

L'électricité

| Evolution des modifications | | |
|------------------------------------|------|-------|
| Détail | Noms | Dates |
| | | |
| | | |
| | | |

L'électricité

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| 1 Règles de base sur l'électricité | 3 |
| 1.1. Création du courant continu | 3 |
| 1.1.1 par effet chimique (électrolyse, pile ...)..... | 3 |
| 1.1.2 par effet thermoélectrique..... | 4 |
| 1.1.3 par effet photovoltaïque | 4 |
| 1.1.4 par effet statique | 4 |
| 1.1.5 par effet électromagnétique..... | 4 |
| 1.1.6 Par générateur | 5 |
| 1.2 Les effets du courant continu | 5 |
| 1.2.1 Les effets chimiques : | 5 |
| 1.2.2 Les effets thermiques | 5 |
| 1.2.3 Les effets électromagnétiques..... | 5 |
| 1.3 Courant alternatif | 7 |
| 1.3.1 Monophasé..... | 7 |
| 1.3.2 Triphasé | 10 |
| 2. Les réseaux électriques | 11 |
| 2.1. Les régimes du neutre | 11 |
| 2.2. Les réseaux de distribution en France..... | 12 |
| 2.3. Les tensions distribuées | 13 |
| 2.4. Les tarifs d'EDF | 13 |
| 2.5. Les protections par disjoncteurs | 14 |
| 3. Les dangers de l'électricité | 16 |
| 4. Les normes | 17 |
| 4.1. Généralités sur les normes | 17 |
| 4.2. Pour les branchements et raccordements la norme NF C14 100 | 18 |
| 4.3. Les règles d'habitation avec la norme NF C15-100..... | 18 |
| 4.4. Equipement minimum préconisé | 19 |
| 4.5. La réglementation pour pièces humides | 19 |
| 4.6. La réglementation pour les piscines | 20 |
| 4.7. Exemple de schéma type | 21 |
| 4.8. Pour l'étanchéité des enveloppes..... | 22 |
| 4.9. Pour les chocs mécaniques | 23 |
| 5. Protection contre la foudre | 24 |

L'électricité

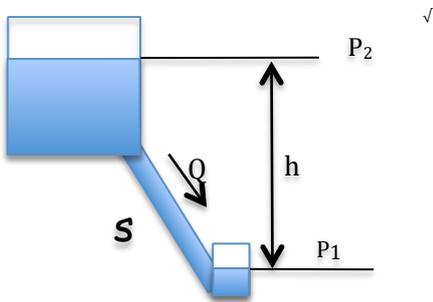
1 Règles de base sur l'électricité

Préalable: L'électricité correspond aux déplacements d'électrons dans un corps conducteur ; on ne peut la voir que par les manifestations qu'elle produit.

Les électrons (chargés négativement) vont de la borne négative vers la borne positive créant un courant électrique (inverse) entre 2 niveaux à des potentiels différents du (+) vers le (-) ; cet écart est la tension exprimée en Volts, le courant I (ou débit) s'exprime en Ampères et correspond à la quantité d'électricité Q exprimé en Coulomb transportée en une seconde : $I = Q/t$ soit $Q=It$

NB : à noter que la quantité d'électricité transportée pendant une heure (soit 3600 Coulombs) s'exprime en Ampère heure.

Il est souvent fait une analogie entre l'électricité et les fluides comme l'eau ; en effet, un récipient rempli d'eau placé à un potentiel P2 laisse passer un flux ou débit d'eau D pour aller à un potentiel (plus bas) P1. La différence de potentiel électrique $V2-V1$ crée un courant continu I (en Ampère) .



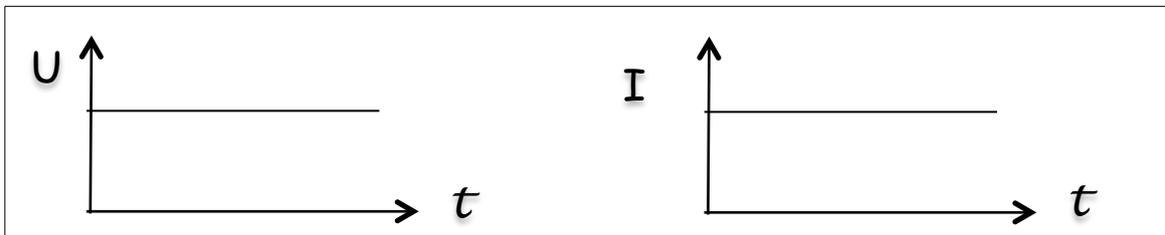
$$P2-P1=h \cdot \tau \cdot D$$

(Ce qui correspond en électricité à $U2-U1=RI$)

par ailleurs $D=Sv=k \sqrt{2gh}$ car $E=mgh=1/2mv^2$

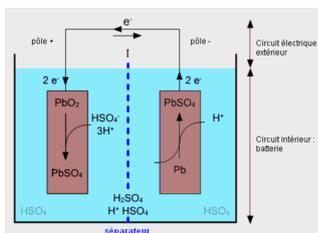
(avec h en m, τ une constante, D en m^3/s , S en m^2 , v en m/s et m en g et $g=9,8$)

1.1. Création du courant continu

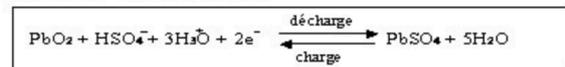


Valeurs constantes en fonction du temps suivant la relation $U=RI$

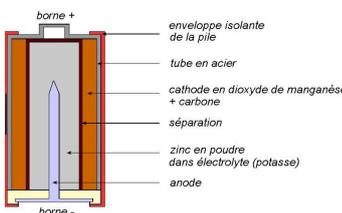
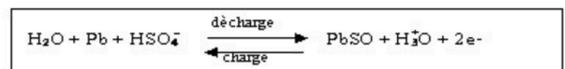
1.1.1 par effet chimique (électrolyse, pile ...)



Réaction à l'électrode positive



Réaction à l'électrode négative

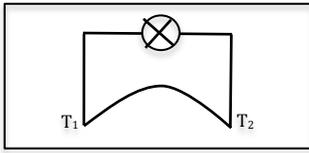


- à l'anode : $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$
- Dans l'électrolyte : $Zn^{2+} + 2NH_4Cl \rightarrow Zn(NH_3)_2Cl_2 + 2H^+$
- à la cathode : $MnO_2 + H_2O + e^- \rightarrow MnO(OH) + OH^-$

L'électricité

1.1.2 par effet thermoélectrique

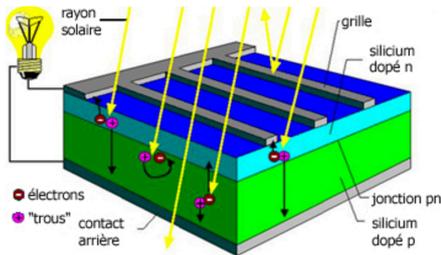
Une différence de température crée une différence de potentiel et donc un courant sur un récepteur.



$$\Delta V = \alpha \Delta T$$

(Avec $\alpha =$ pouvoir thermoélectrique entre les conducteurs)

1.1.3 par effet photovoltaïque



1.1.4 par effet statique



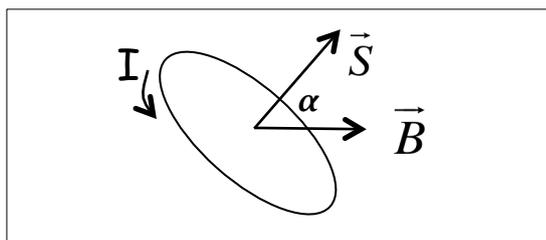
La loi de Coulomb dit :

$$\text{la force d'interaction entre 2 objets électrisés } F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d^2}$$

(avec q et $q' =$ charge électrique en Coulomb, $d =$ distance de séparation, et $\epsilon_0 =$ permittivité dans le vide)

1.1.5 par effet électromagnétique

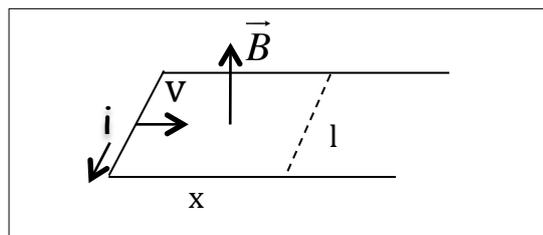
Une boucle de fil conducteur de surface S (en m) traversée par un champ magnétique B (exprimé en Tesla) crée un flux d'induction Φ (exprimé en Weber)



$$\Phi = \vec{S} \cdot \vec{B} = SNB \cos \alpha$$

(avec $N =$ nombre de spire si $N \neq 1$, $\alpha =$ angle entre le champ et l'axe de la surface)

Lorsqu'il y a variation de la surface $dS = l dx$ donc du flux dans le temps, il se crée une force électromotrice d'induction :



$$d\varphi = B \cdot dS = Bl dx \text{ avec } v = \frac{dx}{dt}$$

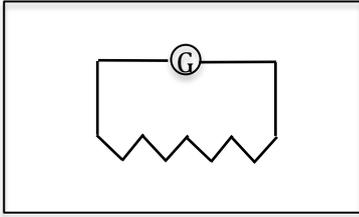
La formule de Faraday est

$$e = - \frac{d\varphi}{dt} = -Blv$$

(avec : e en volt, φ en weber, t en seconde, B en Tesla, l en mètre, v en m/s)

L'électricité

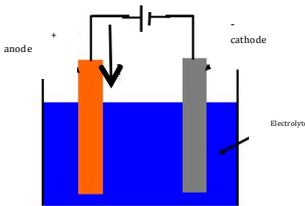
1.1.6 Par générateur



L'effet précédent cumulé dans un générateur de courant continu permet de créer une tension continue dans un circuit; le générateur étant entraîné par un groupe électrogène, une turbine hydraulique, des pales éoliennes ou toute autre source d'énergie...

