

**COURS D'INSTALLATIONS ELECTRIQUES
BASSE TENSION**

Par Ahmed Ousmane BAGRE
Enseignant en Energie et Froid
Groupe EIER-ETSHER

SOMMAIRE GENERAL

- 1. DANGERS PRESENTES PAR L'ELECTRICITE**
- 2. INFLUENCES EXTERNES ET CARACTERISTIQUE DES MATERIELS ET CANALISATIONS ELECTRIQUES**
- 3. RAPPELS TECHNOLOGIQUES ET REGLEMENTAIRES SUR L'APPAREILLAGE BT**
- 4. METHODOLOGIE DE LA CONCEPTION**
- 5. REGIMES DU NEUTRE ET PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS**
- 6. DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS ACTIFS ET CHOIX DES PROTECTIONS**
- 7. CHUTES DE TENSION EN BASSE TENSION**
- 8. COURANTS DE COURT-CIRCUIT**
- 9. ASPECT ECONOMIE D'ENERGIE DANS LA PHASE DE CONCEPTION**

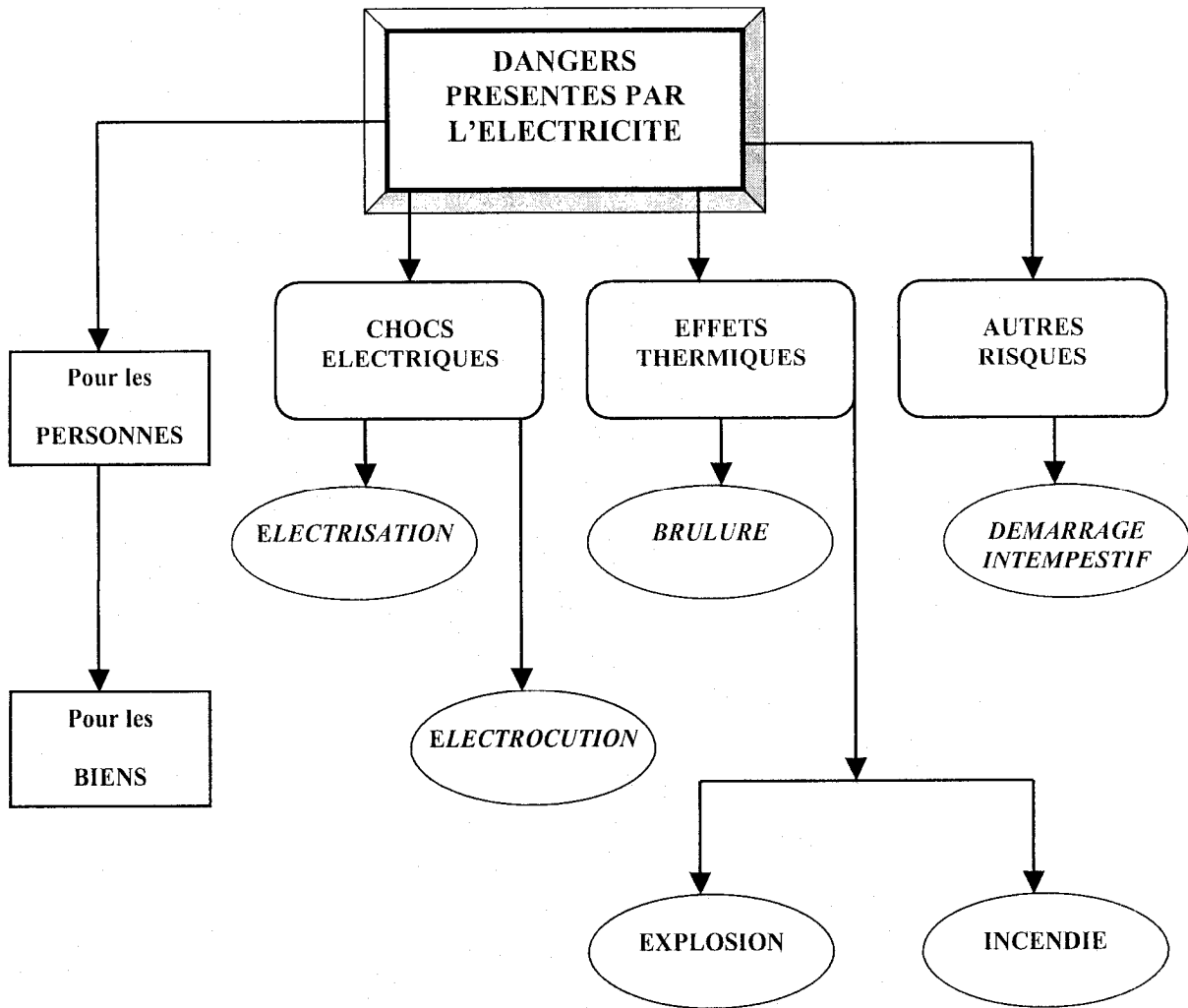
1- DANGERS PRESENTES PAR L'ELECTRICITE

1 - DANGERS PRESENTES PAR L'ELECTRICITE

SOMMAIRE

1. DEFINITION.....	2
2.1. PRINCIPALES CAUSES DES ACCIDENTS ELECTRIQUES :	3
2.2. DOMMAGES CORPORELS DUS A L'ELECTRICITE	3
2.3. EFFETS DU COURANT ELECTRIQUE SUR LE CORPS HUMAIN :	3
2.4. RESISTANCE DU CORPS HUMAIN	5
2.5. DUREE MAXIMALE DE MAINTIEN DE LA TENSION DE CONTACT	6
2. LES INCENDIES D'ORIGINE ELECTRIQUE.....	7
2.1. PRINCIPALES CAUSES D'INCENDIES D'ORIGINE ELECTRIQUE	7
2.2. FACTEURS AGGRAVANT LES ECHAUFFEMENTS :	7
3. PREVENTION DES ACCIDENTS D'ORIGINE ELECTRIQUE	8
3.1. MESURES DE SECURITE POUR LES INSTALLATIONS ELECTRIQUE :	8
3.1.1. <i>Protection contre les contacts directs</i>	8
3.1.2. <i>Protection contre les contacts indirects</i>	9
3.2. MESURES DE SECURITE POUR LE MATERIEL ELECTRIQUE	10

1. DEFINITION



2.1. Principales causes des accidents électriques :

- mauvais état des isolants : dégât mécanique, désagrégation ou usure (60% des cas);
- modifications sans contrôle : modification ou extension d'une installation électrique par une personne non compétente;
- recherche du prix le plus bas sans souci de conformité : le choix d'un prix compétitif se fait parfois au détriment de la qualité;
- non-respect des distances de garde par rapport aux ouvrages électriques;
- inadaptation aux usages: il faut surtout éviter d'utiliser une installation pour une destination non prévue à l'origine.

L'électrisation peut se produire par contact direct (avec une partie active) ou indirect (avec une masse mise accidentellement sous tension). Le courant ne passe que si le circuit est fermé c'est à dire s'il y a :

- Soit deux points de contact avec des pièces sous tension (contact direct),
- Soit un point de contact avec une pièce sous tension et un autre avec la terre (contact indirect).

2.2. Dommages corporels dus à l'électricité

La gravité d'une électrisation dépend de plusieurs facteurs :

- L'intensité du courant (danger à partir de 5 mA),
- la durée du passage du courant,
- La surface de la zone de contact,
- La trajectoire du courant,
- L'état de la peau (sèche, humide, mouillée),
- La nature du sol,
- La capacité d'isolation des chaussures portées.

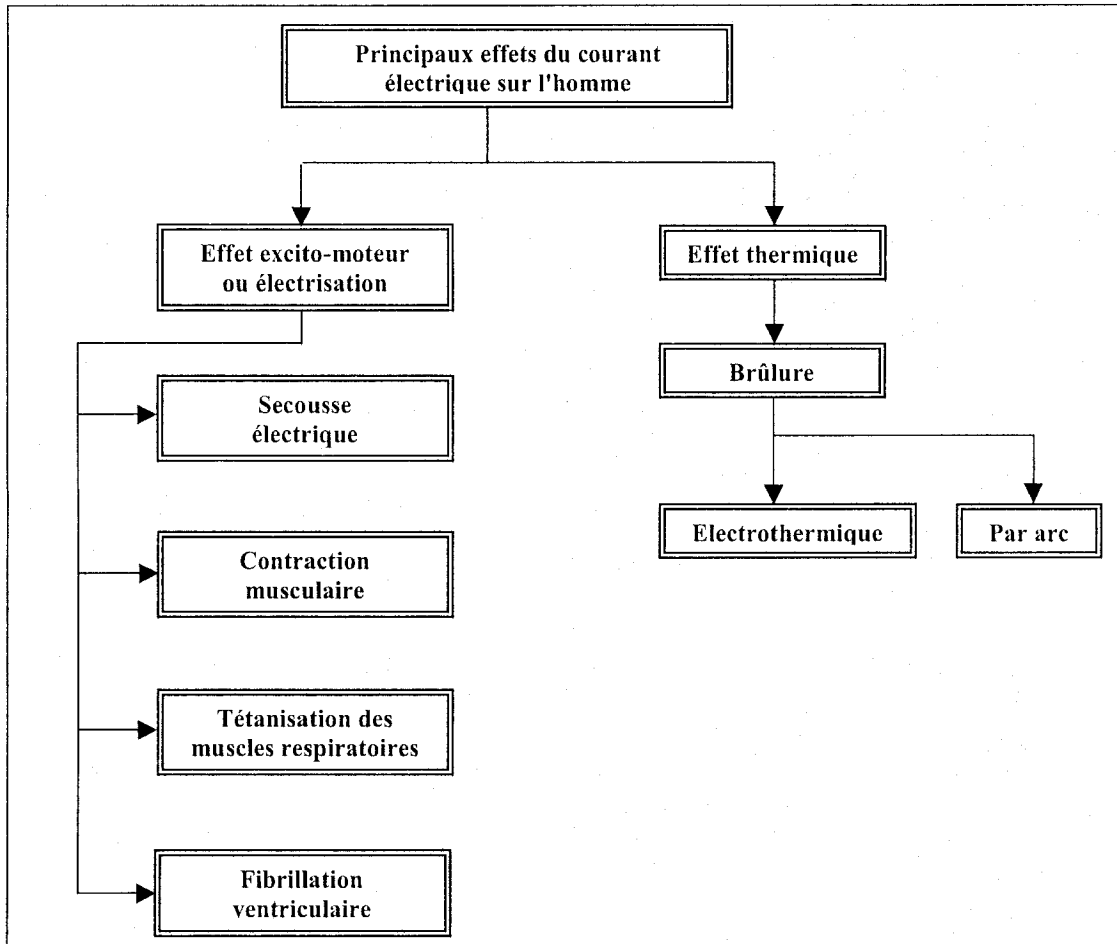
Le courant suit le chemin le plus court entre le point d'entrée et le point de sortie et peut donc endommager tous les organes qui se trouvent sur son passage.

