau, qui reste dans la batterie donc plus besoin d'entretien.
- Piégeage de l'électrolyte dans un gel (batteries « GEL ») ou des fibres de verre (batteries « Absorbed Glass Matt »).  
*Plus d'entretien possible, donc VRLA obligatoire.*
- Etc...



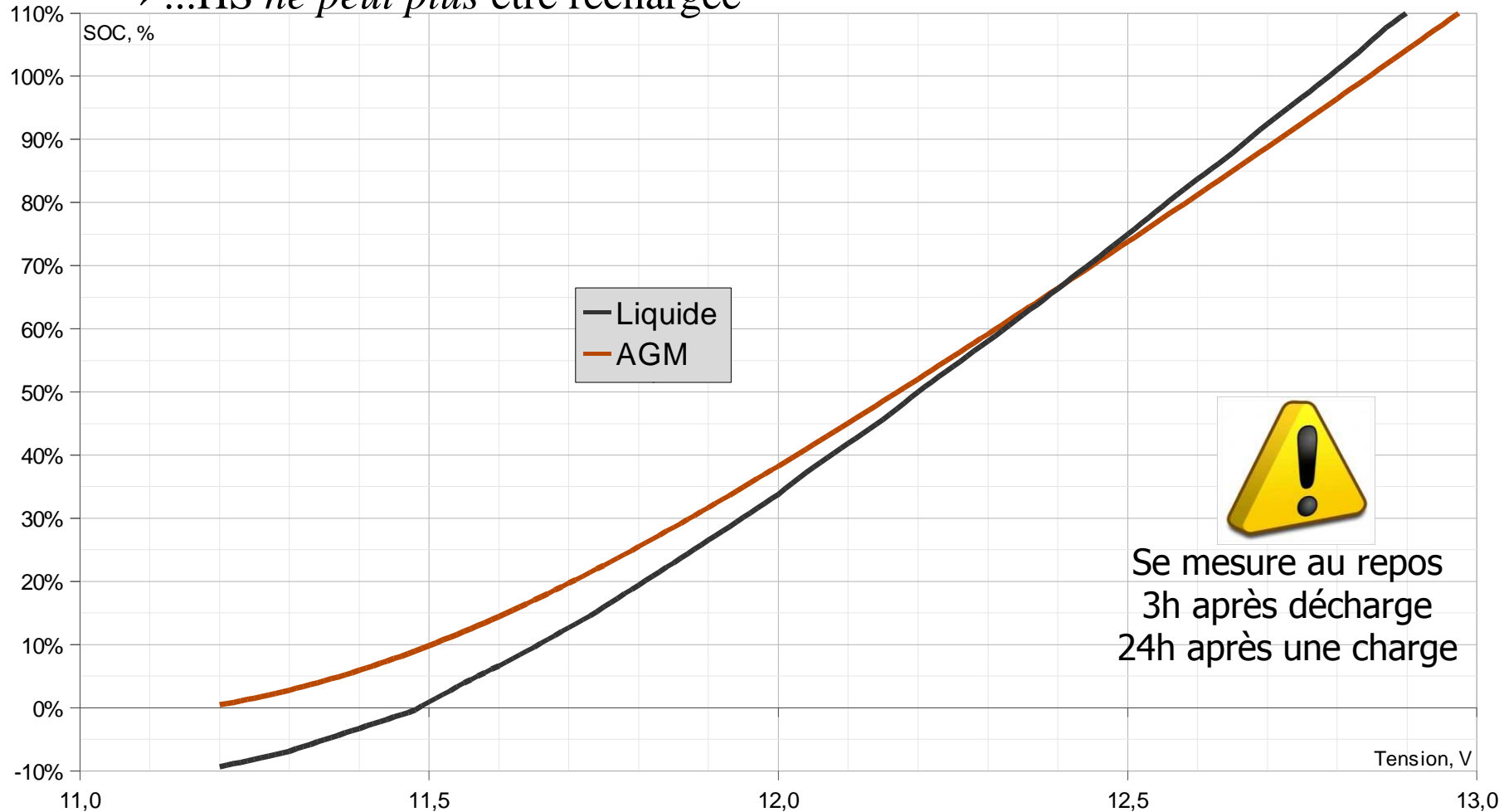
*Sans entretien ?*

*Avec entretien ?*



# Etat de charge

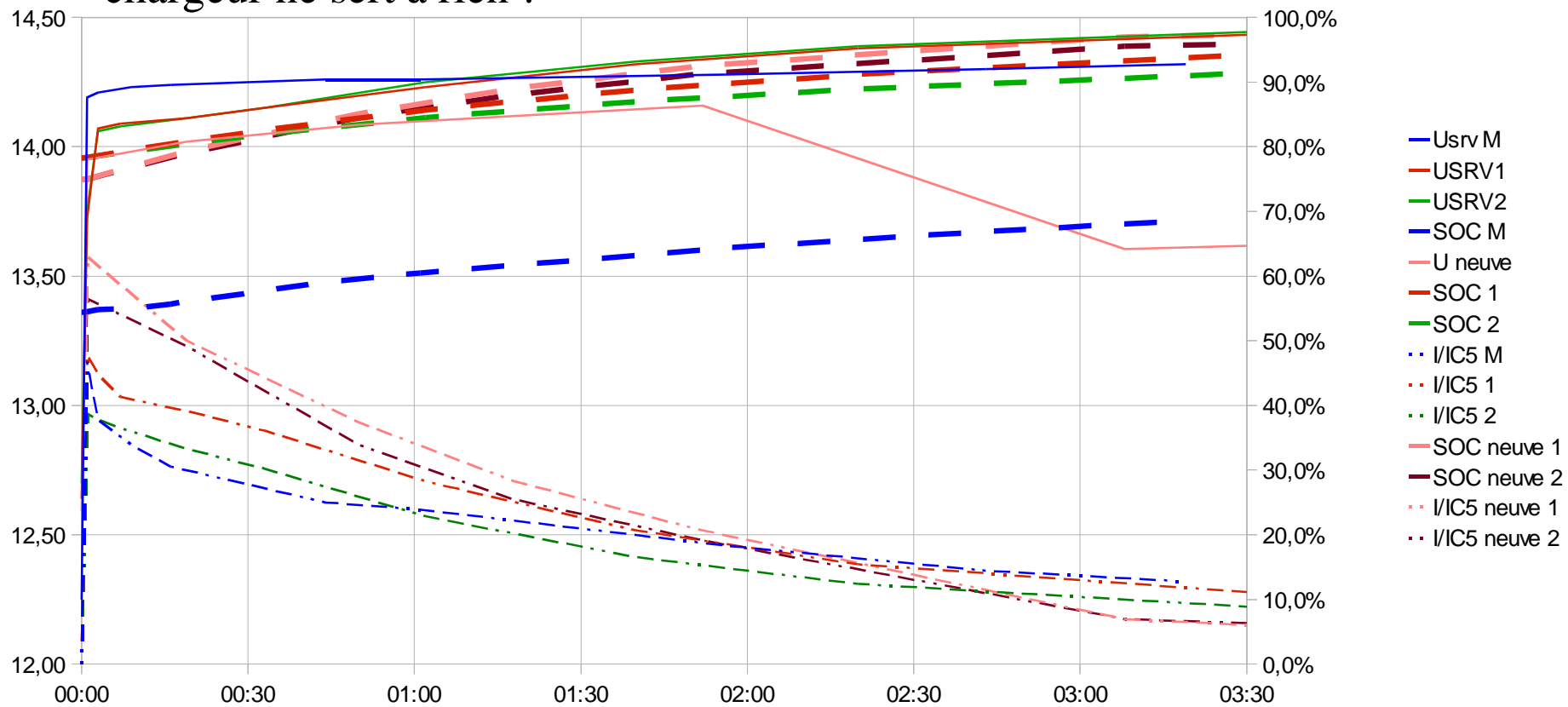
- Pourcentage d'énergie encore stocké dans la batterie =  $\text{Ah restants} / \text{Ah total}$
- Ne pas confondre avec l'état de santé. Une batterie...
  - ...déchargée ne fonctionne pas, mais fonctionnera après recharge
  - ...HS *ne peut plus* être rechargée





# Acceptance de charge

- Empiriquement, c'est pour moi le meilleur indicateur de santé de la batterie.
- Correspond bien à nos besoins.
- C'est la capacité de la batterie à se recharger rapidement.
- C'est l'état de la batterie qui limite la charge. Changer d'alternateur ou de chargeur ne sert à rien !