1.2 Les effets du courant continu

1.2.1 Les effets chimiques :



La quantité d'électricité transportée (en coulomb) vaut l'intensité (en Ampère) par seconde.

$$Q=It$$

La formule de Faraday indique que la masse dégagée sur une électrode est

$$m = \frac{1}{96500} \frac{A}{n} It$$

(Avec m = masse de métal déposé en gramme, A = masse atomique en g, n = valence)

1.2.2 Les effets thermiques

Le passage d'un courant dans un conducteur de résistance ($R=\rho l/S$) dégage une énergie thermique de

$$W=RI^2t$$

(W exprimée en Joules, R = résistance en Ohm). La puissance (en Watt) est

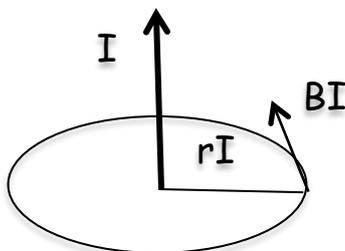
$$P= RI^2 = UI$$

$$U=RI$$

1.2.3 Les effets électromagnétiques

1.2.3.1 Sur un fil conducteur (résistant)

Tout conducteur traversé par un courant électrique I crée un champ magnétique B dirigé à gauche de celui ci.

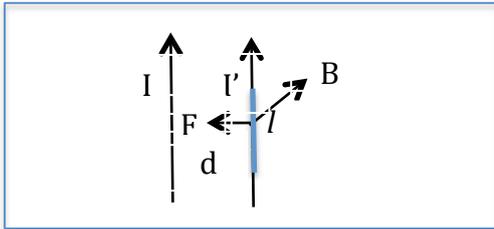


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B = 10^{-7} \frac{2I}{r}$$

L'électricité

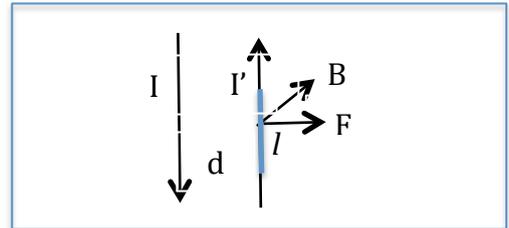
Influence entre 2 fils : ils s'attirent s'ils sont dans le même sens et se repoussent s'ils sont de sens contraires



La force agit sur la longueur l suivant :

$$F = BIl$$

$$F = 10^{-7} \frac{2II'}{d}$$



Les lois :

➤ Loi de Laplace :

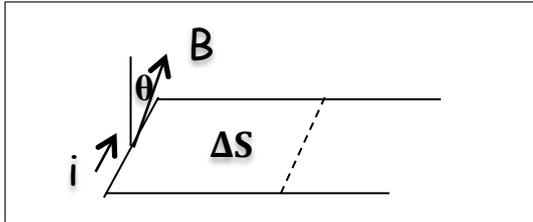
La force exercée est :

$$F = BIl \sin \theta$$

➤ Loi de Maxwell :

le travail des forces électromagnétiques est :

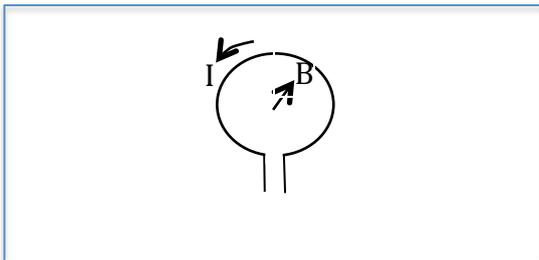
$$W = Fl = BI \Delta S \cos \theta = I \Delta \Phi$$



La puissance est : $P = \frac{dW}{dt} = \frac{Id\varphi}{dt} = Ie$ avec $e = \frac{d\varphi}{dt}$

1.2.3.2 Sur fil en boucle (inductance)

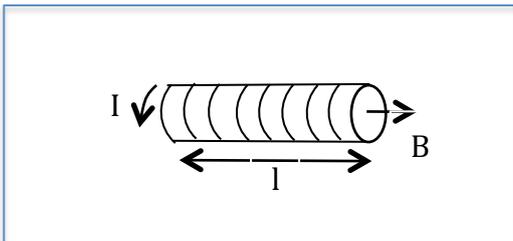
Influence d'une boucle de courant



$$\vec{B} = 10^{-7} 2\pi \frac{I}{r}$$

(avec r = rayon de la spire)

Avec N le nombre de spires



$$\vec{B} = 10^{-7} 4\pi NI$$

(avec N = nombre de spires)

Lorsqu'il y a plusieurs spires et un noyau de fer doux, le flux d'induction instantané est

$$\boxed{\varphi = Li}$$

(avec L = l'inductance en henry)

$$\varphi = 10^{-7} 4\pi \frac{N^2 S}{l} i \quad \text{d'où } L = \frac{\varphi}{i} = 10^{-7} 4\pi \frac{N^2 S}{l} \quad \text{alors } e = - \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\boxed{e = -L \frac{di}{dt}}$$

L'électricité

L'énergie magnétique en Joule est $W = \frac{1}{2} (LI^2)$

La force de l'électro-aimant pour soulever un poids est :

$$\vec{F} = 10^7 \frac{B^2 S}{8\pi}$$

1.2.3.3 Sur condensateurs (capacitance)

Ils sont composés de 2 armatures conductrices séparées par un isolant ; la quantité d'électricité Q (exprimé en coulombs) qui charge le condensateur est proportionnelle à la tension U :

$$Q = CU$$

(le rapport est C = capacité en Farad)

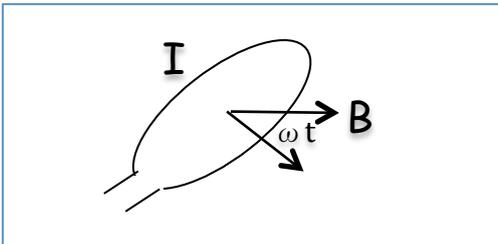
$$C = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \frac{\epsilon S}{e} \quad (\text{avec } \epsilon = \text{permittivité relative du diélectrique})$$

$$u = \frac{q}{C} \quad \text{avec } i = \frac{dq}{dt}$$

L'énergie de charge en Joule est $W = \frac{1}{2} CU^2$

1.3 Courant alternatif

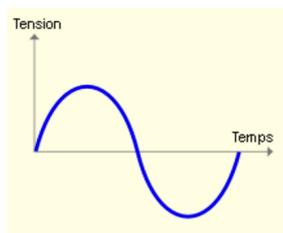
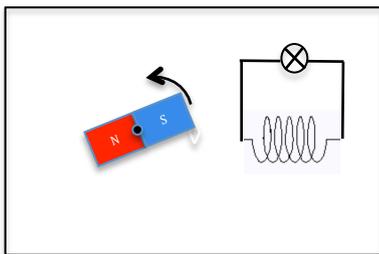
L'angle ωt fait 360° ou 2π en une période T à la fréquence f.



$$\begin{aligned} \phi &= nBS \cos \omega t \\ e &= -\frac{d\phi}{dt} = nBS \omega \sin \omega t \\ E_m &= nBS \quad \text{comme } E_e = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{nBS\omega}{\sqrt{2}} \\ E &= \frac{\Phi_m \omega}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

1.3.1 Monophasé

(le mouvement rotatif d'un aimant produit un courant sinusoïdal sur une bobine)

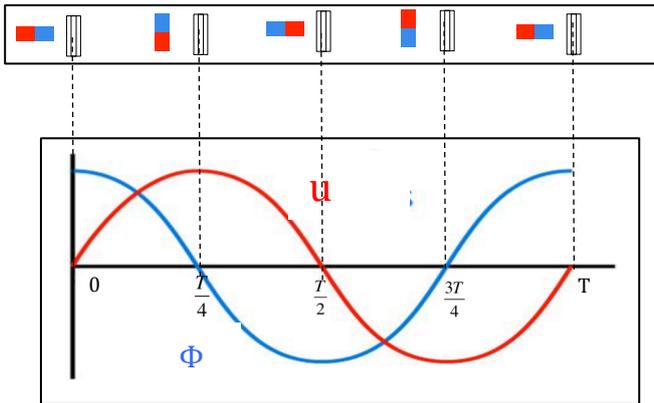


$$i = I_m \sin \omega t$$

$$i^2 = I_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{I_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

$$I_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{I_m^2}{2} \quad \text{d'où } I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

L'électricité



$$\phi = \phi_m \cos \omega t$$

$$u = \frac{d\Phi}{dt} = \omega \phi_m \sin \omega t = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$$

La puissance moyenne est

$$P = EI \cos \varphi$$

(avec P en Watt, E en volt, EI la puissance apparente en volt-Ampère)

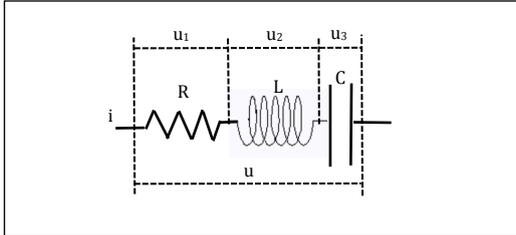
Dans un transformateur, l'énergie fournie par la bobine du primaire est pratiquement totalement consommée par celle du secondaire : $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \approx P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ d'où $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ ou $\sqrt{2gh} = \frac{U_1}{U_2} =$

$$\sqrt{2gh} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\frac{n_1}{n_2}$$

(n étant le nombre de spires de chacune des bobines)

1.3.1.4 Actions sur un circuit



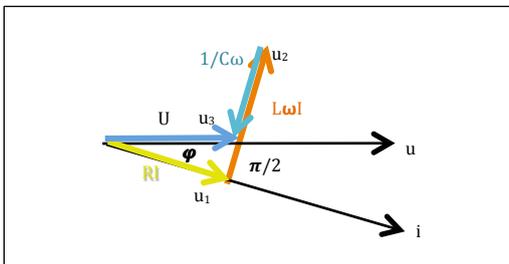
$$u = u_1 + u_2 + u_3$$

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = U\sqrt{2} \cos \omega t$$

$$(u) = z(i) = (R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})) (i) = Ze^{j\theta}(i)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

1.3.1.5 Représentation vectorielle



$$U = ZI$$

L'impédance résultante est $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$

$$\text{tg } \varphi = -\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \text{ et } \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

L'angle φ représente le déphasage entre la tension et le courant :

si φ=0 les valeurs sont en phase, si φ>0 le courant est en avance sur la tension et si φ<0 il est en retard.