2.3. Effets du courant électrique sur le corps humain :

Par ordre de gravité

- **Electrisation:** Effet physiologique et physiopathologie dû au passage du courant électrique à travers l'organisme (contractions musculaires, tétanisation, fibrillation ventriculaire qui peuvent entraîner un arrêt circulatoire et/ou respiratoire).
- **Thermique:** Brûlures électriques de la peau et des yeux (en cas d'arc électrique) mais aussi des organes internes (nécrose des muscles, thrombose des petits vaisseaux...)
- **Electrocution:** Mort immédiate consécutive au passage du courant électrique dans le corps.

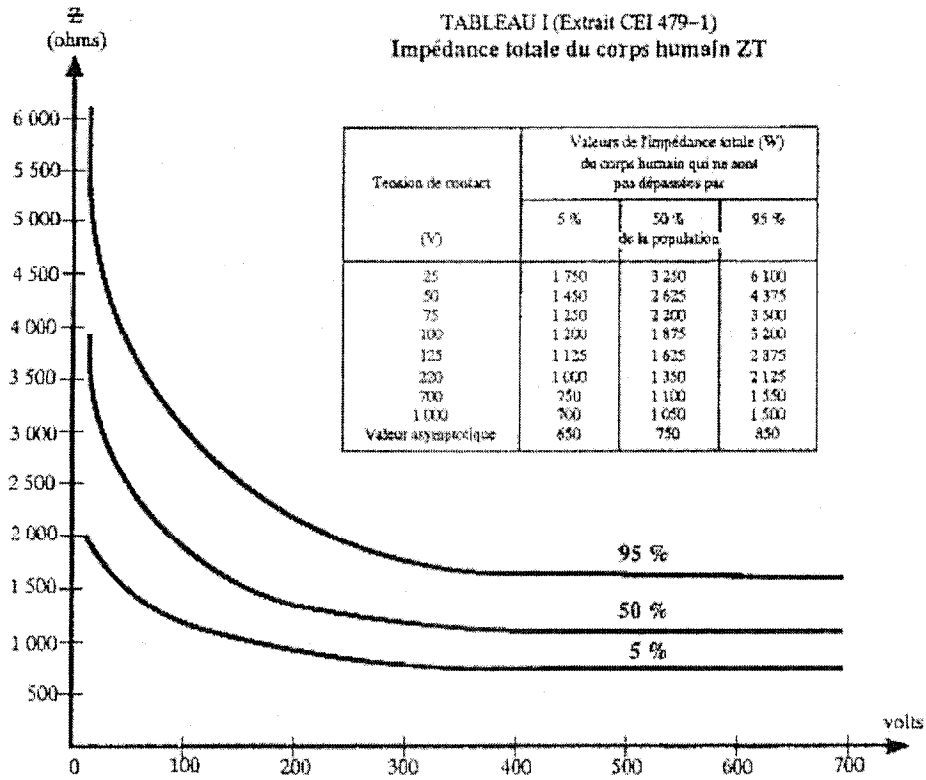
Par nature de l'effet



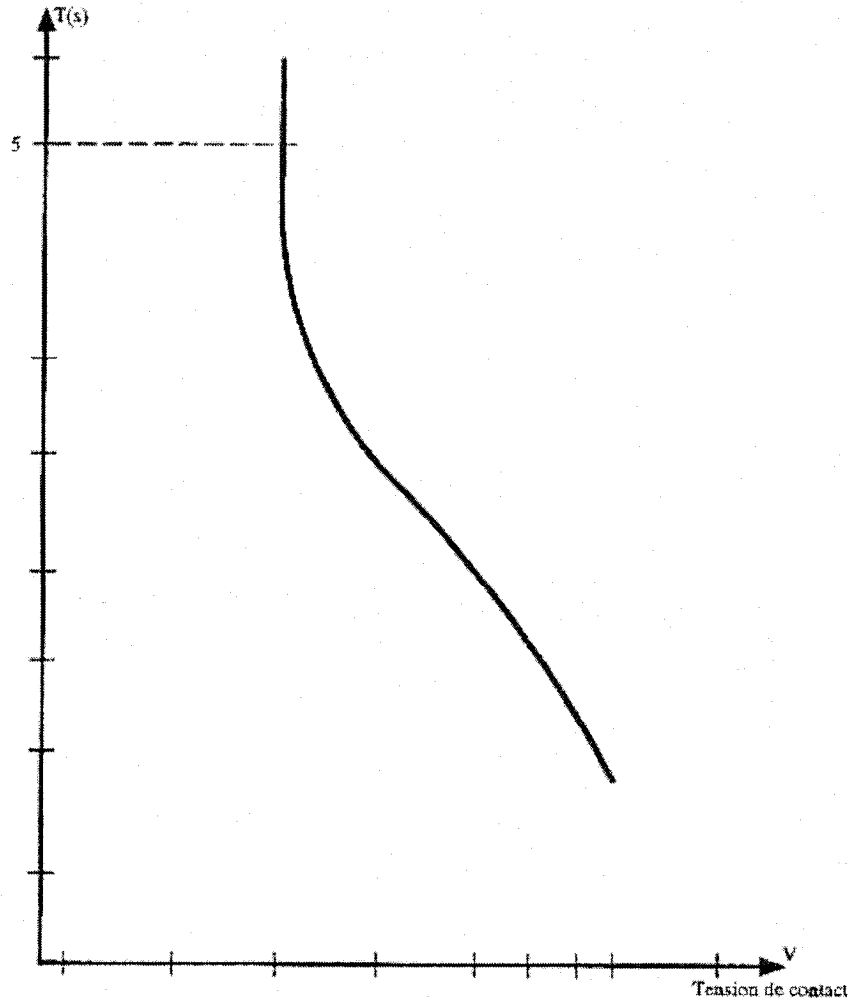
Effet du courant alternatif sur le corps humain

1 A	Arrêt du cœur
75 mA	Seuil de fibrillation cardiaque irréversible
30 mA	Seuil de paralysie Respiratoire
10 mA	Contraction musculaire (tétanisation)
0,5 mA	Sensation très faible

2.4. Résistance du corps humain



**2.5. Durée maximale de maintien de la tension de contact
(courant alternatif)**



Allure de la courbe donnant la durée maximale de la tension de contact présumée.

2. LES INCENDIES D'ORIGINE ELECTRIQUE

Un incendie sur trois serait d'origine électrique

Pour que survienne un incendie d'origine électrique, il faut qu'il y ait simultanément :

- une source de chaleur ou une étincelle,
- un comburant (l'oxygène de l'air),
- un combustible.

2.1. Principales causes d'incendies d'origine électrique

- *L'échauffement par surintensité* : dégagement de chaleur lié à la résistance du récepteur et à l'intensité;
- *La surintensité par surcharge* : une intensité supérieure à ce que peut supporter un circuit;
- *Le court-circuit*;
- *Un défaut d'isolement* conduisant à une circulation anormale du courant entre récepteurs et masse ou entre récepteur et terre;
- *Contacts défectueux* entraînant une résistance anormale et un échauffement certain.

2.2. Facteurs aggravant les échauffements :

- Une ventilation insuffisante,
- L'accumulation de poussière ou de dépôts de graisse,
- Le stockage de matériaux inflammables à proximité d'installations électriques,
- L'empilage des câbles empêchant l'évacuation de la chaleur,
- Le maintien en fonctionnements d'appareils ayant subi des courts-circuits.

3. PREVENTION DES ACCIDENTS D'ORIGINE ELECTRIQUE

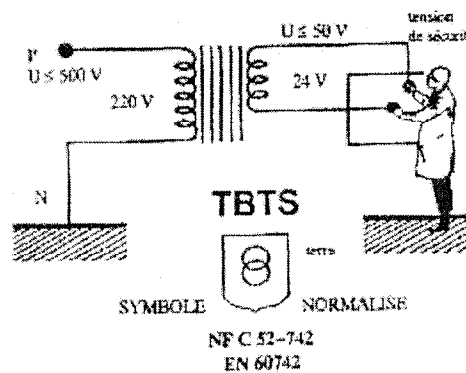
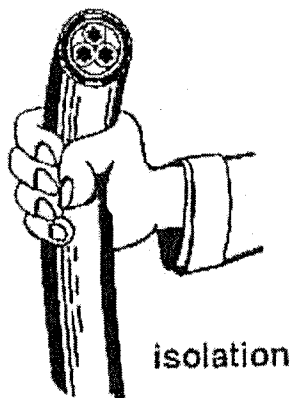
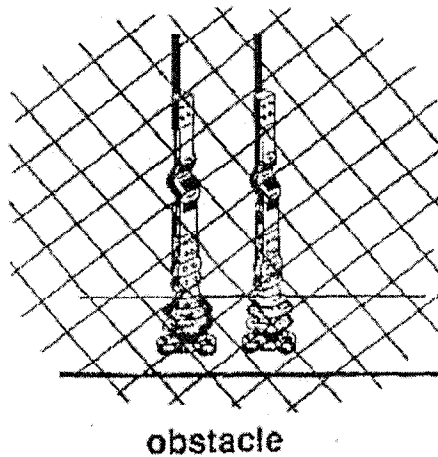
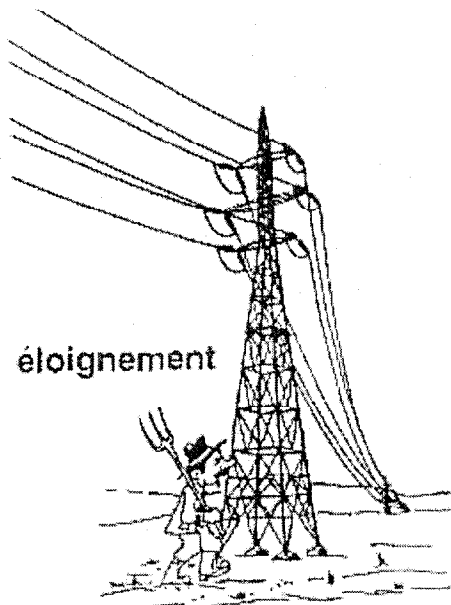
3.1. Mesures de sécurité pour les installations électrique :

3.1.1. *Protection contre les contacts directs*

Il existe plusieurs moyens de prévenir les contacts directs de l'homme avec des parties actives (pièces normalement sous tension) des installations électriques :

- **par isolation des parties actives** : celles-ci doivent être totalement recouvertes d'un isolant qui ne peut être enlevé que par destruction ;
- **par des enveloppes** (boîtiers, armoires...) ne pouvant être ouvertes qu'à l'aide d'une clé ou d'un outil après mise hors tension ;
- **par éloignement** : la distance éloignement doit être de 2,5 m augmentée de la longueur des objets conducteurs (outils, échelles) pouvant être manipulés dans les locaux ;
- **par la mise en place d'obstacles** : panneaux grillagés fixes distant d'au moins 10 cm pour $U < 500$ V ou 20 cm pour $U > 500$ V.