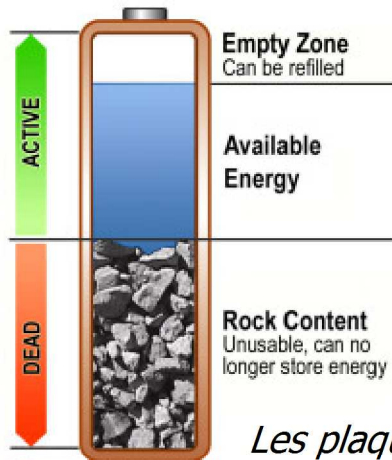
# Ce qui peut arriver à une batterie

*Une cellule est en court-circuit partiel*

- contraintes mécaniques
- séparateur percé

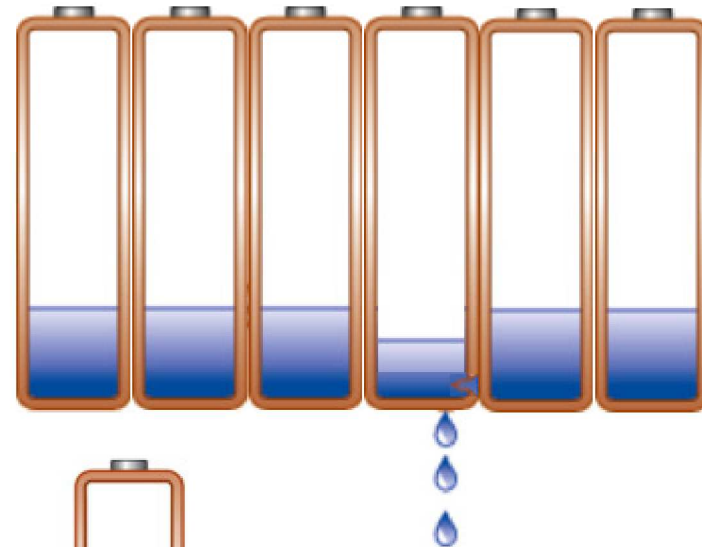
*Une cellule se charge moins/se décharge plus*

- température non homogène
- prélèvement au point milieu en série



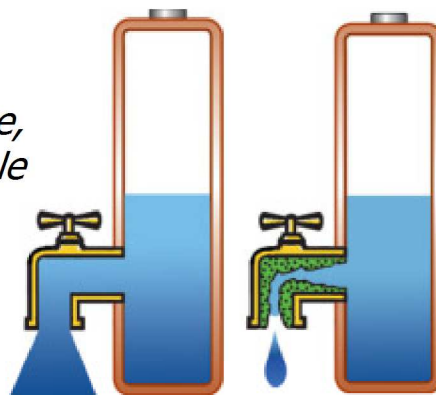
*Les plaques sont en partie inertes ou même cassées*

- contraintes mécaniques,
- cristallisation / stratification,
- manque d'eau
- pollution (eau non distillée)



*Acceptance de charge en berne, matière réactive peu accessible*

- vieillissement



Low resistance

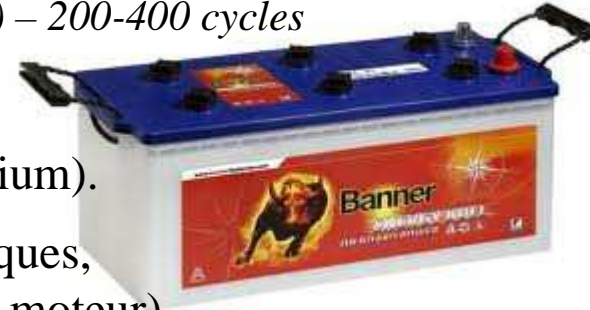
High resistance



# 3 technologies de batteries disponibles

« **Flooded** » ou « **Liquide** » - environ 1-2€ HT l'Ah (12V) – 200-400 cycles

- Les préférer grosses, l'acide circule mieux.
- Avec bouchons, même celles « sans entretien » (= au calcium).
- Les batteries solaire, de cyclage, etc... ont des grosses plaques, conviennent mieux au cyclage (mais pas au démarrage du moteur).
- Pour le moteur, même critères que pour l'automobile.



« **Gel** » (VRLA)

- environ 2-3€ HT l'Ah (12V) ; 500-800 cycles



- Vieillit mieux, plus de cycle
- Meilleure acceptance de charge.
- Pas d'entretien possible  
*même en cas de surchauffe.*
- Convient mal pour le moteur.