NB : si $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ alors $LC\omega^2 = 1$ et $T_0 = \sqrt{LC}$ il y a alors résonance : φ=0, Z=R et $I_e = \frac{U}{R}$ est maximal

L'électricité

1.3.1.6 Représentation avec les complexes ($j^2=-1$)

$$(i) = I_m [\cos(\omega t + \varphi) + j \sin(\omega t + \varphi)] = I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m e^{j\omega t} e^{j\varphi} \approx I_m e^{j\varphi}$$

$$(i) = I(\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

avec : $(i) = I e^{j\varphi}$; $(\frac{di}{dt}) = \omega I e^{j(\varphi + \pi/2)} = \omega I e^{j\varphi} e^{j\pi/2} = j \omega (i)$; $(\frac{d^2i}{dt^2}) = j \omega (\frac{di}{dt}) = -\omega^2 (i)$

et $(\int i dt) = \frac{I}{\omega} e^{j(\varphi - \frac{\pi}{2})} = \frac{I}{\omega} e^{j\varphi} e^{-j\frac{\pi}{2}} = -\frac{j}{\omega} (i) = \frac{(i)}{j\omega}$

alors $(u_1) = R(i)$; $(u_2) = L(\frac{di}{dt}) = jL\omega(i)$ et $(u_3) = \frac{1}{C} \int i dt = -\frac{j}{C\omega} (i)$

$$z = R + j(L\omega + \frac{1}{C\omega}) = Z e^{j\theta}$$

$$\text{tg}\theta = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = -\text{tg}\varphi$$

$$z_1 = R e^{j0} = R$$

$$z_2 = jL\omega = L\omega e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$z_3 = -\frac{j}{C\omega} = \frac{1}{C\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

1.3.1.7 Puissance en monophasé

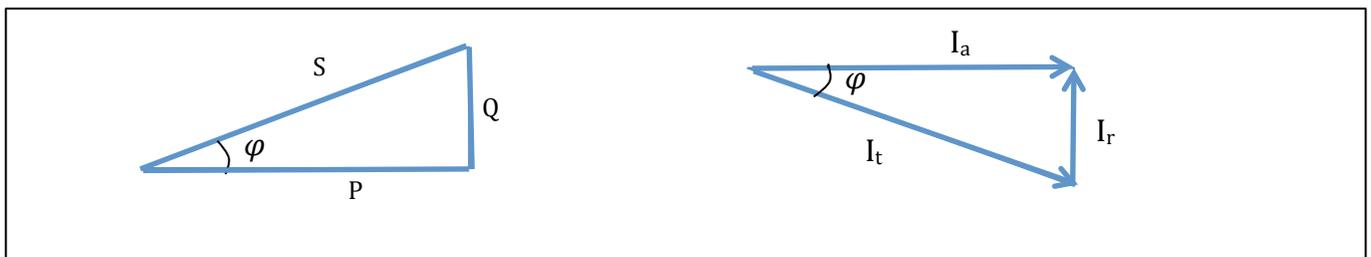
Avec $u = U\sqrt{2} \sin \omega t$ et $i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$ la puissance instantanée est $p = ui = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi)$

Dans un circuit, l'énergie électrique absorbée ou puissance apparente (exprimée en voltampère) se décompose en 2 puissances :

- La puissance active (moyenne sur une période T) $P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi$ qui se transforme en travail et en chaleur (pertes) mesurée en Watts (W),
- La puissance réactive $Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi$ nécessaire à l'excitation magnétique des récepteurs (moteurs, transformateurs, postes de soudure...) mesurée en VoltAmpère Réactifs (var).

La puissance apparente $S = UI$ (exprimée en voltampères (VA)) est $S^2 = P^2 + Q^2$

Du diagramme des puissances on peut déduire celui des courant (en divisant les puissances par la tension) ; on trouve $I_a = I_t \cos \varphi$ le courant actif (qui se transforme en énergie mécanique ou en chaleur), $I_r = I_t \sin \varphi$ le courant réactif nécessaire à l'excitation magnétique des récepteurs (sans production d'énergie utile) et $I_t = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$ le courant total (celui qui parcourt les conducteurs).



Le facteur de puissance est $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_a}{I_t}$ et $\text{tg}\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{I_r}{I_a}$ figure sur les factures d'électricité de

L'électricité

l'abonné HT si elle dépasse 60% de l'énergie active (c'est le cas lorsqu'il y a des moteurs en ligne ou des ballasts d'éclairage au néon).

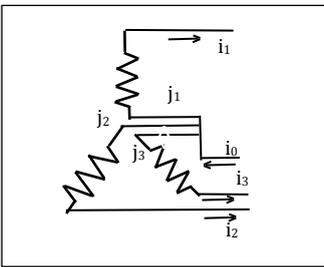
Pour compenser le facteur de puissance inutile qui témoigne d'une intensité plus élevée que celle nécessaire, augmente les chutes de tension en ligne et les sections des câbles, on place des batteries de condensateurs (dimensionnées suivant des abaques pour réduire la valeur de $tg\varphi$) qui se comportent comme un véritable générateur autonome d'énergie réactive.

1.3.2 Triphasé

Les forces électromotrices de chaque phase sont décalées d'un tiers de période :

$$e_1 = E_M \cos \omega t \qquad e_2 = E_M \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \qquad e_3 = E_M \cos \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right)$$

1.3.2.8 Générateur en étoile :

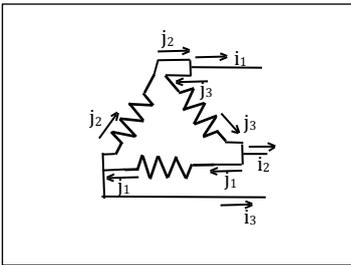


$$u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

$$\text{et } i_0 = i_1 + i_2 + i_3 = j_1 + j_2 + j_3$$

s'il n'y a pas de neutre, alors $i_0 = 0$

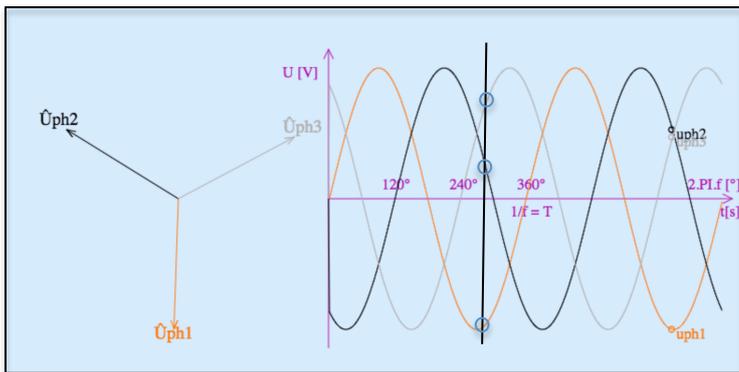
1.3.2.9 Générateur en triangle :



$$i_1 = j_2 - j_3 \quad i_2 = j_3 - j_1 \quad \text{et } i_3 = j_1 - j_2$$

avec $u_1 + u_2 + u_3 = 0$ et $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

En cas d'équilibre parfait, la somme des tensions et des courants est nulle à chaque instant.



L'électricité

2. Les réseaux électriques

Le choix du régime du neutre (isolé ou mis à la terre) conditionne le degré de protection souhaité des personnes contre les contacts indirects suivant les différentes utilisations.

