

Fiche 7 (Analyse): Notions d'électricité

1. Circuits à courants continus (CC)

Les différentes grandeurs électriques intervenant dans les circuits à courants continus sont :

- **Tension électrique (volt)**
 - définition: différence de potentiel entre deux points
 - symbole: U
 - unité: volt (V), 1 volt = différence de potentiel pour faire circuler une charge électrique de 1 coulomb (C) et obtenir une énergie de 1 joule (J)
 - propriétés: la différence de potentiels entre les deux points entraîne la circulation d'électrons (courant électrique) entre ces deux points à travers un milieu conducteur. Cette circulation s'arrête lorsque les deux points sont au même potentiel.
- **Courant électrique (ampère)**
 - définition: débit de charge électrique càd la quantité de charge électrique (Q en coulombs) passant par unité de temps (T en secondes) dans la section d'un conducteur
 - symbole: I, $I = Q / T$
 - unité: ampère (A), 1 ampère = 1Cb/s càd le débit correspondant au passage d'une charge de 1 coulomb (C) par seconde
 - propriétés:
 - ✧ le courant électrique est constitué d'un flux d'électrons se rendant du pôle négatif (-) au pôle positif (+) à l'extérieur du générateur électrique.
 - ✧ la vitesse de propagation du courant électrique est de 300.000 km/s et ne doit pas être confondue avec la vitesse de déplacement des électrons nettement plus faible (quelques cm/s)
- **Puissance électrique (watt)**
 - définition: un courant électrique I entre deux points entre lesquels existe une différence de potentiel U fournit une puissance **$P = U I$**
 - symbole: P
 - unité: watt (W), 1 watt est la puissance résultant du passage d'un courant de 1 ampère sous une différence de potentiel de 1 volt.
 $1W = 1V \ 1A = 1J/C \ 1C/s$
- **Résistance électrique (ohm)**
 - définition: résistance d'un produit (un fil métallique, un objet, le corps humain...) au passage du courant
 - symbole: R
 - unité: ohm (Ω), 1 ohm est la résistance d'un conducteur qui sous une différence de potentiel de 1 volt laisse passer un courant de 1 A
 - propriétés:
 - ✧ la loi d'Ohm est : **$U = R I$**
 - ✧ le passage du courant dans un conducteur entraîne un échauffement de celui-ci, appelé effet Joule: l'énergie électrique dissipée dans le conducteur est transformée en énergie calorifique. Cette perte par échauffement est donné par la loi de Joule :
 $P = R I^2$

Fiches d'aide, Analyse

- ✧ la résistance d'un conducteur cylindrique augmente avec sa longueur L (m) et diminue avec sa section S (m²) selon (loi de Pouillet) : $R = \rho L / S$
où ρ est la résistivité du matériau (exprimée en Ωm).
- ✧ Cette résistivité d'un conducteur augmente avec sa température selon

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$
 où α est le coefficient de sensibilité thermique
 et ρ_0 la résistivité de référence à la température T_0 .

Valeurs de résistivité ρ de matériaux conducteurs et isolants

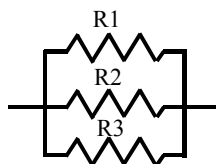
| Métaux et alliages | ρ $\mu\Omega \text{ cm à } 0^\circ\text{C}$ | α entre 0 et 100°C |
|----------------------|---|--|
| Conducteurs | | |
| • Argent | 1,47 | 0,004 |
| • Cuivre | 1,6 à 1,7 | 0,004 |
| • Aluminium | 2,7 à 2,8 | 0,00435 |
| • Fer | 10 à 12 | 0,005 |
| • Mercure | 94 | 0,00088 |
| • Ferro-Nickel 75-25 | 80 | 0,0009 |
| • Constantan | 50 | 0 |
| • Laiton 70-30 | 7 | 0,0010 |
| • Carbone (graphite) | 1000 | -0,0004 |
| Isolants | | |
| • Verre | $90 \cdot 10^{12}$ | |
| • Porcelaine | 10^{19} | |
| • Caoutchouc | 10^{15} | |
| • Mica | 10^{14} à 10^{17} | |
| • Eau pure | 10^6 à 10^8 | |
| • Marbre | 10^{10} | |

- ✧ l'échauffement du conducteur par effet Joule est fonction de la résistance, elle-même fonction de sa température. Ce phénomène peut être la cause d'un emballement thermique.
- ✧ si plusieurs résistances R_1, R_2, \dots sont raccordées en série, la résistance totale R est égale à la somme de toutes les résistances: $R = R_1 + R_2 + \dots$. La résistance totale augmente.



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

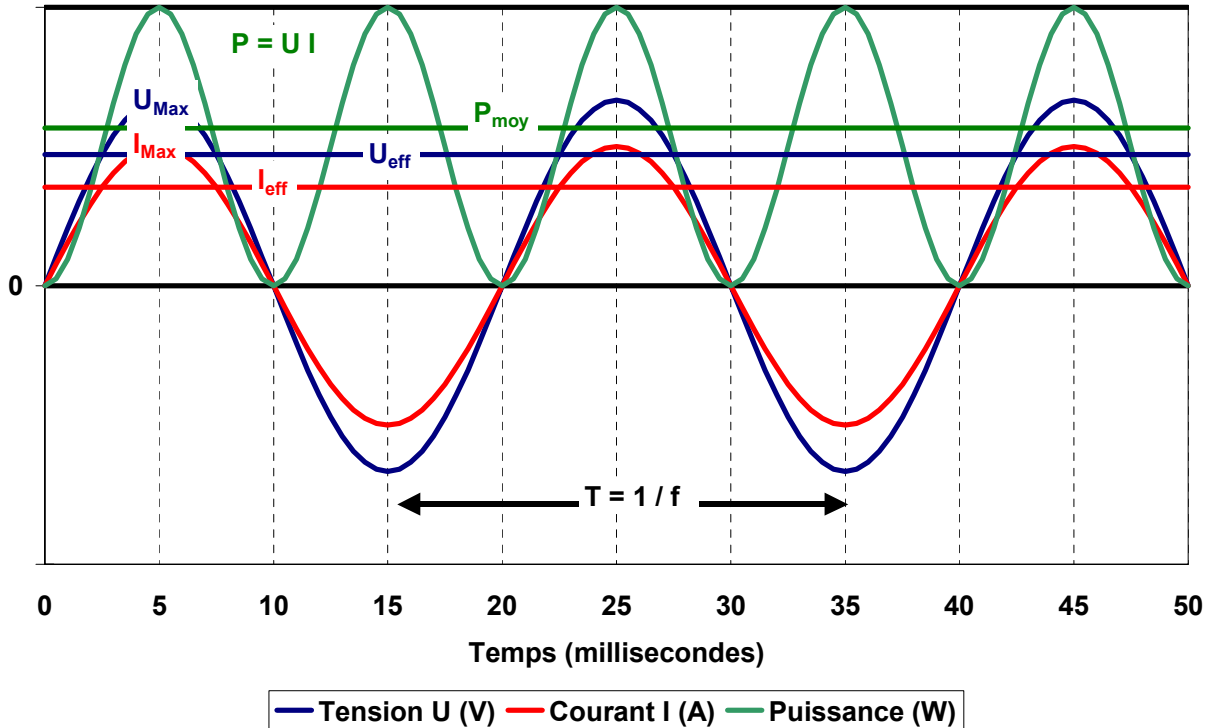
- ✧ si plusieurs résistances R_1, R_2, \dots sont raccordées en parallèle, l'inverse de la résistance totale R est égale à la somme des inverses de toutes les résistances : $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$ (somme des conductances). La résistance totale diminue.