Exide – Sonnenschein

« **AGM** » (VRLA)

- *Surtout intéressantes pour la sécurité (pas de fuite d'acide).*
- Pas très bonnes en cyclage et chères.

# Règles d'utilisation

- Eviter les décharges profondes (<30% d'état de charge). Tension mini = 10,5 à 11,8V suivant le courant.
- Maintenir et stocker chargé et au frais. Surveiller l'état de charge au repos. Ne pas laisser le chargeur branché plus de 24h sans nécessité.
- Ne pas surcharger (électrolyse → surchauffe et perte d'eau). Utiliser un chargeur moderne (tension maxi = 14,4 V).
- Surveiller une ou deux fois par an le niveau d'eau. Appoint uniquement à l'eau distillée.
- Mise en série (2x6V=12V ou 2x12V=24V) : batteries identiques, neuves, achetées ensemble. Interdiction stricte de prise 12V au point milieu.
- Mise en parallèle (cas général) : pas de contrainte, tant qu'elles sont en bon état et comparables.



*Avoir un voltmètre, c'est bien...*

*... si on sait quoi en faire !*

# Chapitre 3 - Devenir autonome

Le problème :

- Définir son « programme de navigation »
- Estimer ses besoins en énergie

Les solutions :

- Optimiser sa consommation
- Sources possibles d'énergie



# Autonomie – Programmes de navigation

Objectif : estimer la proportion de navigation, avec ou sans pilote, de jour ou de nuit, exigences de confort (réfrigération, climatisation, chauffage, dessalinisateur...)

Combien d'heures de groupe électrogène, de moteur

Escales au mouillage ou au port ?

Est-ce critique de manquer (un peu) d'énergie ?

Météo moyenne : vent, soleil, chaleur...



*Vagabond dans le grand nord*



# Autonomie – Faire le bilan des consos

En fonction du programme, on calcule la consommation totale sur la période à considérer

On prend en compte les apports « naturels » : moteur, port, groupe ou autre

On peut alors déduire :

- D'une part le nombre de Wh (ou d'Ah) qui manquent
- D'autre part le besoin de stockage et d'acceptation de charge des batteries

Parc de batteries déterminé par :

- Admittance de charge (ne stocke pas toute l'électricité délivrée par le moteur)
- Energie stockée utilisable (une fois / à chaque fois)
- Puissance max (en pratique, n'est jamais une limite)

# Autonomie optimiser sa consommation

- ◆ Choisir les appareils plus économes
- ◆ Se poser la question du mode de vie (faut-il vraiment un frigo ? Aussi grand?)
- ◆ Idem pour les techniques de navigation (Radar ou AIS ? Pilote ou régulateur?)
- ◆ Simplicité = ... moins d'emmerdes !



On ne cherche pas forcément à transposer un mode de vie urbain (rassurant) sur un voilier.

Se remettre en question demande du temps.



# Autonomie – choisir les appoints

Technique	Apport	Avantage	Inconvénient	Prix
Solaire	10 - 50 Ah/j	Economique et simple (ni panne, ni entretien). Silencieux. Charge lente. Navigation ou mouillage. Image de bateau de voyage.	Peu d'énergie produite. Difficile à bien exposer, arceau coûteux.	500 ... 5000 €
Eolien	25 - 100 Ah/j et plus	Economique et puissant. Peu d'entretien. En navigation (sauf portant). Image.	Bruyant. Rarement efficace au mouillage (pas de vent!) et au portant. Risque de casse.	1000 ... 2000 €
Alternateur d'arbre	50 - 200 Ah/j	Assez simple, peu d'entretien. Puissant. Toutes allures.	Pas toujours possible. Bruyant. Risques hélice. Pas au mouillage.	1000 ... 2000 €?
Hydrolienne	50 - 200 Ah/j	Puissant. Toutes allures. Peu d'installation.	Manipulations lourdes. Risque de casse.	1500 ... 5000 €
Pile à combustible	75 - 150 Ah/j	Silencieux.	Complexe. Chauffe. Consomme 1 à 2 l/j de Méthanol à acheter (> 3€/l, et où le trouver ?).	3000 ... 6000 €
Groupe électrogène	Ad lib.	220V pour clim, etc... Energie quasi illimitée.	Bruit. Poids. Taille. Entretien. Conso 0,5 à 1 l/j de GO.	6000 ... 10000 €



# Chapitre 4 – Protection contre la foudre

Problème : comment l'éviter ou éviter ses conséquences...