L'existence au sein du circuit d'un disjoncteur, d'un relais ou d'un fusible permet de réduire le danger en ouvrant le circuit lorsque le courant dépasse une valeur donnée pendant un temps déterminé (en cas de court-circuit ou de surcharge).



3.1.2. Protection contre les contacts indirects

Il existe plusieurs moyens de prévenir les contacts dits "indirects" c'est à dire ceux qui impliquent des masses métalliques mises accidentellement sous tension :



- **par mise en terre des masses avec coupure automatique de l'alimentation** : les schémas de liaison à la terre sont aussi appelés "régimes du neutre". Ils sont notamment définis par la norme NF C 15-100.
- **par l'emploi d'une très basse tension de sécurité (TBTS) ou de protection (TBTP)**
Valeurs maximales de la tension en TBTS (courant alternatif, à l'intérieur des locaux) :
 - Milieu sec: $U < 50 \text{ V}$
 - Milieu humide: $U < 25 \text{ V}$
 - Milieu mouillé: $U < 12 \text{ V}$
- **par une double isolation** ou une isolation renforcée.

3.2. Mesures de sécurité pour le matériel électrique

Le matériel électrique doit être compatible avec la tension d'alimentation. La norme NFC 20-030 répartit les matériels électrotechniques en quatre classes en fonction de leur conception du point de vue sécurité :

l'isolation entre les parties actives (normalement sous tension) et les parties accessibles (masses métalliques),

la possibilité ou non de relier les parties métalliques accessibles à la terre

Classes	Caractéristiques	Emploi	Symbole
0	<ul style="list-style-type: none"> isolation principale pas de possibilité de relier les masses entre elles ou à la terre 	Utilisation interdite sur les lieux de travail. La norme NF C 15-100 de 1990 limite leur utilisation aux luminaires fixes	Pas de symbole
I	<ul style="list-style-type: none"> isolation principale masses reliées entre elles et à la terre 	Utilisation possible sur les lieux de travail pour les machines fixes	
II	<ul style="list-style-type: none"> isolation renforcée (ou double isolation) masses non reliées à la terre 	Utilisation possible sur les lieux de travail pour les machines non fixes	
III	<ul style="list-style-type: none"> alimentation en très basse tension de sécurité (TBTS) ou de protection masses non reliées à la terre alimentation sécurisée (transformateur de sécurité) 	Obligatoire sur les appareils portatifs, non fixes en milieu confiné humide ou mouillé	Indication de la tension nominale (maximale)

Chapitre 2

2 - INFLUENCES EXTERNES CARACTERISTIQUES DES MATERIELS ET DES CANALISATIONS ELECTRIQUES

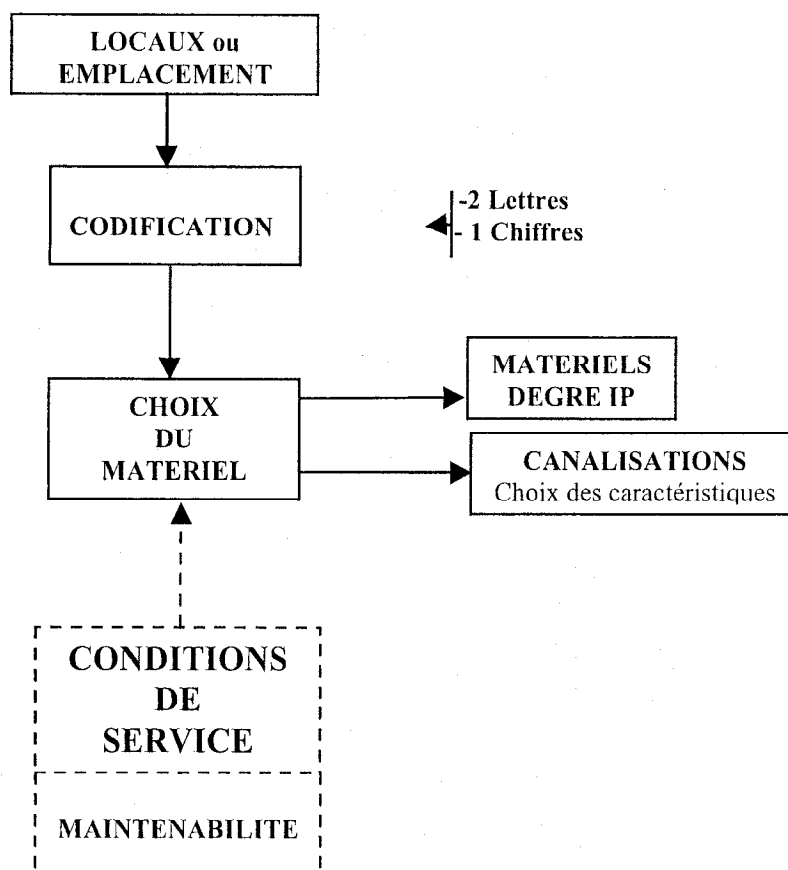
Chapitre 2

INFLUENCES EXTERNES CARACTERISTIQUES DES MATERIELS ET DES CANALISATIONS ELECTRIQUES

SOMMAIRE

1. CRITERES DE CONCEPTION D'UNE INSTALLATION ELECTRIQUE.....	2
2. LES INFLUENCES EXTERNES.....	3
3. INDICE DE PROTECTION	6
3.1. Introduction	6
3.2. Définition.....	7
3.3. Matériels.....	8
3.4. Personnes.....	12
3.5. Le code IK.....	13
3.5.1 Introduction.....	13
3.5.2 Degrés de protection	13
3.6. Application à la conception des matériels électriques.....	14
3.7. Conclusion	14
4. CODIFICATION DES CANALISATION ELECTRIQUES	15
4.1. Définition.....	15
4.2. Repérage des conducteurs isolées.....	15
4.3. Tableau des conducteurs et câbles normalisés	16
4.4. Codification des conduits (Publication internationale)	18

1. CRITERES DE CONCEPTION D'UNE INSTALLATION ELECTRIQUE



2. LES INFLUENCES EXTERNES

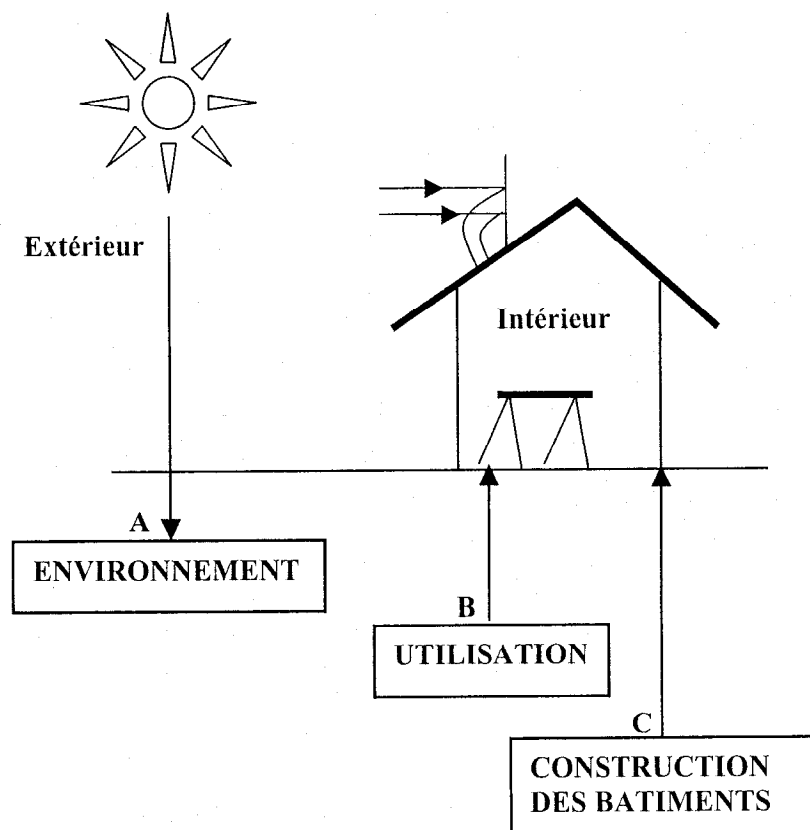
CODIFICATION

A	D	4
2 lettres		1 chiffre

• **1^{ère} lettre :**

Elle concerne la catégorie générale des influences externes :

- **A : Environnements**
- **B : Utilisations**
- **C : Construction des bâtiments**



Chapitre 2

• 2^{ème} lettre :

La seconde lettre concerne la nature de l'influence extérieure ou encore la nature du risque :

- **A** :Température
- **D** :Présence d'eau
- **G** :Chocs mécaniques
- Le chiffre précise la classification

Exemple

AD 1 : présence d'eau négligeable

AD 7: immersion dans l'eau

A : ENVIRONNEMENTS :

AA	TEMPERATURE AMBIANTE
AB	HUMIDITE DE L'AIR
AC	ALTITUDE
AD	PRESENCE D'EAU
AE	PRESENCE DE CORPS SOLIDES
AF	PRESENCE DE SUBSTANCES CORROSIVES OU POLLUANTES
AG	CONTRAINTES MECANIQUE - CHOCS
AH	VIBRATIONS
AJ	AUTRES CONTRAINTES MECANIQUES (A L'ETUDE)
AK	PRESENCE DE FLORE OU DE MOISSURES
AL	PRESENCE DE FAUNE
AM	INFLUENCES ELECTROMAGNETIQUES, ELECTROSTATIQUES OU IONISANTES
AN	RAYONNEMENTS SOLAIRES
AP	EFFETS SISMIQUES
AQ	FOUDRE
AR	MOUVEMENT DE L'AIR
AS	VENT

Codes	
Nombre	Normal*
8	4/5
8	4/5
2	1
8	1
4	1
4	1
4	1
3	1
-	-
2	1
2	1
6	1
2	1
4	à l'étude
3	à l'étude
3	
3	
5	1
3	1
4	2
4	1
4	1

B : UTILISATIONS :

BA	COMPETENCE DES PERSONNES
BB	RESISTANCE ELECTRIQUE DU CORPS HUMAIN
BC	CONTACTS DES PERSONNES AVEC LE POTENTIEL DE TERRE
BD	EVACUATION DES PERSONNES EN CAS D'URGENCE
BE	NATURE DES MATIERES TRAITEES OU ENTREPOSEES

Chapitre 2

C :CONSTRUCTION DES BATIMENTS :

CA MATERIAUX DE CONSTRUCTION (COMBUSTIBILITE)
CB STRUCTURE DES BATIMENTS

2	1
4	1

***Conditions normales**

3. INDICE DE PROTECTION

3.1. Introduction

Il ne suffit pas qu'un matériel réponde aux exigences fonctionnelles qui lui sont assignées. Il faut aussi le protéger contre les influences externes qui pourraient lui être nuisibles, et s'assurer qu'il n'est pas dangereux pour son utilisateur ou pour son environnement.