$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

2. Circuits à courants alternatifs (CA)

Les différentes grandeurs électriques intervenant dans les circuits à courants alternatifs sont repris sur le schéma ci-dessous et sont semblables à celles des circuits à courants continus (définition, symboles, unités...) :



- **Tension alternative (volt)**

- $U = U_M \sin(\omega t)$ donne la tension U en fonction du temps
 - ✦ t est le temps en seconde
 - ✦ ω est la pulsation exprimée en radians par seconde (rad/s): $\omega = 2\pi f$
 - où f est la fréquence du réseau, 50 Hz en Europe et 60 Hz en Amérique
- U_M correspond à la valeur maximale de la tension U au cours du temps
- la **tension efficace** est la tension continue qui produirait le même effet Joule que la tension alternative : $U_{\text{eff}} = U_M / \sqrt{2}$
- La tension du réseau de 220 volts est la tension efficace. La tension maximale est égale à 310 volts

- **Courant alternatif (ampère)**

- $I = I_M \sin(\omega t)$ donne le courant I en fonction du temps. La loi de Joule s'applique tout comme pour les courants continus : $I = U / R$
- I_M correspond à la valeur maximale du courant I au cours du temps
- le courant efficace est le courant continu qui produirait le même effet Joule que le courant alternatif : $I_{\text{eff}} = I_M / \sqrt{2}$

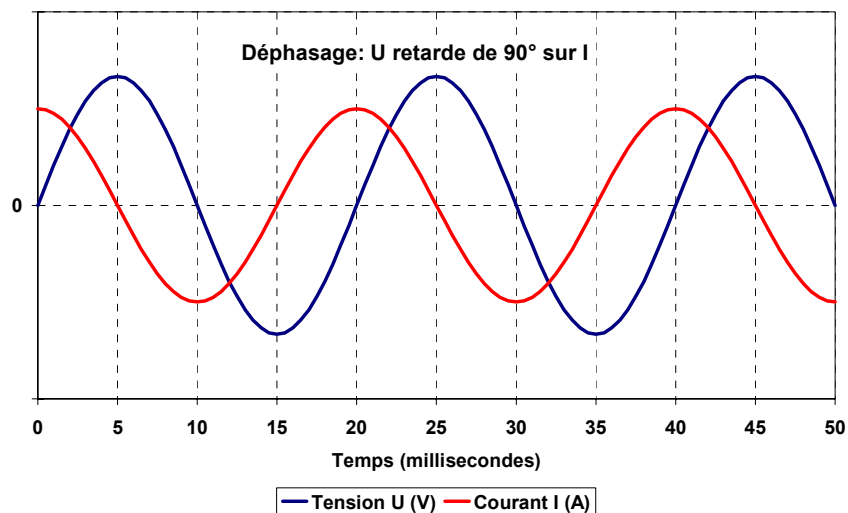
- **Puissance (Watt)**

- $P = U I = U_M I_M \sin^2(\omega t) = U_M I_M [1 - \cos(2\omega t)] / 2$
- la puissance moyenne sur une période T est égale à : $P_m = U_M I_M / 2$
- si la tension et le courant sont en phase (voir schéma ci-dessus), cette puissance est aussi égale à $P_m = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$

Fiches d'aide, Analyse

- si la tension U est déphasée par rapport au courant I d'un angle φ (angle de déphasage), la puissance $P = U I$ est égale à $U_M I_M \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi)$ et finalement **$P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos(\varphi)$**
 - Le **$\cos(\varphi)$** est le facteur de puissance d'une installation. Il doit être aussi proche de 1 que possible. Pour l'améliorer, des condensateurs sont placés en parallèle pour compenser l'effet inductif des installations. En choisissant correctement la capacité de ces condensateurs, un courant pratiquement en phase ($\varphi = 0$) avec la tension est obtenu.
 - **Condensateur:**
 - un condensateur est formé de deux corps conducteurs (armatures) isolés l'un de l'autre. Sous l'influence d'une différence de potentiel U , les 2 armatures vont se charger de charges électriques (Q) égales et de signes contraires
 $Q = C \cdot U$
 - la constante **C** est appelée "capacité": elle est fonction
 - ✧ de la surface des armatures
 - ✧ de l'écartement entre les deux armatures
 - ✧ de la constante diélectrique du matériau entre les armatures
 - l'unité de capacité est le **farad (F)** défini comme étant la capacité d'un condensateur accumulant une charge électrique de 1 coulomb sous une tension de 1 volt. Les capacités usuelles sont plus petites et s'expriment en microfarad (10^{-6} F), en nanofarad (10^{-9} F) ou en picofarad (10^{-12} F)
 - un condensateur bloque un courant continu
 - soumis à une tension alternative U , il provoque un courant I déphasé de 90° vers l'avant sur la tension (voir schéma ci-dessous):
 $U = X I$
- Où **X** est la réactance capacitive et est égal à **$-1/ C\omega$**

Condensateur: déphasage entre tension et courant



Fiches d'aide, Analyse

- **Bobine, inductance:**

- une bobine est composée d'un bobinage d'un fil conducteur autour d'un corps. Le passage d'un courant dans la bobine entraîne un champ magnétique B (unité le Tesla) dont le flux d'induction magnétique ϕ (unité le Wéber, $1\text{Wb} = 1\text{ Tesla} \times 1\text{m}^2$) est donné par

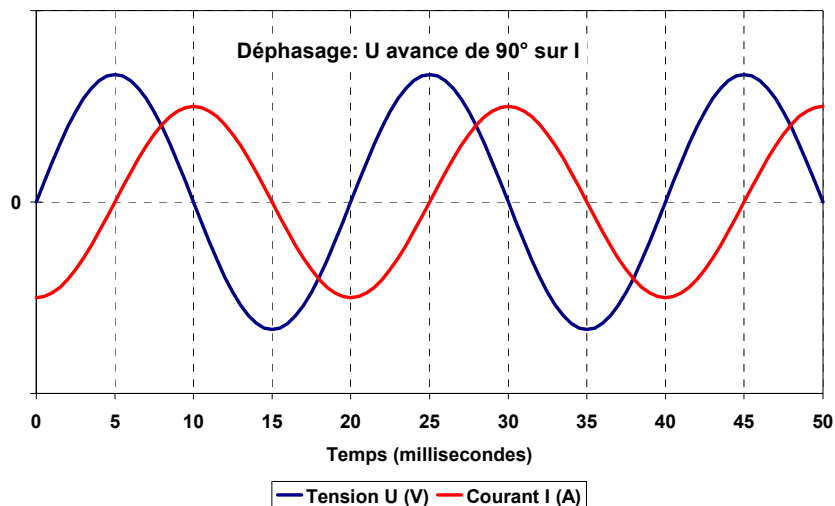
$$\phi = L \cdot I$$

- la constante **L** est appelée "inductance" et est fonction des caractéristiques de la bobine: nombre de spires, nature du corps,...
- l'unité d'inductance est le **Henry (H)** défini comme étant l'inductance d'une bobine créant un flux magnétique de 1 Wb lorsqu'elle est parcourue par un courant de 1A
- $U = d\phi/dt = d(LI)/dt = L \, dI/dt$ et donc en régime alternatif (sinusoïdale)
 $U = L\omega I_M \cos(\omega t)$
- Soumis à un courant alternatif I, elle provoque une tension électrique U déphasée en avance de 90° sur le courant (voir schéma)

$$U = X I$$

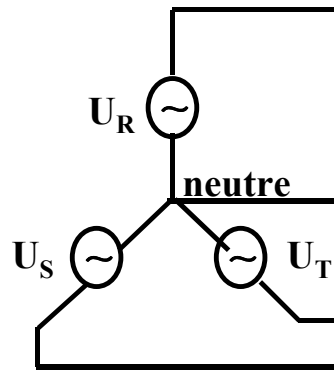
Où X est la réactance inductive et est égale à $L\omega$