- Courant très important (10.000 A)  
⇒ chaleur, énergie
- Impulsion très rapide (1  $\mu$ s)  
⇒ rayonnements

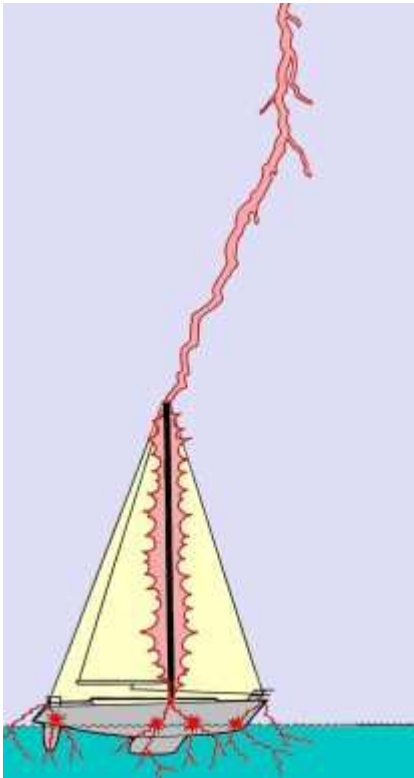
Effets possibles :

- Chaleur intense →  
*destruction immédiate du navire*
- Chaleur localisée →  
*destruction d'un organe*  
(antenne VHF, passe-coque...)
- Impulsion électrique →  
*destruction d'appareils électroniques*



Tornade sur le lac Champlain, Quebec





## Protections envisageables :

- **Canaliser la foudre (= paratonnerre)**  
*2 ou 3 tresses de 50mm<sup>2</sup> à la quille ou la coque métallique, depuis les cadènes. Entretien à prévoir.*
- **Eliminer les risques**  
*Antenne VHF de secours, passe-coques métalliques...*
- **Protéger l'électronique**  
*Par des parafoudres = parasurtenseurs*  
*Par une topologie linéaire des circuits (pas de boucle)*



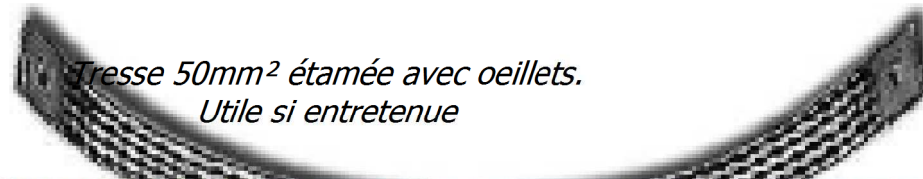
*Eclateur 100 000A réf Dehn 923023  
125 € env.*

*Jamais testé...*



Les unités des  
années 1980 étaient  
protégés *mais leur  
protection est HS.*

Les unités produites  
depuis *ne sont plus  
du tout protégées.*



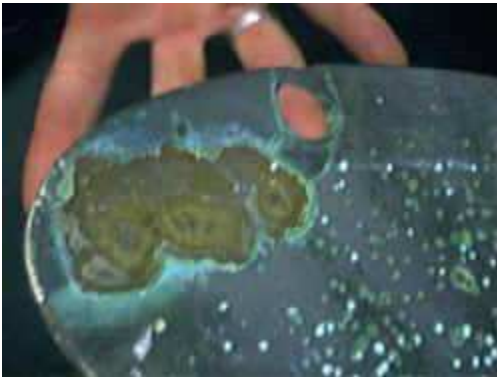
*Tresse 50mm<sup>2</sup> étamée avec oeillets.  
Utile si entretenue*



# Chapitre 5 – Electrolyse

Problème :

- S'en protéger
- La reconnaître
- L'éliminer



*Exemples d'electrolyse sur deux hélices...*



*Illustration par G.Boulant  
Expertise C.M.E.L Roquebrune/Argens*

Définition :

Tout phénomène de corrosion impliquant un courant électrique

Ce courant est imposé par la nature des métaux ou le système électrique.