Neutre à la Terre (TT) : neutre et masses à la terre, dispositifs différentiels obligatoires ; coupure

| | | MASSES | | |
|--------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---|
| | | raccordées à la Terre (T) | raccordées au Neutre (N) | |
| NEUTRE | Raccordé à la Terre (T) | TT | TN | C = confondu (neutre = PEN) S = Séparé (neutre ≠ PE) R = Regroupé N = terre du neutre et du poste ≠ terre installation |
| | Isolé ou impédant (I) | IT | | |

au premier défaut d'isolement. (le plus couramment utilisé en BT à travers le monde)

Mise au Neutre (TN) : TNA ou TNC les conducteurs neutre et de protection sont confondus (PEN) et reliés aux masses. En TNB ou TNS les conducteurs neutre et de protection (PE) sont distincts. Coupure au premier défaut d'isolement par fusible ou disjoncteur. (Principalement utilisé par les pays anglo-saxons)

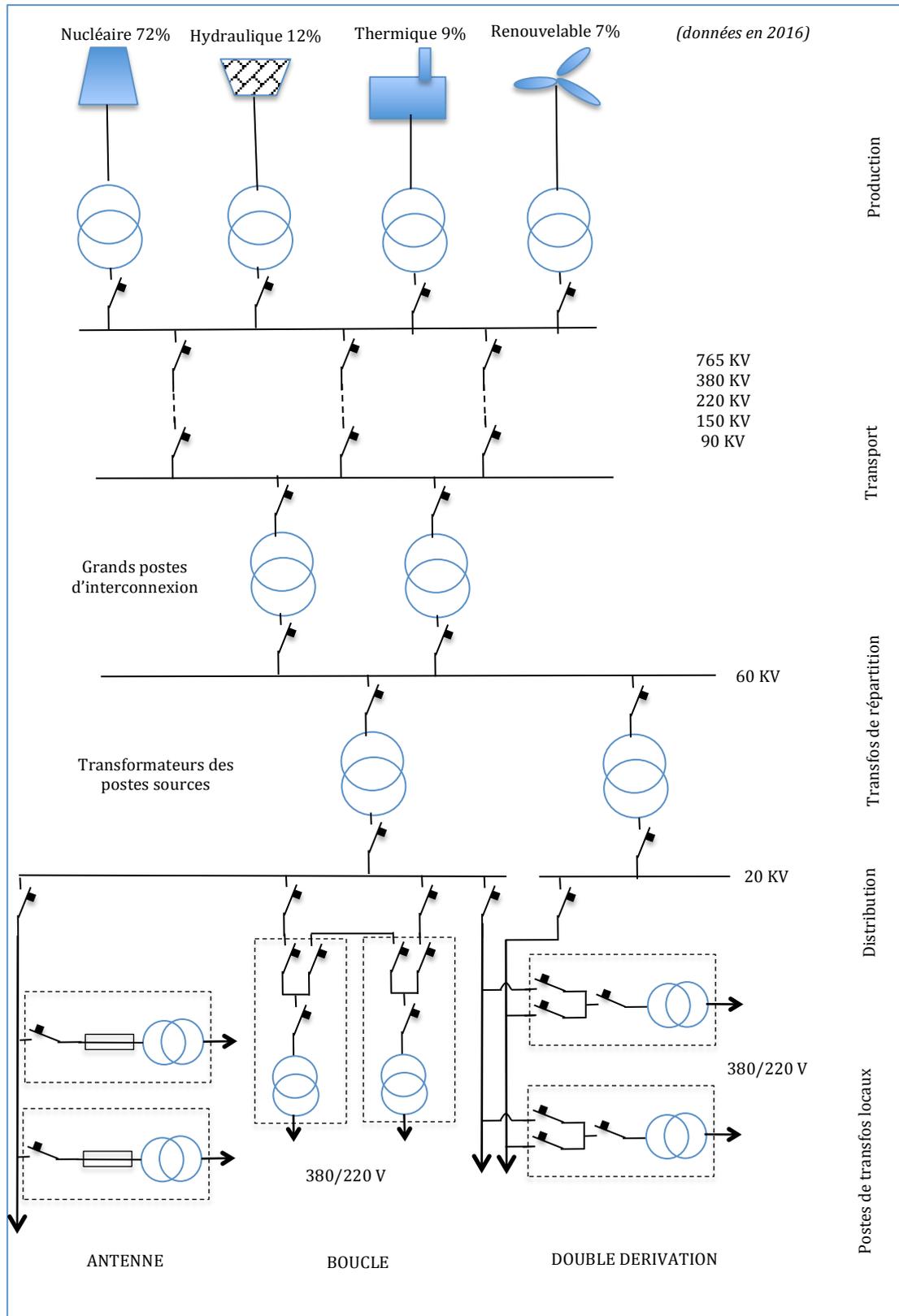
Neutre Isolé (IT) : pas de liaison entre le neutre et la terre ou par l'intermédiaire d'une impédance ; les masses sont interconnectées et reliées à la terre. Signalisation au 1^{er} défaut, déclenchement au 2^{ème} défaut d'isolement. Donc très bonne continuité de service. (exclusivement utilisé en distribution BT en Norvège et en France dans les hôpitaux, mines et secteurs de sécurité)

2.1. Les régimes du neutre

| Régie du neutre | Schéma | Distribution du neutre | | | | | Masse | Protection des personnes contre les défauts | | |
|--|---------------------------|------------------------|---------|---|--|---------|---|---|----------------|----------------|
| | | $N+3\phi$ | 2ϕ | $N+3\phi \text{ } \ominus \text{ } N=\ominus \text{ } \phi$ | $N+3\phi \text{ } \ominus \text{ } N<\text{ } \ominus \text{ } \phi$ | 3ϕ | | interconnectées | non connectées | non connectées |
| Continuité de service - signalant 1 ^{er} défaut-déclenchant 2 ^{ème} défaut | Isolé IT | | | | | | interconnectées | | | |
| | Impédant IT | | | | | | non connectées | | | |
| Coupe autorisée - déclenchement au 1 ^{er} défaut | Direct à la terre TT | | | | | | interconnectées | | | |
| | Mise au neutre 5 fils TNB | | | | | | non connectées | | | |
| | Mise au neutre 4 fils TNA | | | | | | non connectées | | | |
| | | | | | | | a: protection différentielle en amont → coupe omnipolaire b: pas de neutre artificiel sur les circuits en aval c: la protection des conducteurs doit se faire sur la phase d: puissance consommée ≤ 0,1 P _{ce} du circuit $\ominus \text{ } N \geq \ominus \text{ } \phi/3$, $\ominus \text{ } N \geq 1 \text{ ca}/820$ e: déclencheur du neutre approprié la \ominus du conducteur | | | |
| | | | | | | | f: P _{ce} consommées 0,1 P _{ce} circuit g: \ominus h: le disjoncteur différentiel est calibré à ≤ 0,15 I _{adm} i: | | | |

L'électricité

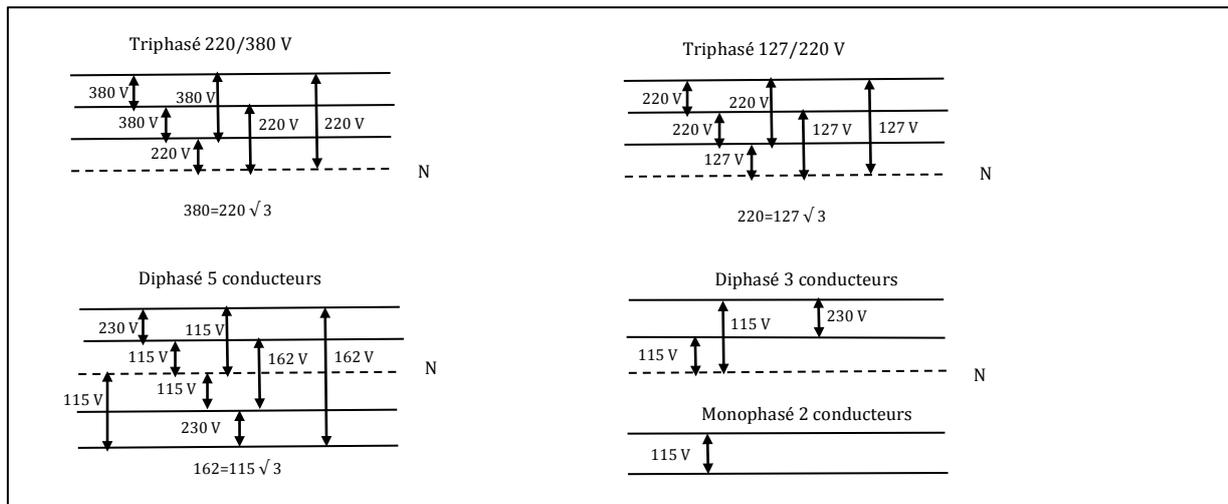
2.2. Les réseaux de distribution en France



L'électricité

2.3. Les tensions distribuées

Les principales sont les suivantes :



2.4. Les tarifs d'EDF

Basse Tension : de 3kVA à 36kVA Tarif Bleu

| Puissance souscrite en kVA | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 30 | 36 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| intensité admissible (A) en mono 220V bipolaire 15/45A | 15 | 30 | 45 | | | | | | |
| intensité admissible (A) en mono 220V bipolaire 60 A | | | | 60 | | | | | |
| intensité admissible (A) en tri 380 V tétrapolaire 10/30 A | 10 | | 15 | 20 | 25 | 30 | | | |
| intensité admissible (A) en tri 380 V tétrapolaire 30/60 A | | | | | | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Prix de l'abonnement EDF annuel en € TTC de base | 67.04 | 100.74 | 118.74 | 137.12 | 155.63 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC | 0.1546 | 0.1446 | 0.1483 | 0.1483 | 0.1483 | | | | |
| Prix de l'abonnement EDF annuel en € TTC HC&HP | 114.42 | | 140.65 | 164.74 | 187.05 | 207.59 | 238.50 | 276.03 | 310.39 |
| Prix du kWh EDF en € TTC heures pleines | | | | 0.1593 | | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC heures creuses | | | | 0.1252 | | | | | |
| Prix de l'abonnement EDF annuel en € TTC Tempo | | | 137.11 | 160.43 | 179.58 | 196.70 | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC en HC de 22h à 6h sur 300j bleus | | | | | 0.1116 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC en HP de 6h à 22h sur 300j bleus | | | | | 0.1330 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC HC de 22h à 6h sur 43j blancs | | | | | 0.1351 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC HP de 6h à 22h sur 43j blancs | | | | | 0.1635 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC HC de 0h à 6h sur 22j rouges | | | | | 0.1753 | | | | |
| Prix du kWh EDF en € TTC HP de 6h à 0h sur 22j rouges | | | | | 0.5498 | | | | |