Bobine: déphasage entre tension et courant

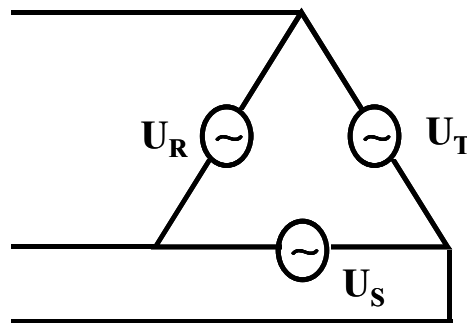


3. Circuits triphasés

- Un générateur triphasé est constitué de 3 sources monophasées sinusoïdales de même fréquence, de même amplitude et déphasées l'une par rapport à l'autre de 120° (voir schéma). Les trois tensions de phase sont définies entre un point neutre et chacun des trois conducteurs (montage étoile):
 - $U_R = U_M \sin(\omega t)$
 - $U_S = U_M \sin(\omega t - 2\pi/3)$
 - $U_T = U_M \sin(\omega t - 4\pi/3)$
 - la somme de ces trois tensions est toujours égale à 0
- Les trois tensions de ligne c-à-d les tensions entre deux conducteurs sont égales entre elles et valent: $U_{\text{ligne}} = \sqrt{3} U_{\text{phase}}$. La tension de phase efficace est généralement égale à 220V et la tension de ligne efficace à 380V

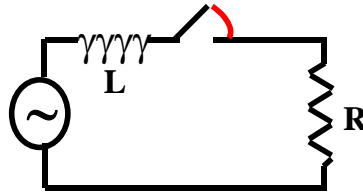


- La puissance en triphasé est égale à 3 fois la puissance de chaque source monophasée mais doit tenir compte du déphasage et donc du facteur de puissance ($\cos \varphi$):
 - $P = 3 U_{\text{phase}} I \cos \varphi$
 - $P = 3 U_{\text{ligne}} / \sqrt{3} I \cos \varphi$
 - $P = \sqrt{3} U_{\text{ligne}} I \cos \varphi$
 - le facteur de puissance ($\cos \varphi$) est généralement proche de 1
- Un autre montage des 3 sources monophasées est le montage en triangle connectant les trois sources entre elles sans la présence d'un point neutre:



- les tensions de lignes sont égales aux tensions de phase
- les courants de ligne sont par contre différents des courants de phase
 - ✧ $I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}} \sqrt{3}$
- la puissance reste donc égale à $P = \sqrt{3} U_{\text{ligne}} I_{\text{ligne}} \cos \varphi$
- A partir d'une source triphasée, il est possible de relier la charge (impédance) de deux façons:
 - en montage étoile:
 - ✧ les éléments de charge sont soumis à la tension de phase
 - ✧ si les trois éléments de charge (impédance) sont identiques, le courant de neutre est nul et il n'est pas nécessaire de connecter le neutre des sources et celui des charges: la charge est dite équilibrée
 - en montage triangle:
 - ✧ les éléments de charge sont soumis à la tension de ligne
 - ✧ le courant dans les éléments est $\sqrt{3}$ plus faible que celui dans les lignes

Fiche 8 (Analyse): Matériel de coupures et de protection



1. Appareils de coupure

- **Principes**

- tout circuit possède une certaine inductance (L). Aussi, à l'ouverture, lorsque le courant est brusquement interrompu, une surtension et un arc de rupture apparaissent aux bornes du circuit, ce qui peut entraîner:
 - ✦ la mise à feu de matières combustibles avoisinantes et un incendie
 - ✦ la destruction des isolants
 - ✦ la détérioration des contacts
 - ✦ une électrocution de l'opérateur
- on peut empêcher cette surtension:
 - ✦ par un condensateur branché en parallèle aux bornes de l'interrupteur : l'énergie passe sous forme électrostatique
 - ✦ par une résistance branchée en parallèle sur la bobine lors de l'ouverture : l'énergie passe sous forme thermique
- lors de la fermeture du circuit électrique, le courant passe de la valeur nulle à sa valeur maximale selon une loi exponentielle dont la constante de temps vaut L/R . Plus cette constante est grande et plus l'établissement du courant est lent

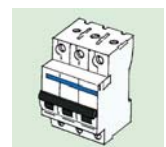
- Les **interrupteurs** doivent avoir:

- une faible résistance à l'état fermé: les contacts doivent être polis et rester tels (arcs de rupture). Généralement un ressort est prévu pour presser les lames de contact les unes sur les autres et ainsi augmenter la surface de contact réel
- un système mécanique pour assurer une ouverture suffisamment rapide. Une ouverture trop lente entraîne une détérioration rapide des contacts.



- Les **disjoncteurs** et autres systèmes à ouverture automatique, relais...

- l'ouverture du disjoncteur se fait via des contacts auxiliaires qui ne se détériorent généralement pas car le courant coupé est faible. Ces contacts commandent, généralement par effet magnétique, les contacts principaux du circuit électrique
- des systèmes d'extinction peuvent être prévus en fonction de l'importance du courant à couper et donc de l'arc électrique: il peut s'agir de
 - ✦ systèmes de chicane favorisant l'extinction de l'arc
 - ✦ systèmes à ouverture dans de l'huile
 - ✦ systèmes à air comprimé pour souffler l'arc
 - ✦ systèmes à hexafluorure de soufre pour éteindre l'arc



Source 1

- Les **contacteurs** sont des systèmes destinés à l'ouverture et à la fermeture fréquente d'un circuit électrique. Leur position de repos correspond à l'ouverture du circuit

Fiches d'aide, Analyse

- Les **rupteurs** sont semblables aux contacteurs, mais la position de repos est la position fermée du circuit.
- Les **conjoncteurs**: réciproques des disjoncteurs, ils se ferment automatiquement pour, par exemple, décharger un banc de condensateurs lorsque la tension aux bornes est coupée.
- Les **sectionneurs** sont généralement placés en série avec un disjoncteur afin d'isoler complètement le circuit. Le disjoncteur est ouvert avant le sectionneur pour offrir une séparation de sécurité. Ils sont cependant caractérisés par leur pouvoir de coupure c-à-d le courant maximal qui peut être coupé dans les conditions de vie annoncées par le fabricant. Ce pouvoir de coupure s'exprime en ampère pour les réseaux basses tensions et en volt ampère pour les réseaux moyennes et hautes tensions.