Différents moyens peuvent être utilisés, séparément ou en combinaison, pour satisfaire cette dernière exigence. Ils se ramènent tous à l'une des méthodes suivantes :

- la mise hors de portée par éloignement en hauteur ou horizontalement par exemple au moyen d'un obstacle,
- l'isolation solide totale utilisée en particulier pour les câbles mais qui s'applique mal lorsqu'il y a des pièces en mouvement,
- la mise sous enveloppe, objet de ce cahier.

Cette dernière méthode présente l'avantage de permettre de répondre facilement à l'autre exigence, la protection du matériel contre certaines influences telles que :

- la pénétration de corps étrangers qui viendraient perturber le fonctionnement mécanique ou électrique. On trouve parmi eux aussi bien le sable et la poussière que les petits animaux et les insectes volants ou rampants,
- eau et autres liquides qui viendraient altérer les isolations et provoquer des dégradations,
- impacts mécaniques qui pourraient déformer ou briser des parties fragiles,
- gaz corrosifs de l'environnement,
- champs électromagnétiques rayonnés,
- radiations diverses, dont la lumière.

Constituant un support, l'enveloppe permet aussi de réaliser des ensembles d'appareils complémentaires et coordonnés. C'est donc la méthode de protection la plus répandue. Elle est utilisée aussi bien pour des matériels

électroniques ou informatiques que pour des matériels électro-domestiques ou pour des équipements à basse ou à haute tension ou pour des machines tournantes. L'enveloppe peut être partie intégrante du matériel ou construite

séparément et vendue vide à un tableautier. Elle peut être faite de différents matériaux : métallique ou synthétique, isolant ou conducteur.

Pour saisir la portée réelle des normes, il est indispensable de se reporter aux définitions du vocabulaire utilisé, définitions elles-mêmes normalisées pour un domaine considéré. Voici donc quelques termes utilisés lorsqu'il est question de protection par enveloppe de matériel électrique :

Chapitre 2

3.2. Définition

Vocabulaire Electrotechnique Internationale (VEI 826-03-12)

- Enveloppe : « Élément assurant la protection des matériels contre certaines influences externes et, dans toutes les directions, la protection contre les contacts directs ».

La CEI 60529 ajoute les notes suivantes :

- 1) les enveloppes assurent la protection des personnes et des animaux contre l'accès aux parties dangereuses,
- 2) les barrières, formes d'ouverture ou tous autres moyens qu'ils soient solidaires de l'enveloppe ou formés par le matériel interne appropriés pour empêcher ou limiter la pénétration des calibres d'essai spécifiés sont considérés comme une partie de l'enveloppe, sauf s'il est possible de les enlever sans l'aide d'une clé ou d'un outil ».

Ainsi les enveloppes protègent contre les contacts directs. Leur réalisation peut aussi contribuer à la protection contre les contacts indirects lorsque la continuité des masses est assurée.

Certaines normes de produit donnent ainsi un choix de degrés de protection à utiliser dans une direction ou dans l'autre. En ce qui concerne la protection procurée par les enveloppes de l'appareillage électrique, la normalisation internationale définit actuellement deux codes : le code IP et le code IK.

Le code IP est décrit par la publication 60529 de la Commission Electrotechnique Internationale. IP signifie « **I**nternational **P**rotection ». Ce code permet de décrire les degrés de protection procurés par les enveloppes contre l'approche de parties dangereuses, la pénétration de corps solides étrangers et contre les effets nuisibles de l'eau, au moyen des chiffres et des lettres décrits ci-dessous.

Ce code normalisé est destiné à être utilisé par les normes de produits. Il peut aussi être utilisé pour caractériser une enveloppe vide.

Les lettres **IP** du code sont suivies de deux chiffres indépendants et parfois de lettres. Lorsque le degré de protection correspondant à l'un des chiffres n'est pas précisé (qu'il ne soit pas nécessaire ou qu'il ne soit pas connu) il est remplacé par un **X**.

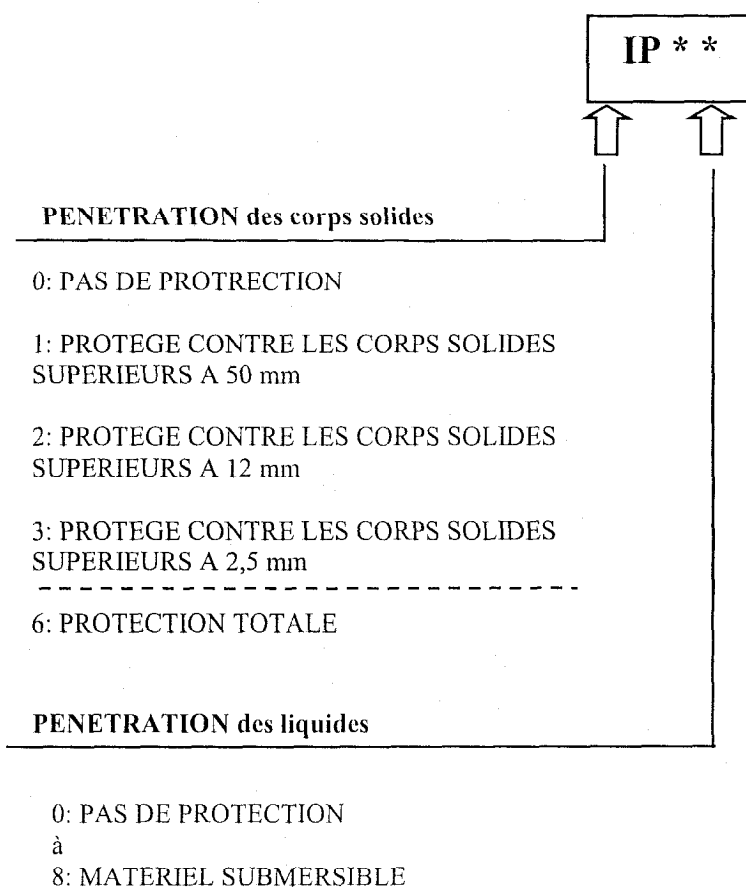
Chapitre 2

3.3 Matériels

Pour les influences externes codifiées:

- AD – présence d'eau,
- AE – présence de corps solides.

Le tableau 51A de la norme définit des indices de protection des matériels : IP (NF C20-010)



Chapitre 2

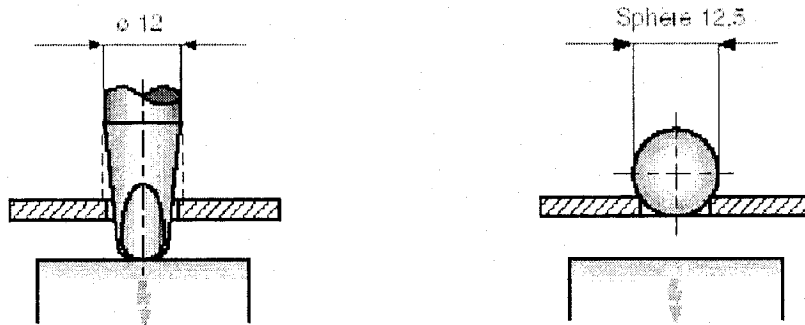
Premier chiffre

Par suite de décisions prises pour des éditions antérieures de la norme trop lourdes à remettre en cause, le premier chiffre caractéristique indique **simultanément** :

- la protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses
- la protection des matériels contre la pénétration des corps étrangers.

Les différents degrés correspondent aux protections suivantes :

- **IP 1X** : il s'agit d'un grillage ou d'une enveloppe dont la plus grosse ouverture ne permet pas le passage d'une bille de 50 mm de diamètre. Cela correspond approximativement au passage de la main



La bille n'entre pas, mais le bout du doigt touche la partie sous tension, d'où IP 1X (selon la norme CEI 60529).

- **IP 2X** : le grillage de protection a des mailles plus fines et le diamètre du calibre-objet est de 12,5 mm. De plus, le « doigt d'épreuve articulé » doit rester à distance suffisante des parties dangereuses.
- **IP 3X** : l'enveloppe ne doit pas laisser pénétrer les corps étrangers de plus de 2,5 mm de diamètre. L'essai est fait avec un fil d'acier à l'extrémité ébavurée. parce que le maniement d'une bille de 2,5 mm serait malaisé.
- **IP 4X** : comme le degré précédent en remplaçant 2,5 mm par 1 mm.
- **IP 5X et IP 6X** : ces deux degrés correspondent à la protection contre la pénétration des poussières. IP 5X permet la pénétration de poussières là où elles ne sont pas nuisibles. L'IP 6X ne tolère aucune pénétration de poussière.

Chapitre 2

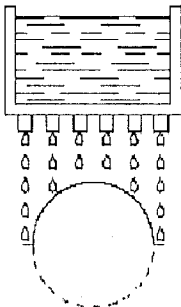
Deuxième chiffre

Le deuxième chiffre caractéristique du code IP indique le degré de protection contre les effets nuisibles de la pénétration de l'eau.

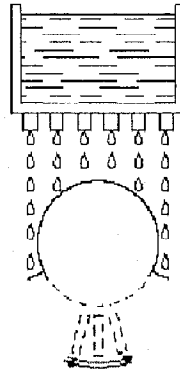
Les différents degrés du deuxième chiffre correspondent aux situations suivantes :

- **IP X1** : ce premier degré correspond à la protection contre les chutes verticales d'eau auxquelles peuvent être exposés des matériels d'intérieur par suite de fuite ou de gouttes de condensation sur le plafond de la pièce ou sur des tuyaux passant au dessus de l'enveloppe.
- **IP X2** : ce degré correspond aussi à des chutes d'eau, mais avec un plus grand débit et sous un angle allant jusqu'à 15°. C'est le cas, par exemple, du matériel embarqué sur les navires.
- **IP X3** : ce degré correspond à l'étanchéité à la pluie. L'angle maximal d'arrosage est de 60° par rapport à la verticale. Le bas de l'enveloppe peut être ouvert. L'essai peut être fait avec un arceau
- **IP X4** : pour ce degré de protection, le débit de chaque gicleur est le même que pour le degré précédent, mais il y en a sur 180° ; de plus l'arceau oscille de $\pm 180^\circ$ de sorte que l'eau est projetée dans toutes les directions. C'est l'essai de tenue à la forte pluie et aux éclaboussures.
- **IP X5 et IP X6** : ce sont des degrés d'étanchéité à la lance simulant les jets d'eau, les paquets de mer, etc. Les conditions d'essais sont plus sévères pour le degré 6 que pour le degré 5 : diamètre de buse et débit d'eau plus importants.
- **IP X7 et IP X8** ne correspondent plus à des projections d'eau, mais à des immersions fugitive ou permanente. Aussi, les enveloppes satisfaisant à ces degrés doivent-elles porter un double marquage si elles répondent également à un degré inférieur, par exemple : IP X5/X7 (un seau plongé dans l'eau à l'envers a un IP X8 mais pas IP X4).