Basse Tension : > 36 kVA à 250kVA Tarif jaune

Haute Tension : de 1kW à 10 MW Tarif vert A5 ou A8

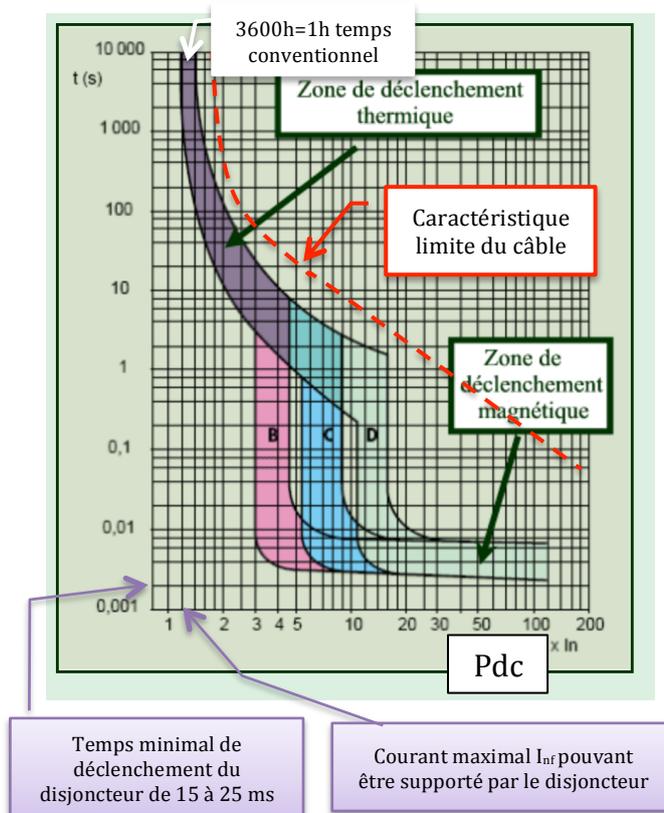
Haute Tension : de 10kW à 40 MW Tarif vert B

Haute Tension : au dessus de 40 MW Tarif vert C

L'électricité

2.5. Les protections par disjoncteurs

Le disjoncteur est un organe de protection d'un circuit qui s'ouvre lorsqu'un courant de service I_B (ou de non fonctionnement I_{nf}) dépasse une certaine valeur de réglage I_r (ce que fait aussi un fusible mais de manière irréversible par fusion). Il possède une première zone de fonctionnement pour les faibles surcharges avec un temps qui décroît au fur et à mesure de l'accroissement du courant (action du thermique) et une deuxième zone pour les courants forts avec un temps de réaction très court (20 à 25 ms) (déclencheur magnétique suivant l'intensité magnétique I_m). Le courant nominal répond à cette formule : $I_n = I_B = I_{nf} < I_R = I_F = 1,25 I_N < I_Z < I_{cc}$ le courant de court circuit. I_Z étant le courant admissible dans le câble et I_{cc} le courant de court circuit...



Plusieurs familles de disjoncteurs existent suivant une fourchette de valeurs du courant magnétique.

Courbe B : Réglage de I_m entre 3 et 5 I_n .

Protection des générateurs, des personnes et grandes longueurs de câbles (en schéma TN et IT).

Courbe C : Réglage de I_m entre 5 et 10 I_n .

Protection des câbles alimentant des récepteurs classiques.

Courbe D : Réglage de I_m entre 10 et 14 I_n

Protection des câbles alimentant des récepteurs à fort courant d'appel (transformateurs, moteurs).

Le Pouvoir de coupure est la plus grande intensité de courant de court circuit I_{cc} que le disjoncteur puisse couper. $PCC > I_{cc}$

Les disjoncteurs différentiels

Les dispositifs à courant différentiel résiduel (DDR) permettent d'assurer la protection contre les risques d'électrocution en cas de défaut d'isolement (contact entre un conducteur et une masse métallique) particulièrement dangereux pour les personnes (s'il dépasse une certaine valeur).

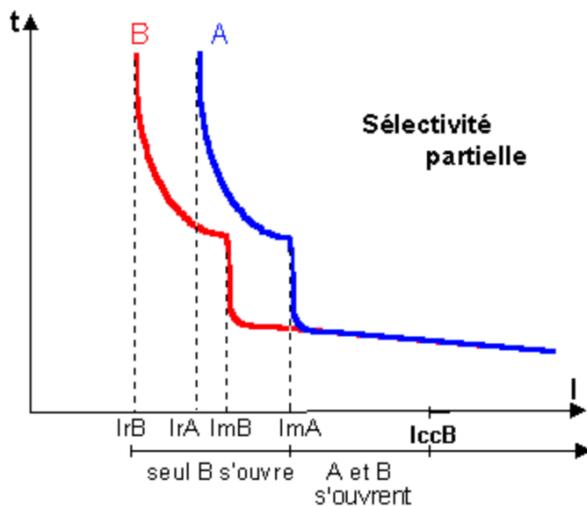
Si la somme vectorielle des courants des phases et du neutre n'est pas nulle, il apparaît dans la bobine du tore un courant de défaut I_d proportionnel au courant de fuite I_f qui donnera l'ordre au disjoncteur de déclenchement de l'appareil de coupure (qui peut être un disjoncteur ou un interrupteur). Le courant de défaut I_d doit se situer entre le seuil de réglage $I_{\Delta n}$ et $I_{\Delta n}/2$ on a donc $I_{\Delta n} < I_d < I_{\Delta n}/2$ avec $30mA < I_{\Delta n} < 3A$

L'électricité

La sélectivité des disjoncteurs

Dans le cas de plusieurs disjoncteurs placés en cascade, pour éviter qu'en cas de défaut tous les disjoncteurs ne se déclenchent, on choisit des caractéristiques propres à chacun afin d'assurer une filiation entre eux.

Pour un court circuit en aval du disjoncteur B, si l'intensité de court circuit $I_{ccB} < I_{mA}$ l'intensité du magnétique du disjoncteur A, la sélectivité est totale ; si $I_{ccB} > I_{mA}$ la sélectivité est partielle et les 2 disjoncteurs s'ouvrent. Il est cependant possible d'utiliser soit un appareil limiteur de courant sur l'appareil en aval, soit un relais logique qui donnera au disjoncteur concerné l'ordre de déclenchement en cas de défaut.



L'électricité

3. Les dangers de l'électricité

Effets du courant passant par le corps humain

Impédance du corps humain

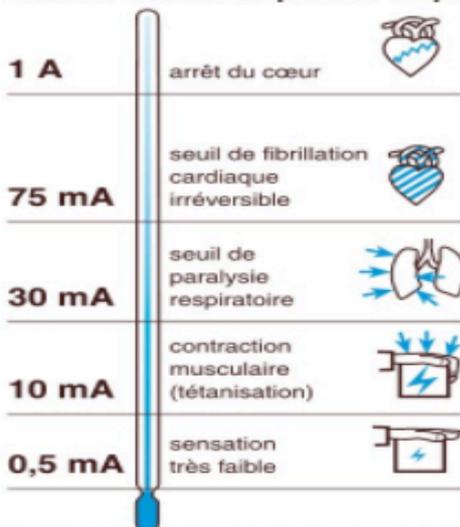
Les informations IEC figurant dans ce chapitre sont extraites du rapport émanant de la norme IEC 60479-1 et de la norme IEC 60479-2 qui traitent des effets du courant passant dans le corps humain. Les dangers encourus par les personnes traversées par un courant électrique dépendent essentiellement de son intensité et du temps de passage. Ce courant dépend de la tension de contact qui s'applique sur cette personne, ainsi que de l'impédance rencontrée par ce courant lors de son cheminement au travers du corps humain. Cette relation n'est pas linéaire, car cette impédance dépend du trajet au travers du corps, de la fréquence du courant et de la tension de contact appliquée, ainsi que de l'état d'humidité de la peau.

Effets du courant alternatif (entre 15 et 100 Hz) :

- seuil de perception : valeur minimale du courant qui provoque une sensation pour une personne à travers laquelle le courant passe. De l'ordre de 0,5 mA.
- seuil de non lâcher : valeur maximale du courant pour laquelle une personne tenant des électrodes peut les lâcher. Généralement considéré à 10 mA.
- seuil de fibrillation ventriculaire du cœur humain : ce seuil dépend de la durée de passage du courant. Il est considéré égal à 400 mA pour une durée d'exposition inférieure à 0,1 s.

Les effets physiologiques du courant électrique sont résumés ci-dessous.

Résumé des conséquences du passage du courant dans l'organisme



Effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 100 Hz

Plus la fréquence du courant augmente, plus les risques de fibrillation ventriculaire diminuent ; par contre, les risques de brûlure augmentent. Mais, plus la fréquence du courant augmente (entre 200 et 400 Hz), plus l'impédance du corps humain diminue. Il est généralement considéré que les conditions de protection contre les contacts indirects sont identiques à 400 Hz et à 50/60 Hz.

Effets du courant continu

Le courant continu apparaît comme moins dangereux que le courant alternatif ; en effet, il est moins difficile de lâcher des parties tenues à la main qu'en présence de courant alternatif. En courant continu, le seuil de fibrillation ventriculaire est beaucoup plus élevé.