2. Protection contre les surintensités

- Les surintensités produisent un échauffement, voire une rupture par fusion du conducteur. Trois types de surintensités sont généralement distinguées :
 - courants de surcharge (caractérisés souvent par l'expression courant de court-circuit min $I_{cc \min}$): leur valeur dépasse de 10 à 50% le courant nominal. Leur coupure ne doit pas se faire immédiatement car ces courants de surcharge apparaissent notamment lors du démarrage de moteurs électriques asynchrones. La coupure doit donc se faire avec un certain retard en utilisant des relais temporisés
 - courants de court-circuit impédant du matériel électrique: courants à allure de surcharge provenant du passage du courant au travers de l'isolation devenue défectueuse
 - courants de court-circuit (caractérisés par l'expression courant de court-circuit max $I_{cc \max}$): la coupure du circuit doit se faire le plus rapidement possible
- Caractéristiques des appareils de protection
 - courant conventionnel de non fonctionnement: valeur spécifiée du courant qui peut être supporté par le dispositif de protection pendant un temps donné sans provoquer son fonctionnement (I_{nf})
 - les caractéristiques de surcharge, de courant de court-circuit impédant et de courant de court-circuit permettent aux techniciens de déterminer les caractéristiques des éléments de protection en fonction du temps et de la valeur du courant tolérable dans les canalisations qu'il y a lieu de protéger
 - la protection dépend du type de surintensité
 - ✦ protection à caractéristiques ampèremétriques pour les courants de surcharge
 - ✦ protection à caractéristiques chronométriques pour les courants de court-circuit impédants
 - ✦ protection à caractéristiques énergétiques pour les courants de court-circuit francs (pouvoir de coupure du dispositif de protection)
- Les **relais magnétiques** à maximum de courant:

Un bobinage situé dans le relais est parcouru par le courant du circuit. Lorsque ce courant dépasse une certaine valeur, la force engendrée par le champ magnétique de la bobine devient supérieure à la force de rappel d'un ressort qui maintenait un disjoncteur fermé. La raideur du ressort permet de régler pour quelle valeur du courant se produira la coupure.

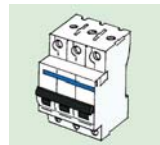
Ce système convient parfaitement pour les courants de court-circuit notamment du fait d'un temps de réponse de l'ordre de la milliseconde.
- Les **relais thermiques**

L'échauffement d'une résistance par le passage du courant (par effet Joule) provoque l'échauffement d'un bilame (deux lames soudées de métaux possédant des propriétés de

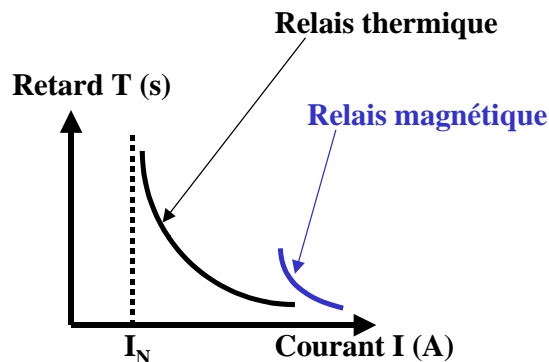
Fiches d'aide, Analyse

dilatation thermique différentes). Ce bilame par dilatation différentielle coupe le disjoncteur. Ces relais conviennent aux courants de surcharge en raison de l'inertie thermique du bilame. Les temps de retard obtenus à la coupure peuvent varier de quelques secondes à 1 minute.

- Les **relais magnétothermiques** (disjoncteurs) combinent un relais magnétique et un relais thermique. On les retrouve notamment dans les disjoncteurs domestiques.
- Les **relais à minimum de tension ou d'impédance** détectent une chute de tension ou d'impédance en mesurant à la fois la tension et le courant.
- La caractéristique fondamentale des relais est le retard de fonctionnement en fonction du courant. La figure ci-après montre le retard de la coupure en fonction du courant. La plage de fonctionnement du relais thermique est située juste au-dessus du courant nominal I_N . La caractéristique du relais magnétique est plus raide et la coupure survient pour des courants nettement supérieurs au courant nominal.

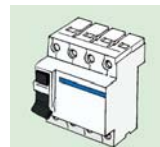


Source 1



3. Protection contre les fuites de courants

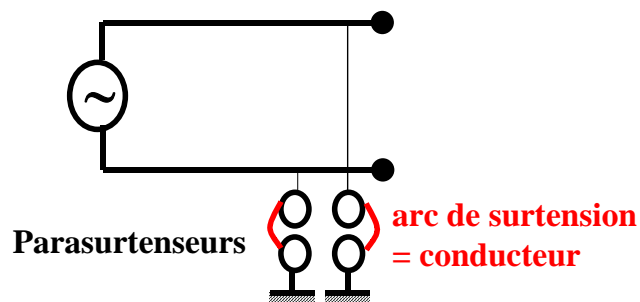
- Le **disjoncteur différentiel** est un disjoncteur automatique qui coupe le circuit lorsqu'une perte de courant (vers le circuit de terre) trop importante est constatée.
 - il mesure en fait la différence de courant entre les deux phases du circuit (différentiel bipolaire) pour un réseau monophasé 220V ou entre les 3 phases et le neutre (différentiel tétrapolaire) d'un réseau triphasé. Si cette différence est supérieure à la valeur nominale du différentiel, celui-ci se déclenche et coupe le ou les circuits
 - le différentiel de toute l'installation est en général de 300mA (milliampère). Un seul appareil est suffisant s'il est capable de supporter le courant maximal (40A, 63A ...) que peut délivrer le compteur du réseau
 - un différentiel supplémentaire doit être prévu spécifiquement pour chaque circuit humide. Il est en général de 30mA et se place après le différentiel général
 - le nombre de différentiel à placer dépend de la valeur de la résistance de dispersion de la terre:
 - ✦ si inférieure ou égale à 30 ohms, un différentiel général de 300mA et un différentiel de 30mA pour les circuits humides est suffisant, pour autant qu'il soit capable de supporter la somme des courants maximaux de chaque circuit dit humide
 - ✦ si supérieure à 30 ohms mais inférieure à 100 ohms, un différentiel de 30mA doit être installé sur chaque circuit de l'installation
 - ✦ la résistance de terre ne peut dépasser 100 ohms



Source 1

4. Protection contre les surtensions

- Surtensions de régime :
 - ces surtensions sont assez rares dans les pays où les centrales électriques sont interconnectées et où le système posant problème est automatiquement mis hors circuit
 - ces surtensions peuvent être de l'ordre de 10 à 20% et un relais de surtension càd à maximum de tension permet de protéger l'installation
- Surtensions transitoires :
 - ces surtensions peuvent être dues à des manœuvres (ouverture d'un circuit inductif) ou à la foudre
 - les relais à maximum de tension ont un temps de retard beaucoup trop grand et des parasurtenseurs sont nécessaires:



- ✧ les deux phases sont reliées à deux éclateurs
- ✧ l'éclateur est constitué de deux conducteurs proches l'un de l'autre, l'un relié à la terre et l'autre à une des deux phases du réseau
- ✧ la surtension produit un arc électrique entre les deux conducteurs de l'éclateur, arc qui relie la phase à la terre
- ✧ le réseau est donc coupé 1 ou 2 secondes seulement pour éteindre l'arc. Des disjoncteurs à réenclenchement automatique rebranchent le réseau
- ✧ des varistances électroniques (équivalent à des diodes zéner) qui imposent un seuil de tension pourraient être utilisées pour limiter la surtension. Leur capacité est cependant insuffisante pour encaisser toute l'énergie due à la surtension

Fiche 9 (Analyse): Électricité statique

1. Définitions

- Le champ électrique dans le vide (voir la fiche 7 et le texte relatif aux condensateurs) est donné par:

$$E = \sigma / \epsilon_0$$

- où: σ est la densité superficielle de charge (Q / S)
 ϵ_0 est la permittivité de l'air, égale à $8,85 \cdot 10^{-12}$ C/Nm²
- le champ électrique critique dans l'air à pression normale est égal à $E_{Max} = 3 \cdot 10^6$ V/m
 - Si $E > E_{Max}$, l'air est ionisé, devient conducteur ("claquage de l'air") et une étincelle se produit
- Le corps humain se comporte comme un condensateur ($C_{humain} = 100$ à 200 pF) qui accumule de l'énergie par frottements. Il se décharge quand il est en contact avec un conducteur.

2. Dangers de l'électricité statique

- Danger d'**incendie** ou d'**explosion**
 - l'étincelle peut entraîner un **incendie** en présence de matières inflammables, si l'énergie dégagée est supérieure à l'énergie minimale d'inflammation (minimum ignition energy MIE), fonction des réactifs:

| SUBSTANCE | MIE (mJ) |
|--------------------|----------|
| sulfure de carbone | 0.009 |
| hydrogène | 0.011 |
| acétylène | 0.017 |
| méthanol | 0.140 |
| méthane | 0.280 |
| acétone | 1.150 |
| zirconium | 5 |
| soufre | 15 |
| charbon | 40 |

- l'explosion** ne se produit que si la concentration du mélange air – (vapeur ou gaz ou poussières) est comprise entre la limite inférieure d'inflammabilité (LII ou LEL en anglais) et la limite supérieure d'inflammabilité (LSI ou UEL en anglais):



Limites d'inflammabilité (explosivité) inférieure et supérieure

| Produit | Limites d'explosivité (% en volume) | |
|-----------------------|--|------------|
| | Inférieure | supérieure |
| Acétate d'éthyle | 2,0 | 10,5 |
| Acétone | 2,6 | 13 |
| Acétylène | 2,5 | 81 |
| Benzène | 1,4 | 8 |
| Cyclohexane | 1,3 | 8,3 |
| Dioxane | 1,7 | 22 |
| Ethanol | 3,3 | 19 |
| Ether diéthylique | 1,9 | 36 |
| Ether diisopropylique | 1,4 | 8 |
| n-Hexane | 1,2 | 7,5 |
| Hydrogène | 4,0 | 75 |
| Méthanol | 4,0 | 36 |
| Nitrobenzène | 1,8 | - |
| Méthyléthylcétone | 1,8 | 11,5 |
| Pyridine | 1,8 | 12,4 |
| Disulfure de carbone | 1,3 | 50 |
| Tétrahydrofurane | 2,0 | 11,5 |
| Toluène | 1,3 | 7 |
| Xylènes | 1,0 | 7 |

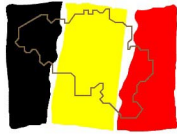
- le site de l'Organisation Internationale du Travail (OIT ou ILO en anglais) donne des informations sur les substances dangereuses et notamment sur le risque d'incendie et d'explosion:
<http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/index.htm>
- Danger de **choc électrique**: inconfort et insécurité
 - le choc électrique entraîne une sensation et une réaction susceptibles d'avoir des conséquences graves selon les conditions de travail à cet instant: chute...

| SENSATION | ENERGIE (mJ) |
|-------------------|--------------|
| imperceptible | < 0.4 |
| perceptible | 1.5 |
| piqûre | 8.2 |
| forte piqure | 37 |
| faible secousse | 80 |
| secousse modérée | 230 |
| secousse sensible | 420 |
| forte secousse | 820 |
| danger de mort | 10000 |

- Danger de **dégâts matériels**
 - le choc électrique peut entraîner également la détérioration du matériel par dépassement de la tension de seuil des composants électroniques

3. Limitation des dangers en prévenant l'accumulation de l'énergie statique

- Mise à la terre des équipements relativement bons conducteurs
 - action sur le sol en préférant des revêtements conducteurs et en évitant les revêtements isolants:
 - ✧ linoléums: $R = 10^8 \Omega$
 - ✧ asphalte: $R = 10^{12} \Omega$
 - ✧ tapis plains: $R = 10^9 \Omega$
 - entretien du sol: éliminer les huiles, graisses... qui augmentent l'isolation du sol
 - habillement personnel (chaussures conductrices, éviter les fibres synthétiques...)
 - mise des conducteurs à la terre (ex: mise à la terre du camion avant de remplir la citerne de mazout)
- Action sur les substances
 - éviter accumulation de mélanges inflammables
 - agir sur les moyens de production et de manutention:
 - ✧ limiter les frottements
 - ✧ rendre les bandes transporteuses conductrices (avec du carbone par exemple)
 - ✧ ne pas utiliser la gravité pour transporter les produits inflammables
- Autres actions
 - agir sur les isolants porteurs de charge en utilisant des ioniseurs
 - diminuer la conductibilité de l'air en augmentant l'humidité, tout en veillant au confort des personnes et aux conflits possibles avec le processus industriel
 - augmenter la conductibilité de certains produits dangereux: par ex., ajout d'un additif à du xylène



Fiche 10 (Analyse): Principaux points du RGIE

1. Introduction

La fiche 4 (Observation) introduit et donne le contenu de la Réglementation Générale sur les Installations Electriques (RGIE). Le but de la présente fiche est de donner des informations complémentaires notamment sur le classement des installations par leur domaine de tension, sur les degrés de protection du matériel électrique ou sur des mesures de sécurité spécifiques (liaisons équipotentielles...).

2. Visite de contrôle par un service externe de contrôle technique (SECT), (organisme agréé)

- des installations à basse tension (article 271 du RGIE)
 - ✧ tous les 25 ans pour les installations domestiques
 - ✧ tous les 5 ans pour les autres installations
- des installations à haute tension (article 272 du RGIE)
 - ✧ chaque année

Un procès verbal de visite doit être établi et conservé par le propriétaire ou le gestionnaire de l'installation concernée.