*Corrosion aqueuse –  
bateau sous-protégé*



*Cloques (hors osmose) – bateau  
sur-protégé*

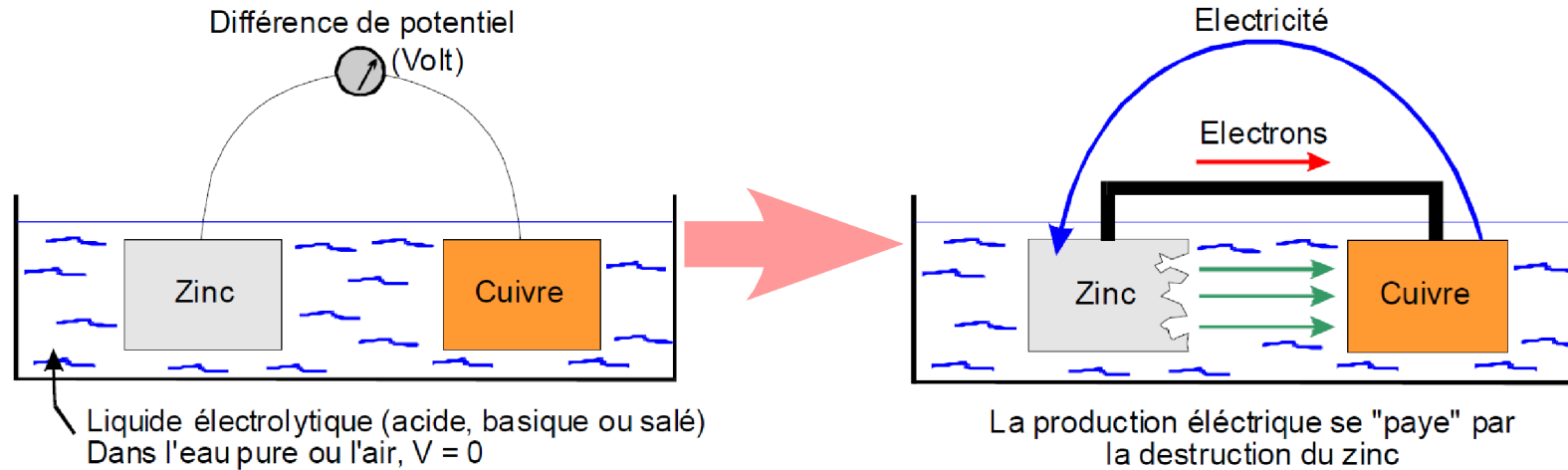


*Source Galvatest*

*Corrosion electrolytique – bateau  
sous-protégé*



## Mode « passif »

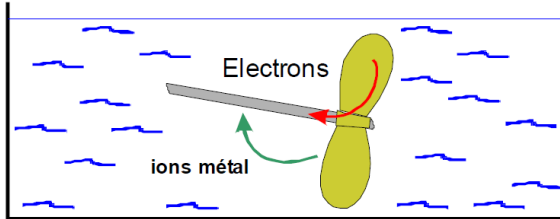


Illustrations par C. Brunelin  
cabinet d'expertise C.MED Montpellier

Graphite (graisses graphitées = danger...)  
Platine, or et argent aux environs de  
Inox 304 ou 316 passivé  
Cuivre, bronze, bronze d'aluminium  
Inox 304 ou 316 actif  
Plomb  
Acier – Fonte  
Aluminium et alliages d'aluminium  
Zinc  
Magnésium

+200 à +300 mV  
0 mV « noble »  
-50 à -80 mV  
-360 mV  
-500 mV  
-510 mV (à vérifier, -220mV ?)  
-610 mV  
-850 à -750 mV  
-1130 mV  
-1600 mV « sacrifié »

## Dans quel contexte ?



Le contact direct est aussi un conducteur  
Hélice bronze d'alu / arbre inox passif

Illustrations par C.Brunelin  
cabinet d'expertise C.MED Montpellier

### ...Effet indésirable :

- Métaux différents en contact électrique (hélice, pièces du moteur, passe-coque...)
- Nuances d'acier, d'alu, ... différentes
- Métal de l'anti-fouling ou d'une peinture
- Outil oublié au fond de la coque
- Rivets inox sur espars aluminium
- ...