Effets des courants de formes d'onde spéciales

Les commandes électroniques peuvent créer, en cas de défaut d'isolement, des courants dont la forme est composée de courant alternatif auquel se superpose une composante continue. Les effets de ces courants sur le corps humain sont intermédiaires entre ceux du courant alternatif et ceux du courant continu.

Effets des courants d'impulsion unique de courte durée

Ils sont issus des décharges de condensateurs et peuvent présenter certains dangers pour les personnes en cas de défaut d'isolement. Le facteur principal qui peut provoquer une fibrillation ventriculaire est la valeur de la quantité d'électricité It ou d'énergie I^2t pour des durées de choc inférieures à 10 ms.

Le seuil de douleur dépend de la charge de l'impulsion et de sa valeur de crête. D'une façon générale, il est de l'ordre de $50 \text{ à } 100 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$.

Risques de brûlures

Un autre risque important lié à l'électricité est la brûlure. Celles-ci sont très fréquentes lors des accidents domestiques et surtout industriels (plus de 80% de brûlures dans les accidents électriques observés à EDF).

Il existe deux types de brûlures :

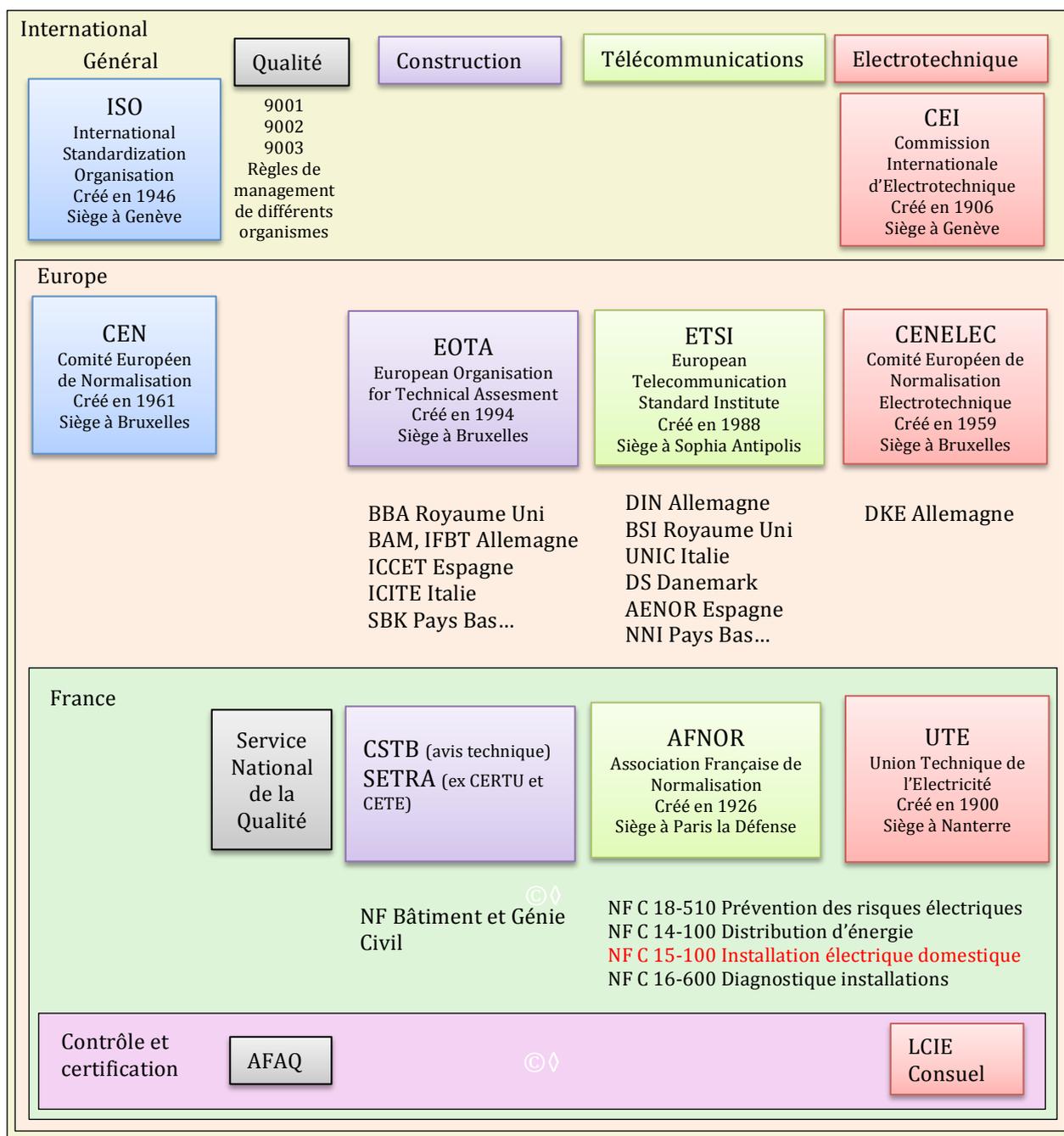
- la brûlure par arc, qui est une brûlure thermique due à l'intense rayonnement calorifique de l'arc électrique
- la brûlure électrothermique, seule vraie brûlure électrique, qui est due au passage du courant à travers l'organisme.

L'électricité

4. Les normes

4.1. Généralités sur les normes

Compte tenu des risques pouvant être très graves pour les humains, il a été défini des règles et des normes d'utilisation et d'exploitation de l'électricité. Celles-ci s'inscrivent dans une hiérarchie très complexe de législations internationale, européenne et française.



L'électricité

4.2. Pour les branchements et raccordements la norme NF C14 100

Le branchement selon la norme NF C 14-100

- Cette norme traite de la conception et de la réalisation des installations de branchement à basse tension comprises entre le point de raccordement au réseau et le point de livraison aux utilisateurs.
- Elle s'applique aux branchements individuels et aux branchements collectifs (branchements comportant plusieurs points de livraison). Elle permet de concevoir des installations de branchement jusqu'à 400 A, en assurant à tout moment la sécurité des personnes et la conservation des biens.
- Pour la définition des matériels qui constituent un branchement, il faut se reporter aux spécifications techniques du gestionnaire du réseau de distribution.

Branchements à puissance limitée

Branchements à puissance surveillée

D: Equipement assurant le sectionnement et la coupure visible (interrupteur)
 AGCP : Appareil général de commande et de protection (disjoncteur abonné)

4.3. Les règles d'habitation avec la norme NF C15-100

| Nature du circuit | Description | Section min. des conducteurs cuivre (mm²) | Courant assigné maximal du dispositif de protection | |
|--|--|---|---|--------------|
| | | | disjoncteur | fusible |
| éclairage | point d'éclairage ou prise commandée | 1,5 ° | 16 A | 10 A |
| prise de courant 16 A | circuit avec 5 socles max. | 1,5 ° | 16 A | non autorisé |
| | circuit avec 8 socles max. | 2,5 ° | 20 A | 16 A |
| | circuits spécialisés (lave-linge, sèche-linge, four...) | 2,5 ° | 20 A | 16 A |
| volets roulants | - | 1,5 ° | 16 A | 10 A |
| VMC | - | 1,5 ° | 2 A | non autorisé |
| | cas particuliers | 1,5 ° | jusqu'à 16 A | |
| pilotage | circuit d'asservissement tarifaire fil pilote, gestionnaire d'énergie | 1,5 ° | 2 A | non autorisé |
| chauffe-eau | chauffe-eau électrique non instantané | 2,5 ° | 20 A | 16 A |
| cuisson | plaque de cuisson cuisinière | monophasé 6 ° | 32 A | 32 A |
| | chauffage 230 V | Emetteurs muraux (convecteurs, panneaux radiants) | triphasé 2,5 ° | 20 A |
| 2250 W 1,5 ° | | | 10 A | 10 A |
| 3500 W 2,5 ° | | | - | 16 A |
| Plancher à accumulation ou direct équipé de câbles autorégulants | | 4500 W 2,5 ° | 20 A | - |
| | | 4 ° | - | 20 A |
| | | 5750 W 4 ° | 25 A | - |
| | | 7250 W 6 ° | 32 A | 25 A |
| 1700 W 1,5 ° | 16 A | non autorisé | | |
| 3400 W 2,5 ° | 25 A | - | | |
| 4200 W 4 ° | 32 A | - | | |
| 5400 W 6 ° | 40 A | - | | |
| 7500 W 10 ° | 50 A | - | | |
| autres circuits | | 1,5 ° | 16 A | 10 A |
| | | 2,5 ° | 20 A | 16 A |
| | | 4 ° | 25 A | 20 A |
| | | 6 ° | 32 A | 32 A |
| | | 1,5 ° | 16 A (9 m) | 10 A (15 m) |
| tableau divisionnaire | (longueur maxi des conducteurs d'alimentation des tableaux de répartition divisionnaire pour une chute de tension de 2%) | 2,5 ° | 16 A (16 m) | 10 A (25 m) |
| | | 4 ° | 20 A (12 m) | 16 A (16 m) |
| | | | 16 A (25 m) | 10 A (40 m) |
| | | | 20 A (20 m) | 16 A (25 m) |
| | | 6 ° | 25 A (16 m) | 20 A (20 m) |
| | | | 16 A (62 m) | 10 A (100 m) |
| | | | 20 A (50 m) | 16 A (62 m) |
| | | | 25 A (40 m) | 20 A (50 m) |
| | | | 32 A (31 m) | 32 A (31 m) |