3. Classement des installations par leur domaine de tension

- Trois domaines de tension sont utilisés pour définir les installations:
 - très basse tension: TBT
 - basse tension: BT
 - haute tension: HT
- Les valeurs définissant ces trois domaines sont différentes pour
 - les courants continus
 - les courants alternatifs

Classement des installations par domaine de tension (RGIE, article 4)

| | Courant alternatif | | Courant continu | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| | tension entre phases et terre | tension entre phases | non lissé | lissé |
| très basse tension: TBT | $U \leq 50$ | $U \leq 50$ | $U \leq 75$ | $U \leq 120$ |
| basse tension: BT | $50 < U \leq 500$ | $50 < U \leq 1000$ | $75 < U \leq 1500$ | $120 < U \leq 1500$ |
| haute tension HT | $U > 500$ | $U > 1000$ | $U > 1500$ | $U > 1500$ |

- Les mesures de sécurité de l'installation imposées par le RGIE dépendent du domaine de tension de celle-ci

Fiches d'aide, Analyse

4. Très basse tension de sécurité

- La très basse tension de sécurité (TBTS) n'est pas susceptible d'entraîner des chocs électriques par contact direct. Les tensions limites considérées comme non dangereuses dépendent de l'humidité de la peau (articles 31 et 32 du RGIE):

Tensions (en volt) limites conventionnelles

| Code | Humidité de la peau | Tension limite conventionnelle | |
|------|---------------------|--------------------------------|-----------------|
| | | Courant alternatif | Courant continu |
| BB1 | peau non mouillée | 50 | 75 |
| BB2 | peau mouillée | 25 | 36 |
| BB3 | peau immergée | 12 | 18 |

- Les parties actives de la TBTS ne peuvent pas être en liaison avec les parties actives d'autres circuits
- Les masses des équipements alimentés par la TBTS ne peuvent pas être reliées ni à d'autres masses ni à la terre
- La tension doit être délivrée par une source d'alimentation sûre (batteries par exemple)

5. Influences externes sur l'installation du matériel électrique

- Les influences externes sur le matériel électrique sont codifiées dans le RGIE. La codification comprend 2 lettres et un chiffre
 - la **première lettre** correspond à 3 catégories
 - ✦ **A** pour environnement (température, humidité...)
 - ✦ **B** pour utilisation (état du corps humain, contact avec la terre...)
 - ✦ **C** pour construction du bâtiment (structure du bâtiment...)
 - la **deuxième lettre** correspond à différentes sous-catégories, précisant la première lettre
 - ✦ pour environnement
 - **A**: température
 - **B**: humidité de l'air
 - **C**: hauteur
 - **D**: eau
 - **E**: corps solides étrangers
 - **F**: ...
 - ✦ pour l'utilisation
 - **A**: qualification des personnes
 - **B**: état du corps
 - **C**: contact avec la terre
 - **D**: conditions d'évacuation
 - **E**: natures des matières traitées ou entreposées
 - ✦ pour la construction
 - **A**: inflammabilité des matériaux de construction
 - **B**: structure du bâtiment
 - le **chiffre, en troisième position**, correspond à différents niveaux de cette sous-catégorie

Fiches d'aide, Analyse

- Exemples
 - ✦ **AA4**: A pour environnement, A pour température et 4 correspond à la plage de température entre -5 et +40°C
 - ✦ **AD3**: A pour environnement, D pour eau et 3 correspond à humide (ruissellement d'eau sur parois et sols, pluie)
 - ✦ **BB2**: B pour utilisation, B pour état du corps et 2 pour peau mouillée
 - ✦ qualification des personnes
 - BA1: ordinaires, personnes non averties
 - BA2: enfants
 - BA3: handicapés
 - BA4: averties: personnes suffisamment informées ou surveillées par des personnes qualifiées pour éviter les dangers que présente l'électricité
 - BA5: qualifiées: personnes dont les connaissances techniques ou l'expérience leur permettent d'éviter les dangers que présente l'électricité

6. Classes de matériel électrique

- Le RGIE (article 30) classe le matériel électrique de basse tension et de très basse tension en fonction:
 - de l'isolation entre parties actives et parties accessibles
 - de la possibilité ou non de relier les parties conductrices à un conducteur de protection (fil de terre)
 - des tensions admissibles
- Les 5 classes de matériel électrique sont:
 - **classe 0**: protection ne repose que sur l'isolation principale, aucun raccordement des pièces conductrices au fil de terre
 - **classe 0I**: isolation principale et borne de protection (borne de masse) mais le câble d'alimentation ne comporte pas de conducteur de protection (fil de terre)
 - **classe I**: isolation principale avec conducteur de protection et câble d'alimentation avec un fil de terre
 - **classe II**: double isolation ou isolation renforcée, câble d'alimentation sans fil de terre
 - **classe III**: matériel électrique dont la protection repose sur l'alimentation par de très basses tensions de sécurité (TBTS)

7. Degré de protection du matériel électrique

- Le degré de protection du matériel électrique dépend des conditions d'utilisation et d'environnement...
- Le degré de protection est codifié par
 - **IP** (internal protection) suivi de deux chiffres selon la norme NBN C 20-001
 - le premier chiffre de 1 à 6 indique
 - ✦ le degré de protection de la personne contre le contact avec la pièce sous tension
 - ✦ et le degré de protection contre la pénétration de corps solides (poussières...)

Fiches d'aide, Analyse

Exemple: degré de protection, pénétration de corps solides (article 227 du RGIE)

| Code | Pénétration de corps solides | Degré de protection |
|------------|---|---------------------|
| AE1 | grande dimension | IP2X ou IP0X |
| AE2 | plus petite dimension 2,5 mm | IP3X |
| AE3 | plus petite dimension 1 mm | IP4X |
| AE4 | pouvant y pénétrer étanchéité nécessaire | IP5X IP6X |

- le deuxième chiffre de 1 à 8 indique le degré de protection contre la pénétration d'eau

Exemple: degré de protection en présence d'eau (article 226 du RGIE)

| Code | Présence d'eau | Degré de protection |
|------------|------------------------|---------------------|
| AD1 | négligeable | IPX0 |
| AD2 | temporairement humides | IPX1 |
| AD3 | humides | IPX3 |
| AD4 | mouillés | IPX4 |
| AD5 | arrosés | IPX5 |
| AD6 | paquets d'eau | IPX6 |
| AD7 | immergés | IPX7 |
| AD8 | submergés | IPX8 |

- un troisième chiffre peut éventuellement suivre pour indiquer la résistance aux chocs

8. Classification en zones dangereuses

- **risque d'explosion en atmosphères gazeuses explosives (articles 105 et 106 du RGIE et AR ATEX du 26 mars 2003)**
 - 3 zones sont définies
 - ✧ zone 0: Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.
 - ✧ zone 1: Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.
 - ✧ zone 2: Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.
 - des mesures sont prises pour limiter le volume de ces zones et pour limiter le plus possible l'emploi de matériel électrique dans ces zones
 - les machines et appareils électriques sont choisis en fonction du type de zone dangereuse et des caractéristiques des mélanges gazeux explosibles

Fiches d'aide, Analyse

| Zone | Mode de protection | Code |
|------|---|---|
| 0 | <ul style="list-style-type: none"> • sécurité intrinsèque de première catégorie i_a • matériel électrique cumulant deux modes de protection indépendants, admis en zone 1, pour autant qu'il soit conçu pour l'utilisation en zone 0 et qu'il soit installé conformément aux exigences spécifiées dans les certificats • matériel électrique conçu spécialement pour être utilisé en zone 0 et installé en conformité avec les exigences spécifiées dans les certificats | i_a |
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • matériel électrique à surpression interne • matériel électrique à remplissage pulvérulent • matériel électrique à enveloppe antidéflagrante • matériel électrique à sécurité augmentée • sécurité intrinsèque de catégorie i_b • matériel électrique avec encapsulage • matériel électrique admis en zone 0 • matériel électrique conçu spécialement pour être utilisé en zone 1 et installé en conformité avec les exigences spécifiées dans les certificats | <ul style="list-style-type: none"> • p • q • d • e • i_b • m |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • matériel électrique à remplissage d'huile • matériel électrique admis en zone 1 • matériel électrique conçu spécialement pour être utilisé en zone 2 et installé en conformité avec les exigences spécifiées dans les certificats | o |