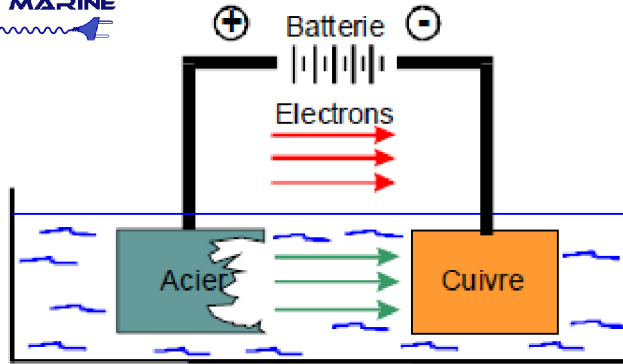
### ...Effet souhaité :

- Protection par les anodes de zinc pur, voire de magnésium
- (*pour mémoire... piles électriques !*)

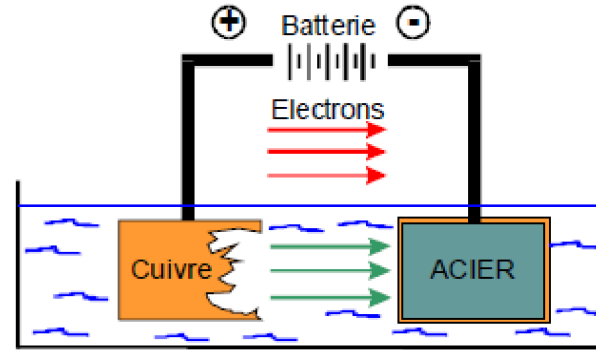
*Compter de l'ordre de 1kg pour 0,1A pendant 1an  
(chiffre à vérifier)*



## Mode « imposé »



Le pôle + constituant l'anode, elle se détruit encore plus vite



Le courant imposé permet de déposer du métal noble sur un métal moins noble  
Dorure, cuivrage

Electrolyse imposée par un courant externe  
⇒ Peu importe la nature des métaux,  
celui relié au  $\oplus$  est attaqué.

Courant alternatif...  
⇒ les deux sont attaqués !

## Dans quel contexte ?

...Effet indésirable :

- Circulation parasite de courants de fuite dans l'installation 12/24V du bateau

⇒ *rechercher les fuites régulièrement*

⇒ *installation « nettoyée »*

⇒ *une trainée de sel est un bon chemin*

⇒ *utiliser les coupe-batteries + et -*

- Circulation parasite par la terre du 220V (à l'extérieur du bateau)

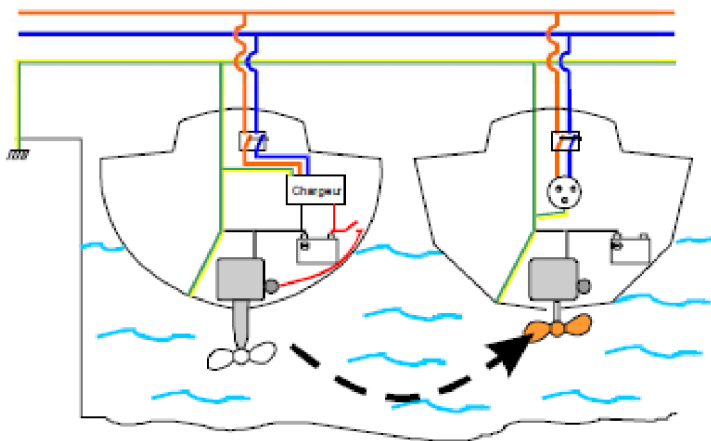
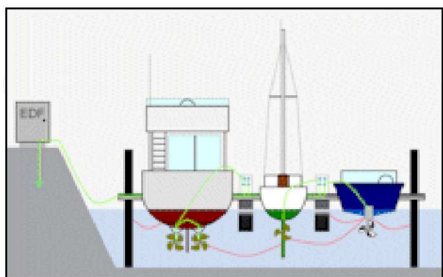
⇒ *ne pas laisser le 220V branché*

⇒ *attention à l'environnement (chantiers, état de l'installation, navires environnants)*

...Effet souhaité :

- Protection « active » par imposition de courant (rare)

Et le fil de terre dans tout ça ? Il est relié à certaines parties métalliques du bateau (Div 240)