L'électricité

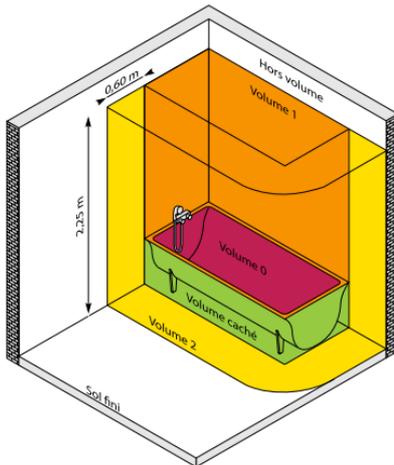
4.4. Equipement minimum préconisé

| | Points d'éclairage | Prises de courant | Prises de communication | Prises télévision | 4 circuits spécialisés pour gros électroménagers | Circuits spécialisés pour chacune des applications suivantes lorsqu'elles sont prévues |
|---|--|--|---|--|---|--|
| <p>Les dispositions relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées sont reprises par la couleur rouge</p> <p>Séjour</p>  <p>Lorsque la cuisine est ouverte sur le séjour, la surface du séjour est égale à la surface totale moins 8 m²</p> | <p>8 points maxi par circuit</p> <p>1 point d'éclairage par tranchée de 300 Va pour les spots et bandeaux lumineux</p> <p>2 circuits mini pour les logements > 35 m²</p> <p>Dispositif DCL ▶ page 19</p> | <p>Décompte du nombre de socle ▶ page 16</p> <p>Nombre de socles maxi par circuit et protection associée ▶ page 12</p> <p>hauteur ≤ 1,30 m</p> | <p>▶ page 17</p> <p>Téléphonie, réseau informatique (avec partage de l'accès internet éventuel), télévision</p> | <p>▶ page 17</p> <p>Si les prises de communication n'assurent pas la diffusion de la télévision</p> | <p>▶ page 14</p> <p>3 pour le lave-linge, le sèche-linge, le lave-vaisselle, le congélateur, ou le four</p> <p>Pour le lave-linge et le sèche linge : o à proximité des arrivées et évacuations d'eau dans le volume 3 uniquement s'ils sont dans la salle de bain o Lorsque l'emplacement du congélateur est défini, prévoir un circuit spécialisé avec 1 dispositif différentiel 30 mA spécifique, de préférence à immunité renforcée (exemple : D'clic Vigi si) o A une hauteur ≤ 1,30 m</p> | <p>▶ page 14</p> <ul style="list-style-type: none"> Chaudière et ses auxiliaires, chauffage salle de bain, pompe à chaleur ou climatisation, VMC si non collective, circuits extérieurs (alimentant une ou plusieurs utilisations non attenantes au bâtiment. Exemple : éclairage, portail automatique), alarmes, contrôle, domotique, placine, volets roulants électriques, tableau divisionnaire <p>▶ page 14</p> |
| <p>Cuisine</p>  | <p>Au plafond obligatoirement</p> <p>Commande d'éclairage entre 0,90 et 1,30 m</p> | <p>6 dont 4 au dessus du plan de travail</p> <p>A proximité immédiate de la commande d'éclairage (peut-être comptabilisé dans les 6)</p> | | <p>Autre prise télévision en plus de celle du séjour :</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 si > 100 m² 1 si ≤ 100 m² 0 admis si ≤ 35 m² A une hauteur ≤ 1,30 m | <p>1 pour la cuisinière ou la plaque de cuisson (32 A mono ou 20 A tri)</p> <p>Socle de prise à une hauteur ≤ 1,30 m</p> | <p>1 ou ou ou alimentation directe</p> <ul style="list-style-type: none"> Socle de prise à une hauteur ≤ 1,30 m Conditions d'installation du chauffe-eau dans la salle de bain ▶ page 22 |
| <p>Chambre</p>  | <p>Au plafond obligatoirement</p> <p>Commande d'éclairage entre 0,90 et 1,30 m</p> | <p>3</p> <p>Installation en périphérie</p> <p>+ 1 à proximité immédiate de la commande d'éclairage</p> | <p>1</p> <p>A proximité d'au moins une prise de courant</p> <p>A une hauteur ≤ 1,30 m</p> | | | |
| <p>Salle de bain</p>  | <p>Au plafond ou en applique</p> <p>Commande d'éclairage entre 0,90 et 1,30 m</p> | <p>1</p> <p>Autorisée dans volume 3 et hors volume interdit au sol</p> <p>+ 1 dans la pièce entre 0,90 et 1,30 m, à proximité immédiate de la commande d'éclairage si cette dernière est à l'intérieur</p> | | | | |
| <p>Circulation, WC et autres locaux</p>  | <p>Au plafond ou en applique</p> <p>Commande d'éclairage entre 0,90 et 1,30 m</p> | <p>1</p> <p>Obligatoire dans circulations et locaux > 4 m²</p> <p>Non obligatoire pour WC et annexes non attenantes (garage, abris de jardin, etc.)</p> | | | | |
| <p>Extérieur</p>  | <p>1 par entrée principale ou de service</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 recommandé à proximité du garage 20 lux minimum pour les cheminements Commande repérée par voyant | | | | | |

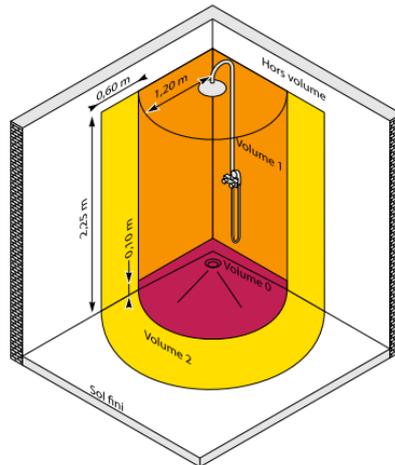
Les DAAF communicants et la borne de recharge pour véhicules électriques nécessitent la mise en œuvre de circuits spécialisés.

Plus d'informations ▶ page 38

4.5. La réglementation pour pièces humides



Exemple de local contenant une baignoire ou une douche avec receveur (figure 701B)



Exemple de local contenant une douche sans receveur (figure 701A)

L'électricité

Matériels électriques admis selon les volumes (tableau 701A)

| | volume 0 | volume 1 | volume 2 | caché |
|---|--|--|--|------------------|
| degré de protection | IPX7 | IPX4 ⁽²⁾ | IPX4 ⁽¹⁾ | IPX4 |
| canalisation | • alimenté par TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC | • II (a) | • II (a) | • II (a) |
| appareillage | • Interdit | • Dispositifs de commande des circuits TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC | • Alimenté par TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC • PC rasoir (b) • Socle DCL protégé par DDR 30 mA | • interdit |
| matériels d'utilisation hors chauffe-eau ⁽³⁾ | • alimenté par TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC | • alimenté par TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC | • classe II et protégé par DDR 30 mA • ou alimenté par TBTS limitée à 12 VCA ou 30 VCC | • Voir 701.3.7.1 |

II Admis si classe II ou équivalent classe II

(a) Limitées à celles nécessaires à l'alimentation des appareils situés dans ce volume.

(b) Socle de prise de courant alimenté par un transformateur de séparation de puissance assignée comprise entre 20 VA et 50 VA conforme à la norme NF EN 61558-2-5 : "Sécurité des transformateurs, bobines d'inductance, blocs d'alimentation et des combinaisons de ces éléments - Partie 2-5 : Règles particulières et essais pour les transformateurs pour rasoirs, blocs d'alimentation incorporant un transformateur pour rasoirs et blocs d'alimentation pour rasoirs".

(1) IPX5 si ce volume est soumis à des jets d'eau pour des raisons de nettoyage, par exemple dans les piscines, et bains publics et les douches à jets horizontaux.

(2) IPX5 si ce volume est soumis à des jets d'eau pour des raisons de nettoyage, par exemple dans les bains publics.

(3) Pour le chauffe-eau, voir 701.3.6.