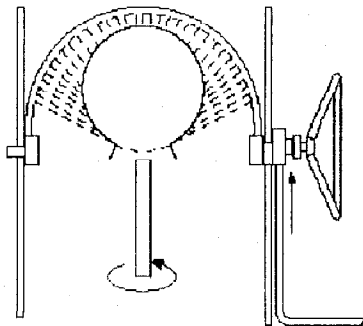
Chapitre 2



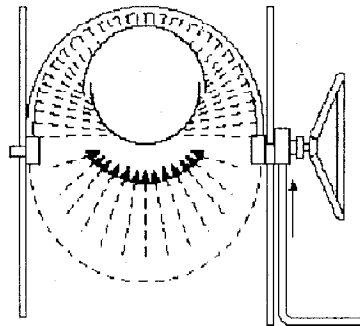
IP X1 : protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau.



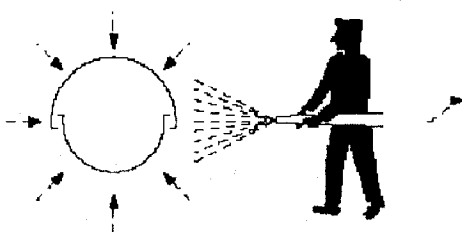
IP X2 : protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale.



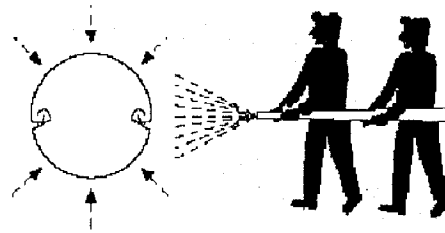
IP X3 : protégé contre l'eau en pluie.



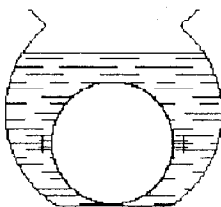
IP X4 : protégé contre les projections d'eau.



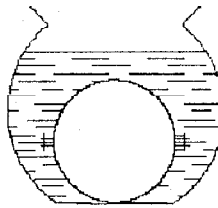
IP X5 : protégé contre les jets d'eau.



IP X6 : protégé contre les paquets de mer et projections assimilable.



IP X7 : protégé contre les effets d'une immersion temporaire.



IP X8 : protégé contre les effets d'une immersion prolongée (essai sur accord particulier).

Chapitre 2

3.4 Personnes

La CEI 529 permet de définir un indice de protection des personnes contre l'accès à des PARTIES DANGEREUSES (actives, tournantes...) par addition d'une lettre supplémentaire à l'indice IP.

LETTRE ADDITIONNELLE à l'indice de protection des matériels

A : Protégé contre pénétration du dos de la mains (Essai: sphère \varnothing 50 mm)

B : Protégé contre pénétration du doigt (Essai: doigt articulé \varnothing 12 mm – L80 mm)

C : Protégé contre pénétration d'un outil (Essai: tige \varnothing 2,5 mm – L100 mm)

C : Protégé contre pénétration d'un fil (Essai: tige \varnothing 1 mm – L100 mm)

**Conditions
d'essais**

H: Haute tension
M: Matériel en mouvement
S: Matériel stoppé
W: Protéger contre les intempéries

Exemples :

- Protection pénétration corps solides

IP 2*

Sphère \varnothing 12,5 mm

- Protection complémentaire des personnes

IP 2* C

Pas de contact avec une partie dangereuse au moyen d'un outil de \varnothing 2,5 mm pour une possibilité de pénétration maximale de 100 mm

Chapitre 2

3.5. Le code IK

3.5.1 Introduction

Certains pays avaient ressenti le besoin de codifier aussi la protection procurée par les enveloppes contre les impacts mécaniques. Pour cela ils ajoutaient un troisième chiffre caractéristique au code IP (cas de la Belgique, de l'Espagne, de la France et du Portugal). Mais depuis l'adoption de la CEI 60529 comme norme européenne, aucun pays européen ne peut avoir un code IP différent. D'où la création de la norme européenne EN 50102 : code IK.

Comme les troisièmes chiffres des différents pays pouvaient avoir des significations différentes et qu'il a fallu introduire des niveaux supplémentaires pour couvrir les principaux besoins des normes de produit, les degrés du code IK ont une signification différente de celle des anciens troisièmes chiffres.

Pour limiter les confusions, chaque nouveau degré est indiqué par un nombre à deux chiffres.

3.5.2 Degrés de protection

Les degrés de protection correspondent à des niveaux d'énergies d'impact exprimés en joules. Il faut distinguer un « impact », action d'un marteau appliquée directement sur un matériel, d'un « choc » transmis par les supports et exprimés en termes de vibrations donc en fréquence et accélération.

Le tableau ci-dessous présente les différents degrés de protection contre les impacts mécaniques en fonction du type de marteau (marteau pendulaire, marteau à ressort ou marteau à chute libre verticale) utilisé pour les essais.

Code IK	IK 01	IK 02	IK 03	IK 04	IK 05	IK 06	IK 07	IK 08	IK 09	IK 10
Energie joules	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20
Rayon mm (1)	10	10	10	10	10	10	25	25	50	50
Matière (1) A = Acier (2) P = Polyamide (3)	P	P	P	P	P	P	A	A	A	A
Marteau										
■ pendulaire	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
■ à ressort	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	non
■ vertical	non	non	non	non	non	non	oui	oui	oui	oui

(1) de la tête de frappe

(2) Fe 490 selon ISO 1052, de dureté HRE 80 à 85 selon ISO 6508

(3) de dureté HRR 85 à 100 selon ISO 2039-2

3.6. Application à la conception des matériels électriques

Ces notions de protection ont une grande influence sur la conception des différents matériels, car la protection doit être assurée non seulement par l'enveloppe extérieure, mais également par les enveloppes ou parties d'enveloppes intérieures (cloisons, volets, etc).

Le degré de protection des personnes doit donc être défini également pour les parties internes qui peuvent, à l'occasion d'une manœuvre, être à l'origine d'un contact direct comme par exemple lors du débouchage d'un disjoncteur.

En outre, même si une enveloppe confère le degré de protection requis, encore faut-il qu'elle ne puisse pas être enlevée partiellement ou totalement. La question ne se pose pas pour des matériels tels que moteurs, transformateurs, etc, mais elle est de première importance pour les tableaux dont certains compartiments doivent être accessibles en exploitation.

Dans ce cas on considère deux sortes de compartiment :

- ceux dans lesquels on ne pénètre qu'exceptionnellement (jeux de barres) et pour lesquels on peut se contenter de capots boulonnés. La manœuvre d'ouverture n'étant pas simple, on suppose qu'elle sera accompagnée de précautions dictées par des consignes de sécurité.
- ceux pouvant être ouverts lors de manœuvres normales d'exploitation. Ils sont fermés généralement par des portes qui sont alors verrouillées ou bloquées par un système annexe d'asservissement qui vient compléter la protection assurée par l'enveloppe. Il ne faut pas non plus, au cours de toutes ces opérations d'entretien et d'exploitation, que la continuité électrique de l'enveloppe puisse être mise en défaut quelle que soit la position du matériel.

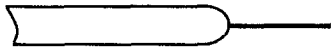
3.7. Conclusion

Pour donner satisfaction, tout matériel électrique doit être conforme à sa norme de fabrication. Mais cette norme utilise les normes horizontales, en particulier celles qui traitent des degrés de protection.

4. CODIFICATION DES CANALISATION ELECTRIQUES

4.1. Définition

Canalisation : Ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques et les éléments assurant leur fixation et' le cas échéant, leur protection mécanique.

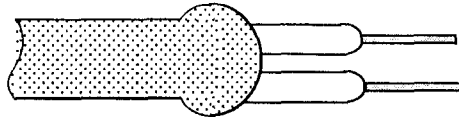


Conducteur (isolé) : Ensemble comprenant l'âme, son enveloppe isolante et ses écrans éventuels



Conduits (circulaires) : Enveloppe fermée, de section droite circulaire, destinée à la mise en place ou au placement de conducteurs isolés ou de câble par tirage, dans les installations électriques.

Conduits profilés : Ensemble d'enveloppe fermées, de section non circulaire, destinées à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câble par tirage, dans les installations électriques.



Câble (isolé) : Ensemble constitué par :

- Un ou plusieurs conducteurs isolés,
- Leur revêtement individuel éventuel,
- La protection d'assemblage éventuelle,
- Le ou les revêtements de protection éventuels.

Il peut comporter en plus un ou plusieurs conducteurs non isolés

Câble unipolaire : Câble comprenant un seul conducteur isolé. Le terme câble unipolaire est plus particulièrement utilisé pour désigner le câble constituant l'une des phases d'un système polyphasé.

Câble multipolaire : Câble comprenant plus d'une âme. Le terme câble multipolaire est plus particulièrement utilisé pour désigner le câble constituant les phases d'un système polyphasé (exemple : câble tripolaire).

4.2. Repérage des conducteurs isolés

Les conducteurs isolés utilisés comme conducteurs de protection (PE, PEN, LEP, LES ou LEL) doivent être repérés par la double coloration vert-jaune.

De même tout conducteur portant cette double coloration par fabrication ne peut être affecté qu'à l'un ou l'autre de ces usages.

Lorsqu'une canalisation comporte un conducteur repéré en bleu clair et le neutre est nécessaire, ce conducteur doit être affecté à cette fonction.