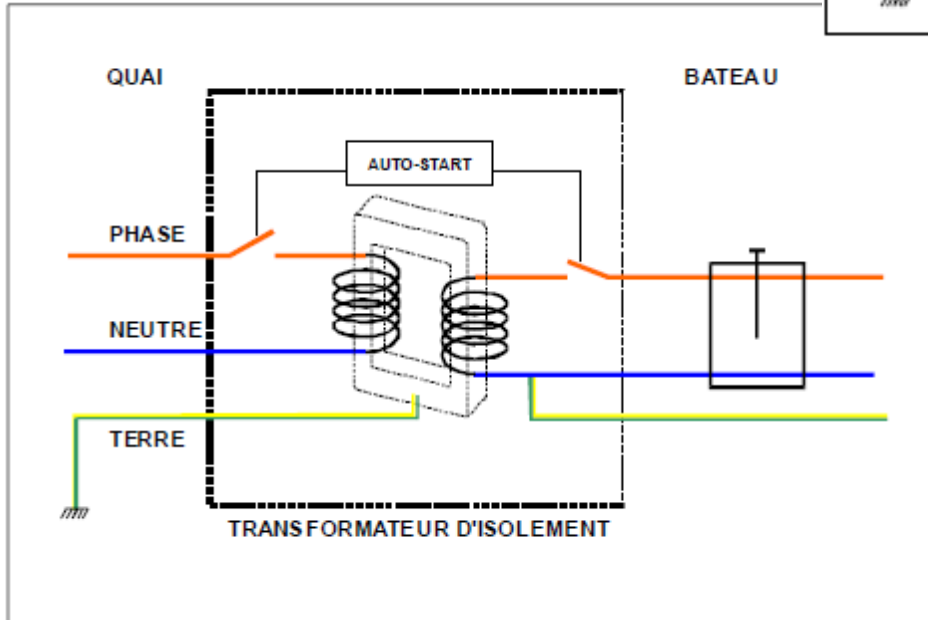
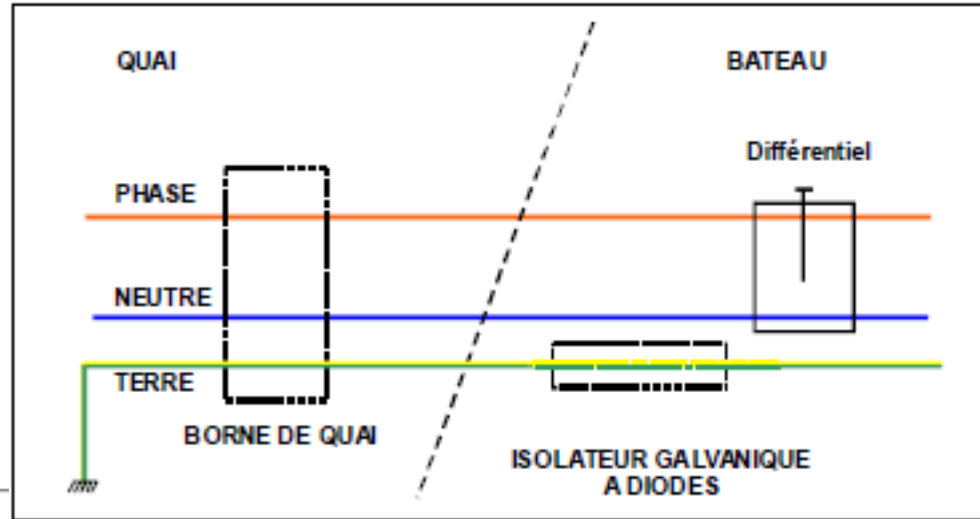
- Relie les coques, palplanches, ducs d'albe, etc... entre eux
  - ⇒ relie une coque/embase alu à la coque voisine ou au quai en acier
  - ⇒ vos anodes protègent les palplanches du port
- Amène un défaut extérieur dans le bateau
  - ⇒ si le différentiel du quai ne déclenche pas
- Au minimum relié au chauffe-eau
  - ⇒ liaison au moteur par le liquide de refroidissement

Illustrations Galvatest & C.Brunelin / C.MED

- Protection en coupant la terre, par :
- Isolateur galvanique
  - Transformateur d'isolement (lourd, cher)
  - Ne pas connecter la coque (cf. ISO 13297 §4.2)



Montage d'un isolateur galvanique sur la terre de la prise de quai



Montage d'un itransformateur d'isolement

Illustrations par C.Brunelin  
cabinet d'expertise C.MED Montpellier