- **risque d'explosion inhérent aux poussières (articles 110 et 111 du RGIE et AR ATEX du 26 mars 2003)**
 - 3 zones sont définies
 - ✧ zone 20: Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.
 - ✧ zone 21: Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.
 - ✧ zone 22: Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.
 - des mesures sont prises pour limiter le volume de ces zones et pour limiter le plus possible l'emploi de matériel électrique dans ces zones
 - les machines et appareils électriques sont choisis en fonction du type de zone dangereuse et du mélange poussières-air éventuellement présent

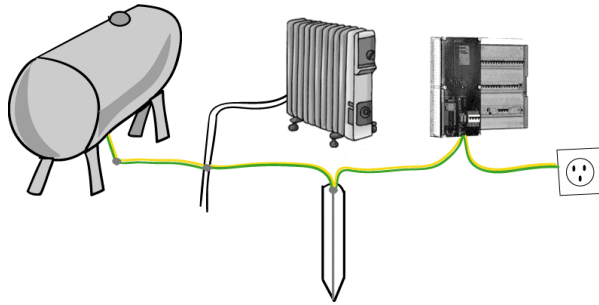
| Zone | Mode de protection |
|-------------|--|
| 20 | Le degré de protection est au moins égal à IP 6X.X. Lorsque la poussière n'est pas conductrice d'électricité ($R \geq 10^5 \Omega \text{cm}$), le degré de protection peut être réduit à IP 5X.X pour l'enveloppe des moteurs électriques. |
| 21 | Le degré de protection est au moins égal à IP 6X.X lorsque la poussière est conductrice d'électricité. Lorsque la poussière n'est pas conductrice d'électricité, le degré de protection peut être réduit à IP 5X.X. |
| 22 | Le degré de protection est au moins égal à IP 5X.X. |

9. Liaisons équipotentielles (articles 72 et 73 du RGIE)

- La liaison équipotentielle est une liaison électrique destinée à mettre au même potentiel des masses ou des éléments conducteurs étrangers à l'installation électrique
- La liaison équipotentielle principale (article 72) est réalisée à l'entrée des différentes canalisations dans un bâtiment ou, dans les installations industrielles comprenant plusieurs postes de transformation, pour chaque poste.
 - la section du conducteur est au moins égale à la moitié de la section du conducteur de protection (prise de terre) avec un minimum de 6mm^2
 - le conducteur de la liaison équipotentielle principale doit réunir:
 - ✧ le conducteur principal de protection (prise de terre)
 - ✧ les canalisations principales d'eau et de gaz
 - ✧ les colonnes principales du chauffage central et de climatisation
 - ✧ les éléments métalliques fixes et accessibles qui font partie de la structure de la construction
 - ✧ les éléments métalliques principaux d'autres canalisations (air comprimé, huile...)
- La liaison équipotentielle supplémentaire (article 73) revient à relier localement toutes les masses et les conducteurs de protection des machines et appareils électriques ainsi que tous les éléments conducteurs (tuyaux, radiateur, chauffe eau, cuve...) simultanément accessibles par une personne
 - cette liaison équipotentielle locale peut être isolée de la terre ou bien reliée à une prise de terre qui peut être distincte des autres masses de l'installation
 - la section du conducteur est au moins égale à la moitié de la section du conducteur de protection relié à une masse, avec un minimum de $2,5 \text{mm}^2$ lorsque les conducteurs sont protégés mécaniquement (sous tube par exemple) et de 4mm^2 lorsqu'ils ne le sont pas

10. La prise de terre (articles 69, 70 et 71 du RGIE)

- La prise de terre est réalisée par une ou plusieurs pièces conductrices (piquets de terre par exemple) connectées entre elles et enfouies dans le sol pour assurer la liaison avec la terre
- La section du conducteur de terre dépend de la section (S) des conducteurs de l'installation:
 - si $S \leq 16\text{mm}^2$, la section du conducteur de protection est égale à S
 - si $16 < S \leq 35$, la section du conducteur de protection est égale à 16mm^2
 - si $S > 35$, la section du conducteur de protection est égale à $0,5 S$
 - en outre, si le conducteur de protection ne fait pas partie de la canalisation d'alimentation, la section du conducteur de protection est au moins égale à
 - ✦ $2,5\text{mm}^2$ lorsque les conducteurs sont protégés mécaniquement (tube par exemple)
 - ✦ et de 4mm^2 lorsqu'ils ne le sont pas
- La couleur du conducteur de protection isolé doit être le jaune et le vert

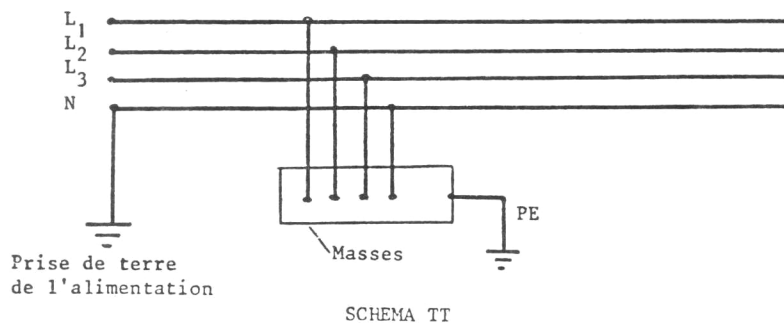


11. Les trois schémas de liaison à la terre (article 79 du RGIE)

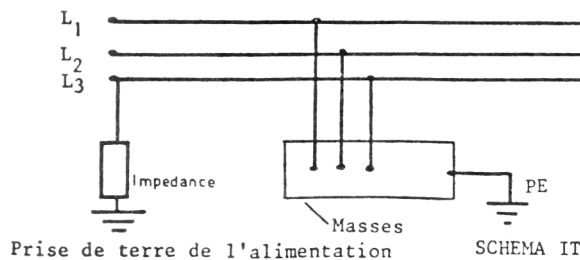
- Il existe trois schémas de liaison du réseau à la terre, caractérisés chacun par un code de deux lettres au minimum et éventuellement de trois ou quatre lettres
 - la première lettre donne la situation d'un point de l'alimentation par rapport à la terre:
 - ✦ **T**: liaison directe d'un point avec la terre
 - ✦ **I**: isolation
 - soit isolation de toutes les parties actives par rapport à la terre
 - soit liaison d'un point avec la terre au travers d'une impédance
 - la deuxième lettre donne la situation des masses de l'installation électrique par rapport à la terre:
 - ✦ **T**: masses reliées directement à la terre indépendamment de la mise à la terre éventuelle d'un point de l'alimentation
 - ✦ **N**: masses reliées au point de l'alimentation mis à la terre (en courant alternatif, le point mis à la terre est normalement le neutre)
 - les troisième et quatrième lettres donnent la disposition du conducteur neutre (N) et du conducteur de protection (PE)
 - ✦ **S**: fonctions de neutre et protection assurées par des conducteurs séparés
 - ✦ **C**: fonctions de neutre et protection combinées en un seul conducteur (conducteur PEN)