Chapitre 2

4.3. Tableau des conducteurs et câbles normalisés

TABLEAU 52GA (Extrait commentaires Norme NF C15-100)

N°	Designation		Normes NF C	Tension assignée	Suspense	Revêtements	Parois- ribés	Section (mm²)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
CÂBLES ISOLÉS AUX ELASTOMERES (FAMILLE PE)								
1	U 1000	R12N	32-320	600/1000	R	R	(**C2-II	1,5-630
2	U 1000	R12V	32-321	600/1000	R	T	(**C2-II	1,5-630
3	U 1000	R12V	32-322	600/1000	R	TAT	(**C2	1,5-300
4	U 1000	R12TV	32-111	600/1000	R	PAT	(**C2	1,5-300
5	H07	RN-F	32-102	450/750	S	R	C2-II	1,5-500
	FR-N07	RN-F	32-104	450/750	S	R	C2-II	1,5-4
	A07	RN-F	32-130	450/750	S	R	C2-II	1-300
6	FR-N1	X1X2	32-323	600/1000	R	R	C1-SH-II	1,5-630
7	FR-N1	X1G1	32-323	600/1000	R	T	C1-SH-II	1,5-630
8	FR-N1	X1X2/2X2	32-323	600/1000	R	RAR	C1-SH	1,5-300
9	FR-N1	X1G1/24G1	32-323	600/1000	R	TAT	C1-SH	1,5-300
10	FR-N07	X4X5-F	32-131	450/750	S	R	C1-SH-II	1,5-500
11	J5N	Tessalon	32-309	600/1000	R	R	C3-Ab	10-130
12	FR-N1	X2V-AR						
		AS-AU	32-210	600/1000	R	AT	C2-Ab	10-240
		RN-F	32-102	300/500	S	R	C2-I	0,75-1
13	H05	RN-F	32-120	300/500	S	R	C2-II	0,5-1
	A05	RN-F	32-120	300/500	S	R	C2-II	0,5-1
14	H05	RR-F	32-102	300/500	S	R	C3-I	0,75-6
	A05	RR-F	32-102	300/500	S	R	C3-I	0,75-6
CÂBLES ISOLÉS AU POLYCHLORURE DE VINYLE (FAMILLE PVC)								
21	FR-N05	VV-U-R	32-207	300/500	R	T	C2-II*	1,5-35
21b	FR-N05	VV-AR	32-207	300/500	R	T	C2-II-Ab	10-35
22	FR-N05	VL2V-U-R	32-207	300/500	R	JT	C2	1,5-25
23	H07	VV2L-F	32-202	450/750	S	T	C2-M-II	1,5-16
24	H07	VV2H2-F	32-202	450/750	S	T	C2-MP	1,5-16
25	H05	VV-F	32-201	300/500	S	T	C2-II*	0,75-1
26	H05	VVH1-F	32-201	300/500	S	T	C2-M-II*	0,75
27	FR-N05	VVS-F	32-206	300/500	S	T	C2-II*	0,5-30
28	FR-N05	VVC4V5-F	32-206	300/500	S	T-E	C2	0,5-2,5
29	A05	VV-F	32-220	300/500	S	T	C2-II*	0,75-4
30	A05	VVH2-F	32-220	300/500	S	T	C2-M-II*	1
CONDUCTEURS ISOLÉS								
41	H07	V-U-R	32-301	450/750	R	-	C2	1,5-400
42	H07	V-K	32-301	450/750	S	-	C2	1,5-240
43	FR-N07	V-AU	32-203	450/750	R	-	C2-Ab	10-15
44	FR-N07	V-AR	32-203	450/750	R	-	C2-Ab	10-400
45	H05	V-U	32-301	300/500	R	-	C2	0,5-1
46	H05	V-K	32-301	300/500	S	-	C2	0,5-1
47	FR-N05	G2-U-R	32-191	300/500	R	-	C1-SH	0,5-1
48	FR-N05	G2-K	32-191	300/500	S	-	C1-SH	0,5-1
49	H05	S1-K	32-102	300/500	S	-	C2-TV	0,5-16
50	FR-N07	X3-U-R	32-130	450/750	R	-	C1-SH	1,5-30
51	FR-N07	X3-K	32-130	450/750	S	-	C1-SH	1,5-30
52	H07	G-U-R	32-105	450/750	R	-	C2	0,5-95
53	H07	G-K	32-105	450/750	S	-	C2	0,5-95
CONDUCTEURS À ISOLANT MINÉRAL								
61	U1000	X	32-300	600/1000	R	-	CR1	1,5-4
62	U1000	X	32-300	600/1000	R	T	CR1	1,5-150
63	U500	XV	32-300	300/500	R	-	CR1	1,5-4
64	U1000	XV	32-300	600/1000	R	T	CR1	1,5-150
CONDUCTEURS RÉSISTANTS AU FEU								
65	-	-	32-310	-	R	-	CR1	1,5-240
CÂBLES À TRÈS BASSE TENSION								
71	U50	VV	32-209	50	R	T	C2	0,12-0,75

(**) Existe aussi âme en aluminium pour les sections supérieures ou égales à 10 mm².

NOTE : Les câbles 5 (H07, FR-N07), 13 et 14 (H05, FR-N05) (RN-F et RR-F) isolés au caoutchouc admettent une température maximale de fonctionnement de 60°C et sont assimilés à la famille PVC.

Chapitre 2

Dans le tableau 52 GA, les lettres ont la signification suivantes :

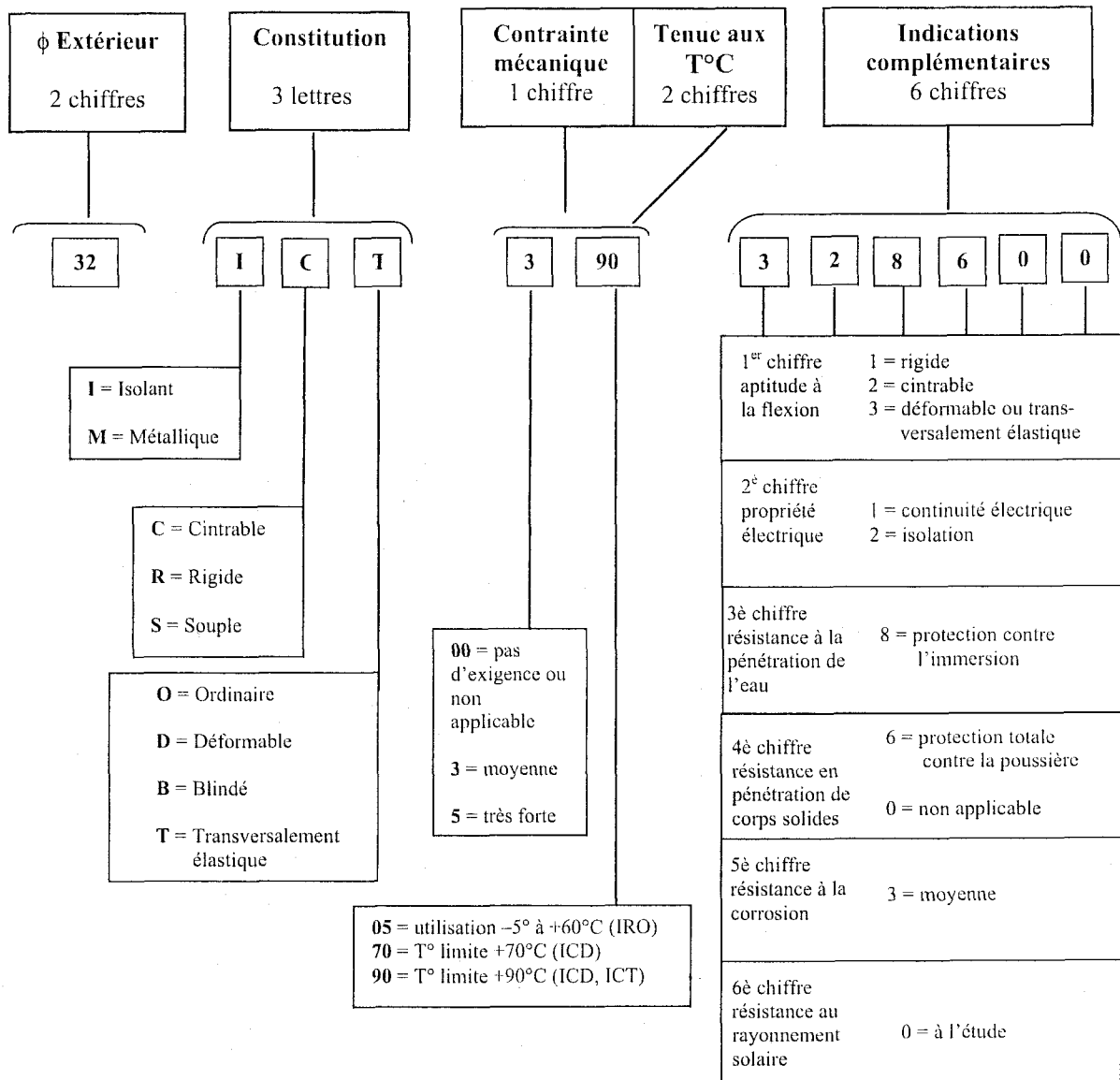
Colonne 2	:	A	Type national reconnu
		H	Type harmonisé
		FR-N	Type national mais avec la désignation international
		U	Type national avec l'ancienne désignation UTE
Colonne 3			Désignation conforme à la norme NFC 30-202
Colonne 5	:		Constituée par l'ensemble de trois valeurs U_0/U (U_m) avec :
		U_0	Tension efficace assignée entre phase et terre
		U	Tension efficace assignée entre phase ($U = U_0\sqrt{3}$)
		U_m	Tension maximale efficace entre phases pour laquelle le câble est conçu
Colonne 6	:	R	Conducteur ou câble rigide
		S	Conducteur ou câble souple
Colonne 7	:	A	Armure
		P	Gaine de plomb
		R	Gaine en matière réticulée
		T	Gaine en matière thermoplastique
		E	Ecran en cuivre
Colonne 8	:	C1	Non propagateur de l'incendie
		C2	Retardant la propagation de l'incendie
		C3	Pas de caractéristiques du point de vue du comportement au feu
		CR1	Résistant au feu
		SH	Sans halogène
		M	Câble méplat
		P	Câble porteur
		TV	Tresse
		II	Câble considéré classe II pour une tension maximale par rapport à la terre de 500 V
		II*	Câble considéré classe II pour une tension maximale par rapport à la terre de 250 V
Colonne 9	:		Sections minimales et maximales : ces indications n'impliquent pas que l'ensemble de la gamme de sections soit réalisé quel que soit le nombre de conducteurs

4.4. Codification des conduits (Publication internationale)

Leur désignation se divise en quatre parties :

- Référence
- Constitution
- Contrainte mécanique et tenue aux températures
- Indications complémentaires

Exemple : 32 ICT 390/328 600



**3-RAPPELS TECHNOLOGIQUES ET REGLEMENTAIRES SUR
L'APPAREILLAGE BT**

RAPPELS TECHNOLOGIQUES ET REGLEMENTAIRES SUR L'APPAREILLAGE BT

SOMMAIRE

1. FONCTIONS GENERALES D'UN APPAREIL	2
1.1. SECTIONNEMENT	2
1.2. COUPURE	2
1.3. COMMANDE	2
1.4. PROTECTION SURINTENSITES	2
2. CARACTÉRISTIQUES DES DISJONCTEURS	2
2.1. DEFINITIONS	2
2.3. DISJONCTEURS D'USAGE GENERAL (NF C 63-120)	4
2.4. DISPOSITIF DIFFERENTIEL A COURANT RESIDUEL (DDR)	5
2.5. COORDINATION DES PROTECTIONS	6
2.5.1. <i>Sélectivité</i>	6
2.5.2. <i>La filiation</i>	10
2.5.3. <i>Pouvoir de limitation</i>	10
2.6. CHOIX D'UN DISJONCTEUR MAGNETO-THERMIQUE	11
3. CARACTERISTIQUES DES FUSIBLES	12
4. DEPART MOTEUR	13
4.1. ROLE	13
4.2. FONCTION DE BASE	13
4.3. SCHEMAS TYPE D'UN DEPART MOTEUR	14
5. ANNEXES	15

1. FONCTIONS GENERALES D'UN APPAREIL

1.1. Sectionnement

- Mise hors tension,
- Séparation de la source d'énergie,
- But : assurer la sécurité lors d'opérations (travaux ou interventions).