4.6. La réglementation pour les piscines

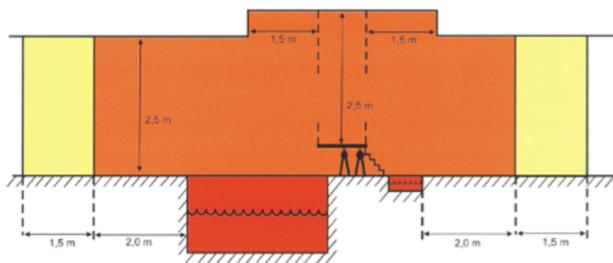


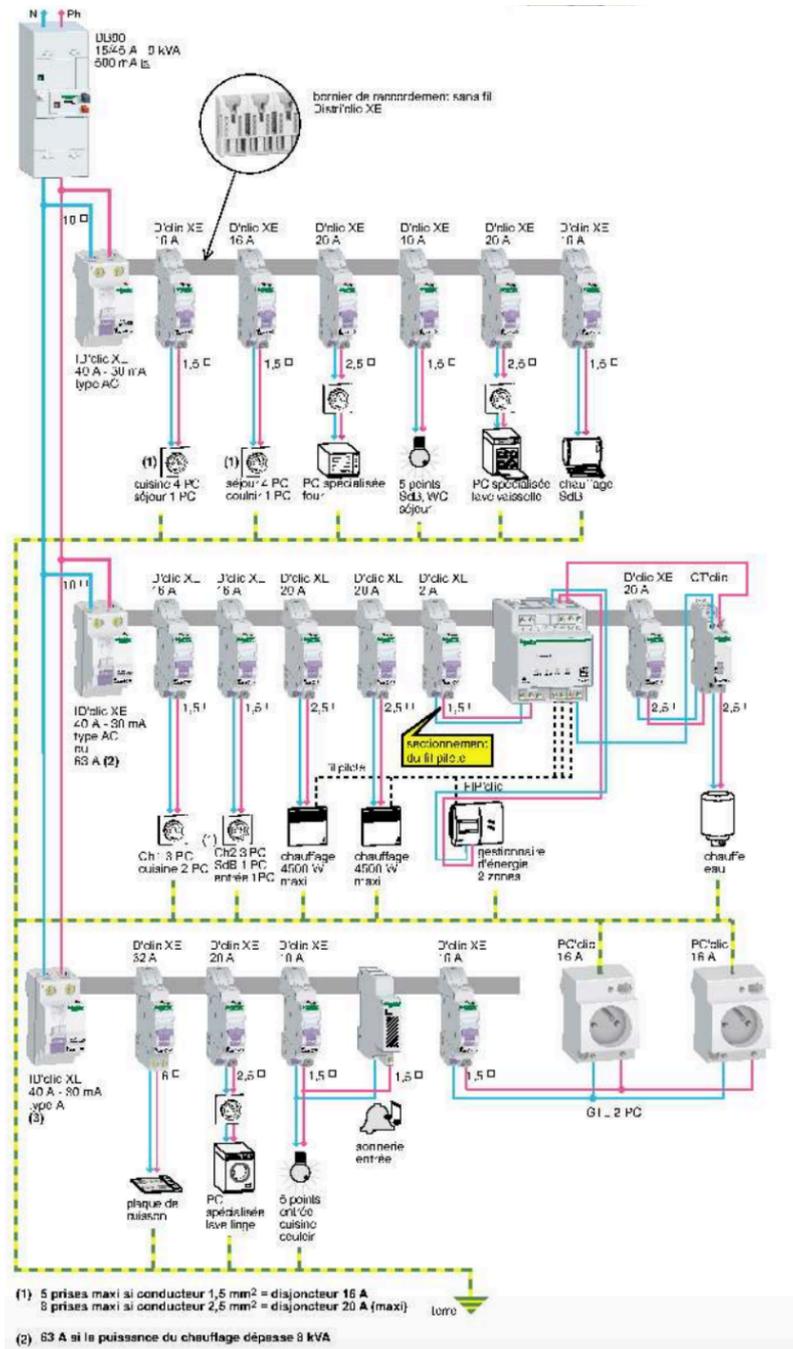
Tableau 702B – Prescriptions de mise en œuvre

| VOLUMES | 0 | 1 | 2 |
|-------------------------|------|------|--|
| DEGRES DE PROTECTION | IPX8 | IPX5 | IPX2 * |
| CANALISATIONS | III | II | II |
| APPAREILLAGE | X | X | - Séparation - ou TBTS ou DR 30 mA |
| APPAREILS D'UTILISATION | X | X | - II ** - ou Séparation - ou TBTS - ou DR 30 mA |

X Interdit (sauf TBTS limitée à 12 volts)
 II En classe II ou équivalente
 III en TBTS
 * IPX5 pour les piscines à l'extérieur des bâtiments ou si ce volume peut être soumis à des jets d'eau pour nettoyage
 ** Pour les luminaires.

L'électricité

4.7. Exemple de schéma type



L'électricité

4.8. Pour l'étanchéité des enveloppes

IP

- La norme IEC 60529 (février 2001) permet d'indiquer par le code IP, les degrés de protection procurés par une enveloppe de matériel électrique contre l'accès aux parties dangereuses et contre la pénétration de corps solides étrangers ou celle d'eau.
- Ces normes ne sont pas à considérer pour la protection contre les risques d'explosion ou des conditions telles que l'humidité, les vapeurs corrosives, les champignons ou la vermine.
- Le code IP est constitué de 2 chiffres caractéristiques et peut être étendu au moyen d'une lettre additionnelle lorsque la protection réelle des personnes contre l'accès aux parties dangereuses est meilleure que celle indiquée par le premier chiffre :
- La lettre additionnelle (en option) est utilisée seulement si la protection effective des personnes est supérieure à celle indiquée par le 1^{er} chiffre de l'IP.

| 1 ^{er} chiffre protection contre les corps solides étrangers | 2 ^{ème} chiffre protection contre les corps liquides avec effets nuisibles | lettre additionnelle protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses |
|--|--|--|
| 1  Ø 50mm protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm | 1  | A protégé contre l'accès du dos de la main |
| 2  Ø 12,5mm protégé contre les corps solides supérieurs à 12,5 mm | 2  15° protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale | B protégé contre l'accès du doigt |
| 3  Ø 2,5mm protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm | 3  60° protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale | C protégé contre l'accès d'un outil ø 2,5 mm |
| 4  Ø 1mm protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm | 4  | D protégé contre l'accès d'un outil ø 1 mm |
| 5  | 5  | |
| 6  | 6  15° protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer | |
| | 7  | |
| | 8  | |

L'électricité

4.9. Pour les chocs mécaniques

IK

- La norme NF C 20-010 définit le degré de protection contre les chocs mécaniques, symbolisé par un chiffre caractéristique faisant suite aux deux chiffres des degrés IP. Elle fait l'objet d'un projet de norme européenne EN 50-102 pour définir un code IK.
- Les tableaux pages suivantes présentent les degrés de protection des enveloppes et prennent en compte les équivalences entre les anciens troisièmes chiffres du code IP de la norme NF C 20-010 (1986) et le code IK.

| protection contre les chocs mécaniques | énergie de choc (joules) |
|--|--------------------------|
| 00 | 0,00 J |
| 01 | 0,15 J |
| 02 | 0,2 J |
| 03 | 0,35 J |
| 04 | 0,5 J |
| 05 | 0,7 J |
| 06 | 1 J |
| 07 | 2 J |
| 08 | 5 J |
| 09 | 10 J |
| 10 | 20 J |

L'électricité

5. Protection contre la foudre

Conditions de mise en œuvre des parafoudres (tableau 10-1H)

| Caractéristiques et alimentation du bâtiment | Densité de foudroiement (Ng) Niveau céramique (Nk) | |
|---|---|--------------------------------|
| | Ng ≤ 2,5 Nk ≤ 25 (AQ1) | Ng > 2,5 Nk > 25 (AQ2) |
| Bâtiment équipé d'un paratonnerre | obligatoire ⁽²⁾⁽³⁾ | obligatoire ⁽²⁾⁽³⁾ |
| Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne ⁽³⁾ | non obligatoire ⁽⁴⁾ | obligatoire ⁽⁵⁾ |
| Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine | non obligatoire ⁽⁴⁾ | non obligatoire ⁽⁴⁾ |
| L'indisponibilité de l'installation et/ou des matériels concerne la sécurité des personnes ⁽¹⁾ | selon analyse du risque | obligatoire |

(1) c'est le cas par exemple :

- de certaines installations où une médicalisation à domicile est présente ;
- d'installations comportant des Systèmes de Sécurité Incendie, d'alarmes techniques, d'alarmes sociales, etc.

(2) Dans le cas des bâtiments intégrant le poste de transformation, si la prise de terre du neutre du transformateur est confondue avec la prise de terre des masses interconnectée à la prise de terre du paratonnerre, la mise en œuvre de parafoudres n'est pas obligatoire.

Dans le cas contraire, lorsque le bâtiment comporte plusieurs installations privatives, le parafoudre de type 1 ne pouvant être mis en œuvre à l'origine de l'installation est remplacé par des parafoudres de type 2 ($I_n \geq 5$ kA) placés à l'origine de chacune des installations privatives.

(3) Les lignes aériennes constituées de conducteurs isolés avec écran métallique relié à la terre sont à considérer comme équivalentes à des câbles souterrains.

(4) L'utilisation de parafoudre peut également être nécessaire pour la protection de matériels électriques ou électroniques dont le coût et l'indisponibilité peuvent être critique dans l'installation comme indiqué par l'analyse du risque.

(5) Toutefois, l'absence d'un parafoudre est admise si elle est justifiée par l'analyse du risque définie dans le guide UTE C 15-443 (6.2.2).

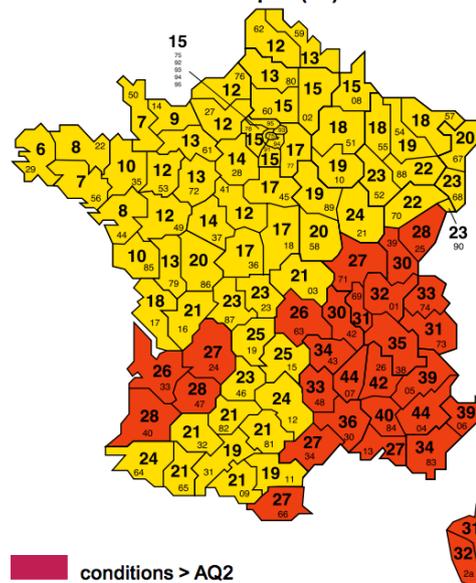
Circuit de communication (10.1.7.4)

- **Recommandation d'installation d'un parafoudre sur le circuit de communication lorsqu'un parafoudre est mis en œuvre sur le circuit de puissance.**

Mise en œuvre des parafoudres (10.1.4.7.4)

- Les densités de foudroiement supérieures aux conditions AQ2 sont données ci-dessous :

Carte des niveaux céramiques (Nk)



conditions > AQ2

- Mayotte : Nk = 39,8
- Guyane : Nk = 33,75
- Tahiti : Nk = 31,25
- Guadeloupe : Nk = 31
- Martinique : Nk = 26,75
- Réunion : Nk = 10
- Nouvelle Calédonie : Nk = 7,9
- Saint Pierre et Miquelon : Nk = 5