Fiches d'aide, Analyse

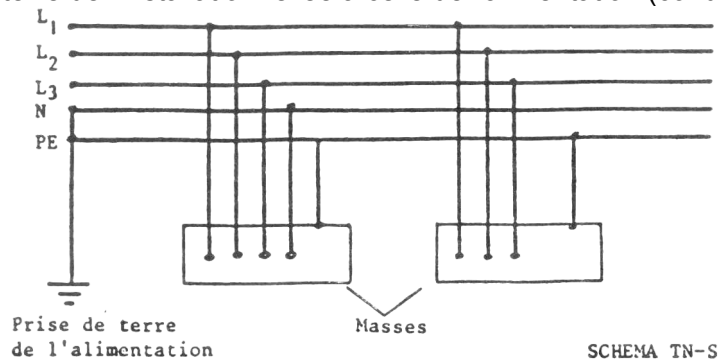
- Les trois schémas sont donc
 - schéma **TT** (70% de ce type en Belgique): un point de l'alimentation est relié directement à la terre, les masses de l'installation étant reliées à des prises de terre électriquement distinctes de la prise de terre de l'alimentation. Dans l'installation, se retrouvent
 - ✦ les trois phases du réseau R, S et T
 - ✦ le neutre N
 - ✦ la prise de terre de l'installation



- schéma **IT** (20% en Belgique): aucun point de l'alimentation n'est relié directement à la terre, les masses de l'installation étant mises à la terre. Dans l'installation, se retrouvent
 - les trois phases du réseau R, S et T
 - le conducteur de protection (prise de terre) de l'installation

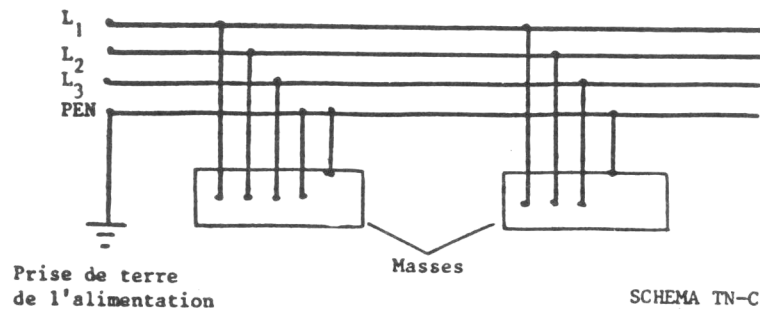


- schéma **TN** (10% en Belgique) avec ses variantes TN-S, TN-C-S et TN-C: un point de l'alimentation est relié directement à la terre, les masses de l'installation étant reliées à ce point par des conducteurs de protection
 - ✦ variante **TN-S**: le conducteur neutre N et le conducteur de protection sont séparés dans toute l'installation. Dans l'installation, se retrouvent
 - les trois phases du réseau R, S et T
 - le neutre N
 - la prise de terre de l'installation reliée à celle de l'alimentation (conducteur PE)

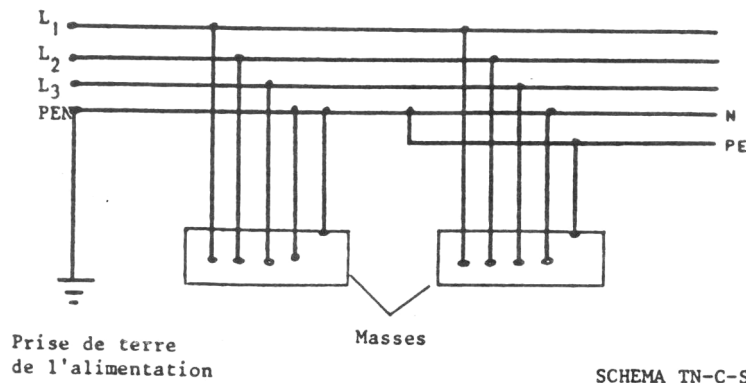


Fiches d'aide, Analyse

- ◇ variante **TN-C**: le conducteur neutre N et le conducteur de protection sont combinés en un seul conducteur. Dans l'installation, se retrouvent
 - les trois phases du réseau R, S et T
 - le conducteur PEN reliant le neutre, la prise de terre de l'installation et celle de l'alimentation



- ◇ variante **TN-C-S**: le conducteur neutre N et le conducteur de protection sont combinés en un seul conducteur dans une partie de l'installation seulement. En aval du point de séparation du neutre et du conducteur de protection, ils doivent rester séparés



- Couleurs des conducteurs isolés
 - la couleur du conducteur isolé de protection (prise de terre) doit être le jaune et vert
 - la couleur du conducteur isolé du neutre doit être le bleu
 - la couleur des conducteurs isolés de phase est généralement le noir ou le brun mais ne peut pas être le jaune ou le vert

12. Travaux aux installations électriques (article 266 du RGIE)

- Définitions
 - les travaux de réparation, d'entretien, de réglage ou d'installation sur du matériel électrique sont réputés être des travaux hors tension à condition que:
 - ◇ les parties actives sur lesquelles on travaille soient hors tension
 - ◇ et qu'il n'y ait aucune partie active non isolée restée sous tension dans le volume d'accessibilité au toucher défini à l'article 28 du RGIE
 - tout autre travail à une installation électrique est considéré comme travail sous tension

Fiches d'aide, Analyse

- Travail hors tension: principes
 - la mise hors tension doit se faire en utilisant un des dispositifs de sectionnement décrits à l'article 235.01
 - un balisage est installé (chaîne ou ruban bien visible)
 - la mise hors tension est vérifiée
 - des mesures adéquates sont prises pour éviter toute remise sous tension intempestive
 - lors d'installations à haute tension:
 - ✧ le matériel électrique est mis à la terre dans le voisinage le plus immédiat
 - ✧ la mesure précédente et les autres mesures de sécurité sont soit ordonnées et surveillées, soit exécutées par une personne avertie (BA4) ou qualifiée (BA5) mandatée à cet effet
 - ✧ toute opération relative à la remise sous tension (élimination des mesures de sécurité...) est soit ordonnée et surveillée, soit exécutée par une personne avertie (BA4) ou qualifiée (BA5) mandatée à cet effet



- Travail sous tension
 - le travail sous tension peut être admis lorsque l'installation électrique satisfait aux exigences requises et lorsque des raisons de sécurité ou de service les rendent nécessaires. Toutefois, des mesures de protection doivent être prises pour empêcher tout effet physiologique dangereux sur les personnes pouvant résulter d'un arc électrique ou de l'éventuel passage du courant dans le corps humain.
 - les conditions suivantes doivent être respectées:
 - ✧ les personnes chargées des travaux sous tension sont soit des personnes averties (BA4) ou qualifiées (BA5) soit des personnes surveillées ou accompagnées par de telles personnes
 - ✧ elles disposent des outils et matériels adéquats et des moyens de protection nécessaires
 - ✧ elles prennent les mesures nécessaires conformément aux règles de l'art