1.2. Coupure

- coupure d'urgence
* But : interruption rapide de l'alimentation en cas de danger d'ordre électrique.
- coupure pour entretien mécanique
* But : éviter les dangers autres qu'électriques lors de travaux sur le matériel.

1.3. Commande

- Assure en service normal la mise en circuit ou hors circuit d'une installation.

1.4. Protection surintensités

- Surcharges
- Courts-circuits

2. CARACTÉRISTIQUES DES DISJONCTEURS

2.1. Définitions

Désignation	Définition	Symbole	Unité
Courant nominal	Valeur du courant d'après laquelle sont déterminées les conditions de fonctionnement du dispositif de protection	I_n	A
Courant de réglage	Valeur du courant fixant le seuil de déclenchement	I_r (I_{rth}) I_m	A
Pouvoir de coupure	Valeur du courant que le dispositif de protection est capable d'interrompre, sous une tension spécifiée et dans les conditions prescrites d'emploi et de fonctionnement	Pdc	A

I_r : déclenchement thermique

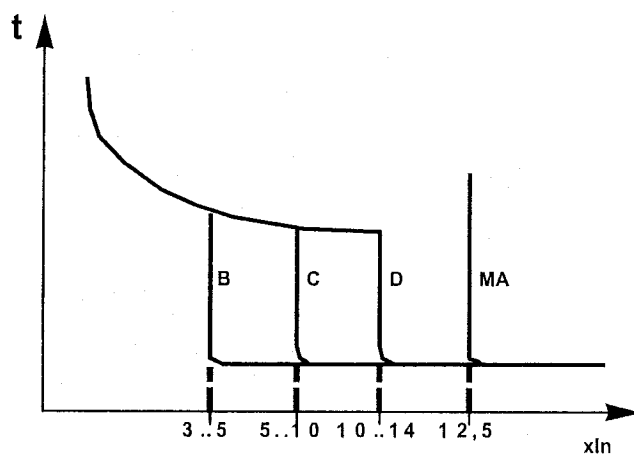
I_m : déclenchement magnétique


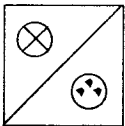
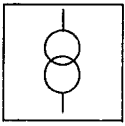
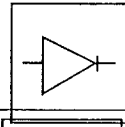
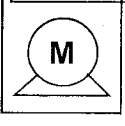
2.2. Petits disjoncteurs

$I_n \leq 125 \text{ A}$ (NFC 61-400 et NF EN 60-893 classement C61-400)

Il sont définis par :

- leur courant assigné : I_n
- leur taille
- leur courbe de fonctionnement (déclencheur magnétique)



Courbe B		<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement : 3 à 5 fois le courant nominal (I_n); protection des générateurs, personnes, câbles de grande longueur; pas de pointes de courant
Courbe C		<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement : 5 à 10 I_n; protection des circuits (éclairage, prises de courant), applications générales
Courbes D et K		<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement : 10 à 14 I_n; protection des circuits à fort appel de courant; transformateurs, moteurs
Courbe Z		<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement : 2,4 à 3,6 I_n; protection des circuits électroniques
Courbe MA		<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement : 12 I_n; protection des démarreurs de moteurs (pas de protection thermique)

- leur pouvoir de coupure

deux valeurs de pouvoir de coupure sont données

- * NF C 61-400 utilisation domestique,
- * NF C 63-120 utilisation industrielle.

2.3. Disjoncteurs d'usage général (NF C 63-120)

Ils sont définis par

- leur calibre I_n ,
- le relais thermique réglable en général (0,6 à 1 I_n thermique ou I_r),
- le relais magnétique :

Ils sont fixes ou réglables; les valeurs de réglage sont notées:

- soit en ampères ou kiloampères,
- soit en multiples du courant nominal ou de réglage thermique:

$I_r \text{ magn.}$

I_{n+th}

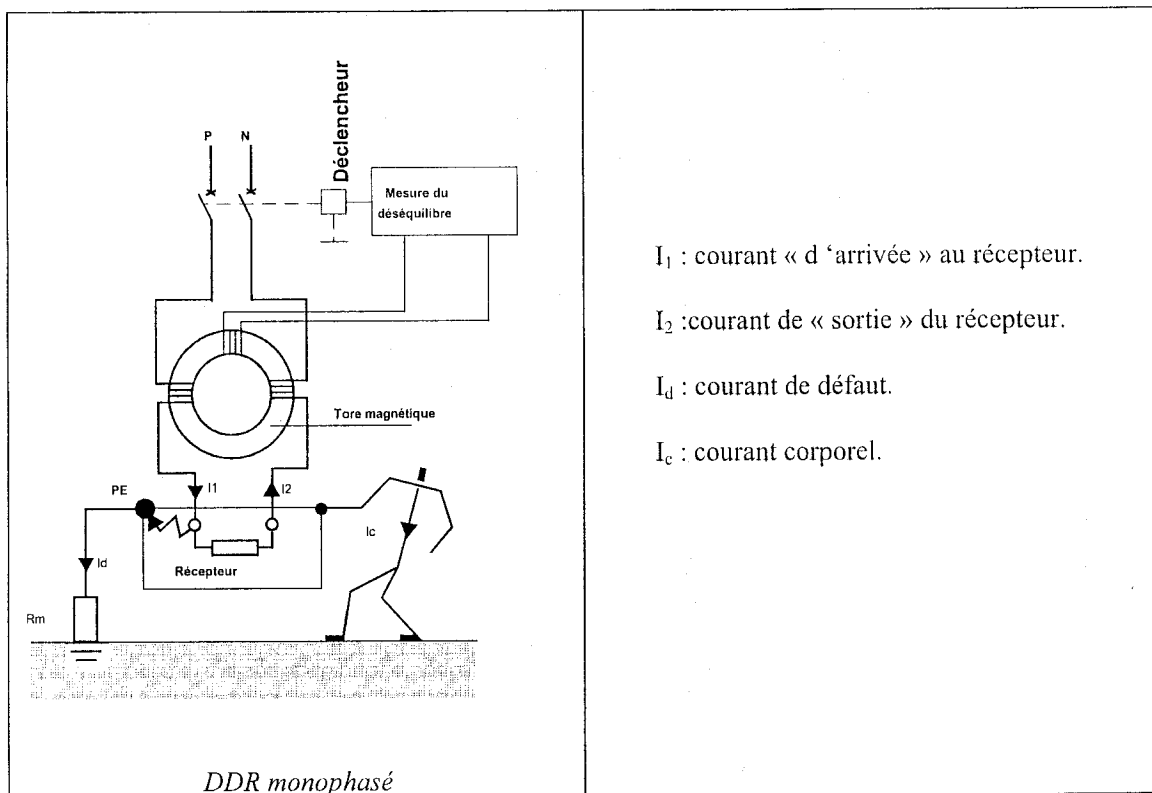
- leur pouvoir de coupure:

2.4. Dispositif différentiel à courant résiduel (DDR)

Les principaux éléments constitutifs d'un DDR sont :

- le *circuit magnétique* en forme de tore sur lequel sont bobinés les enroulements de la partie puissance (fils de grosse section), traversés par le courant d'alimentation du récepteur ;

- le *relais déclencheur* commandé par l'enroulement de mesure (fils fins), également placé sur le tore, agit sur les pôles de coupure.



I_1 : courant « d'arrivée » au récepteur.

I_2 : courant de « sortie » du récepteur.

I_d : courant de défaut.

I_c : courant corporel.

Fonctionnement

• En absence de défaut : $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = 0 \Rightarrow$ pas de déclenchement du DDR

• En cas de défaut : $\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_d$

$\vec{I}_1 \neq \vec{I}_2 \Rightarrow$ déséquilibre dans le tore \Rightarrow induction d'un courant dans la bobine de détection \Rightarrow action du relais \Rightarrow déclenchement.

Le système triphasé est analogue au système monophasé, mais le D.D.R triphasé comprend 5 bobines sur le tore (les 3 phases, le neutre et la bobine de détection).

En absence de défaut, nous avons : $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = \mathbf{0}$, où : I_1, I_2, I_3, I_N représentent respectivement les courants dans la phase 1, la phase 2, la phase 3 et le neutre. Le flux dans le tore magnétique est nul. Il n'y a pas de courant induit dans la bobine de détection.

En présence de défaut, nous avons $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N \neq \mathbf{0}$. Le flux dans le tore est dans ce cas différent de zéro, un courant est induit dans la bobine de détection et celle-ci provoque le déclenchement des pôles de coupure.

Sensibilité d'un DDR

La sensibilité d'un DDR (exprimée en A) est la valeur du courant résiduel de défaut pour lequel le dispositif s'ouvre :

La sensibilité et la plage de déclenchement des dispositifs différentiels couramment utilisés sont données dans le tableau ci-dessous :

SENSIBILITE $I_{\Delta n}$	PLAGE DE DECLENCHEMENT $I_{\Delta n}/2$ à $I_{\Delta n}$
10 mA	entre 5 et 10 mA
30 mA	entre 15 et 30 mA
300 mA	entre 150 et 300 mA
500 mA	entre 250 et 500 mA

Le différentiel peut être du type :

- Instantané à un seul seuil de sensibilité
- Instantané à seuil de sensibilité réglable et déclenchement retardé

Temps de fonctionnement

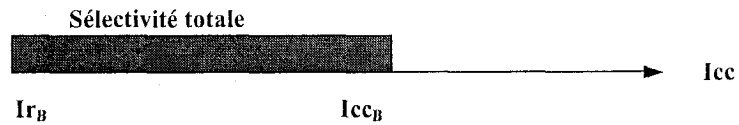
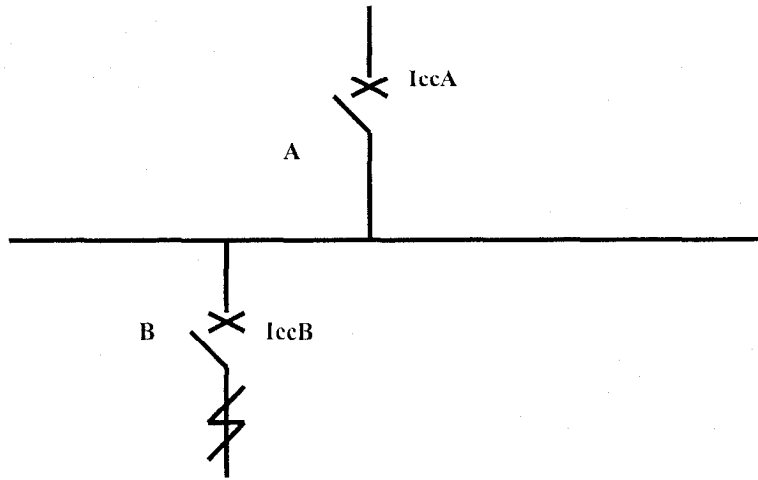
Le temps nécessaire à la coupure est la somme du temps de fonctionnement du dispositif différentiel à courant résiduel et du temps de coupure de l'organe associé (25 ms dans le cas d'un disjoncteur)

2.5. Coordination des protections

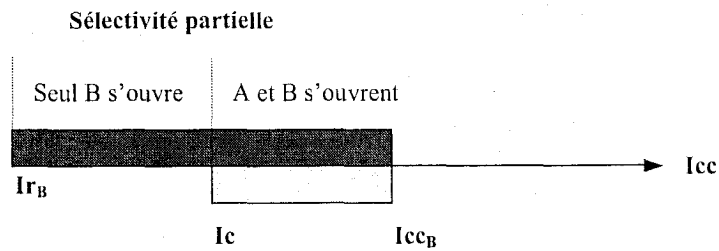
2.5.1. Sélectivité

C'est l'association en série de deux dispositifs de protection en vue d'assurer la coupure par le dispositif aval en cas de défaut.

La **sélectivité** entre deux disjoncteurs A et B est **totale** si B fonctionne seul pour toute la valeur du courant de court-circuit présumée jusqu'au courant de court-circuit franc triphasé au point où il est placé (I_{CCB}).



I_{rB} (Intensité de réglage de B). Pour I_{ccB} , seul B s'ouvre



B fonctionnement jusqu'à un courant présumé de court-circuit I_c , ensuite A et B fonctionnement simultanément.

La **sélectivité** est **partielle** si B fonction seul jusqu'à un courant de court-circuit présumé I_{ccB} . Au-delà de cette valeur, A et B fonctionnent

Le tableaux de sélectivité donnés par les constructeurs indiquent, pour chaque association de deux disjoncteurs si la sélectivité est totale ou partielle. Lorsque la sélectivité est partielle, le tableau indique la valeur minimale du courant de défaut pour laquelle la sélectivité est assurée. Pour les courants de défauts supérieurs à cette valeur, les deux appareils déclenchent simultanément.

Selectivité entre deux dispositifs différentiels

La **sélectivité** peut être obtenue par une coordination de dispositifs **différentiels à courant résiduel** placés en série (sélectivité verticale) :

Pour obtenir une sélectivité totale avec des dispositifs différentiels à courant résiduel, ces appareils doivent satisfaire deux conditions :

1. le courant de non fonctionnement I_{nf} du dispositif placé en amont A doit être supérieur au courant de fonctionnement I_f du dispositif placé en aval B.
2. le temps de non fonctionnement du dispositif placé en amont doit être supérieur au temps de fonctionnement, du dispositif placé en aval, pour toutes les valeurs du courant différentiel de défaut.

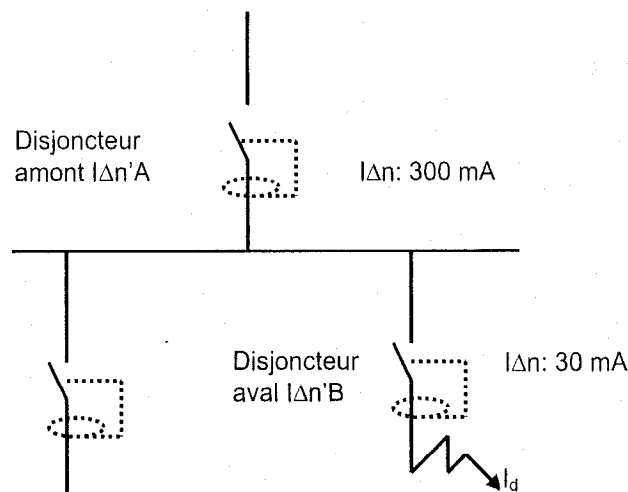
1^{ère} condition : $I_{\Delta n}'/2$ (amont) >: $I_{\Delta n}'$ (aval)

2^{ème} conditions: $tn_f A > tn_f B$

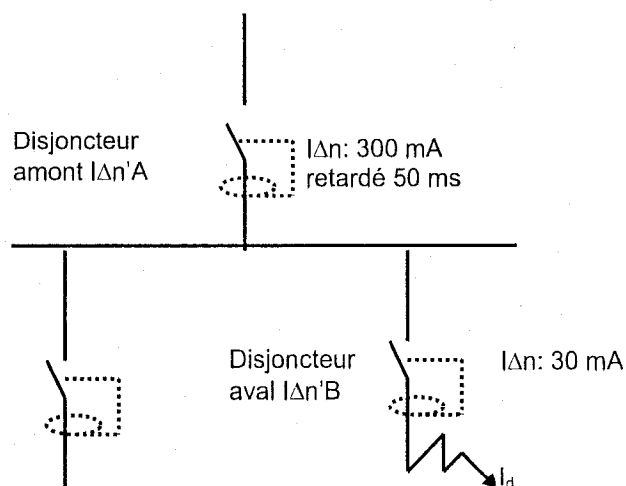
$I_{\Delta n}'$: courant différentiel résiduel assigné.

t_f : temps minimal de fonctionnement du dispositif différentiel

Exemple de sélectivité totale à deux niveaux

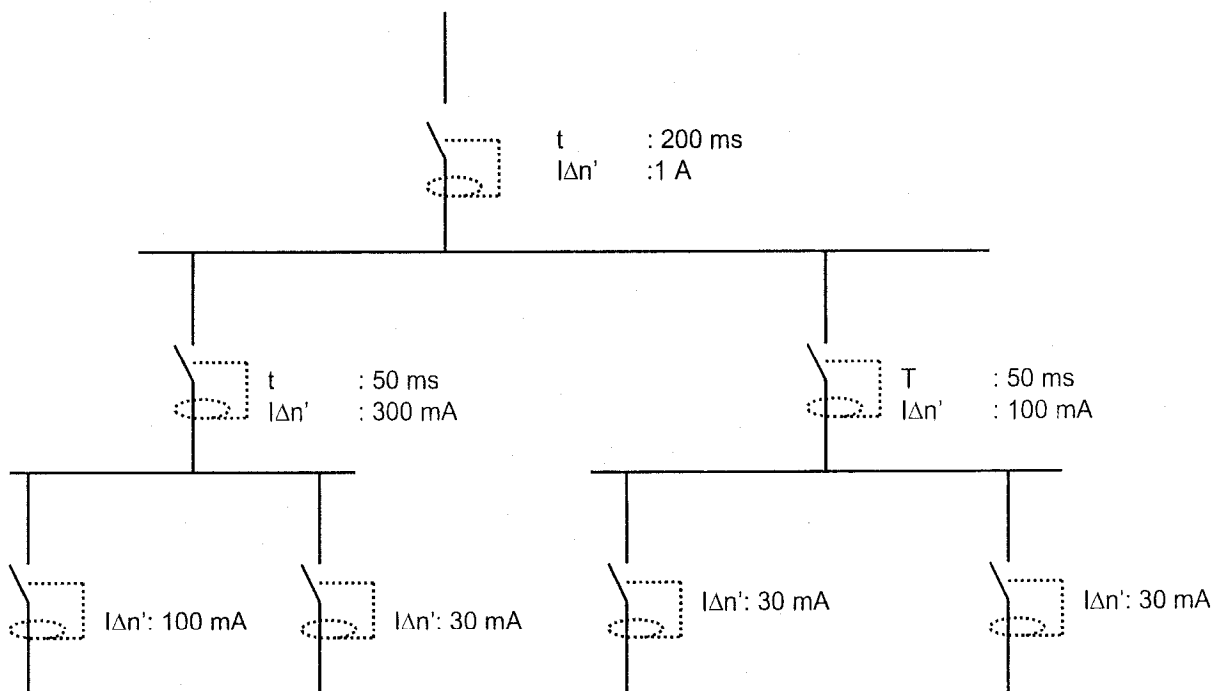


Pour $I_d > 150$ mA la sélectivité de protection n'est pas assurée (sélectivité partielle)



Le fonctionnement de A est retardé. La sélectivité de protection est assurée

Exemple de sélectivité totale à trois niveaux



N.B : Les dispositifs différentiel « haute sensibilité » (30 mA et 10 mA) ne sont jamais retardés.

2.5.2. La filiation

C'est l'association en série de deux dispositifs de protection, le pouvoir de coupure du dispositif amont, permettant de choisir le dispositif avec un PdC inférieur à la valeur I_{cc} .

2.5.3. Pouvoir de limitation

Certains dispositifs de protection contre les surintensités ont la possibilité de couper rapidement les courants de court-circuit, avant que ceux-ci atteignent leur amplitude maximale.

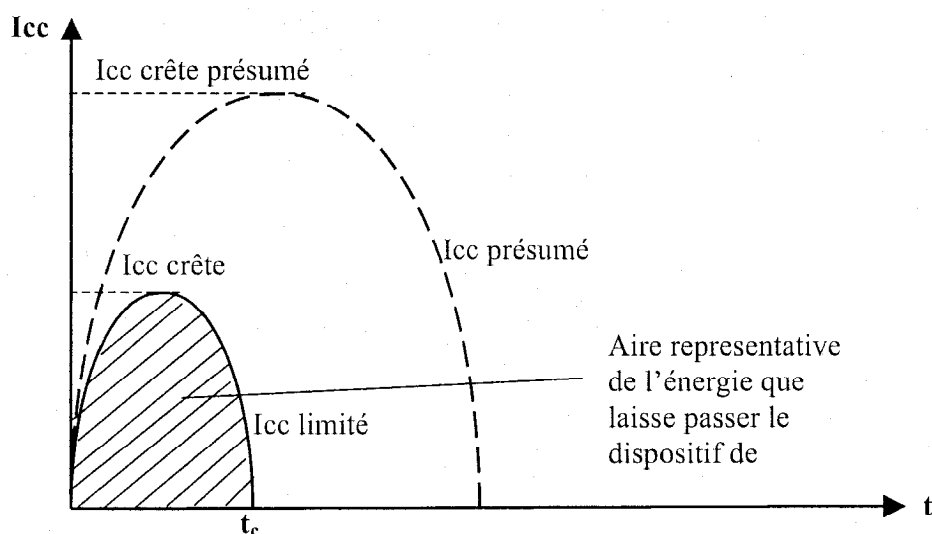
- Les fusibles « industriels » limitent fortement les valeurs des courants de court-circuit.
- Seuls les disjoncteurs rapides (limiteurs) ont le pouvoir de limitation

Méthode d'évaluation

Pour chaque type de protection (fusibles, disjoncteurs), les constructeurs donnent leurs courbes de limitation.

Le pouvoir de limitation peut être donnée de deux manières :

- soit en kA crête si l'on veut vérifier les efforts électrodynamiques,
- soit en énergie (I^2t) pour vérifier la contrainte thermique d'un câble.



2.6. Choix d'un disjoncteur magnéto-thermique

Un disjoncteur est défini par :

- calibre
- pouvoir de coupure
- nombre de pôle
- tension
- courbe déclenchement (nature du récepteur)
- norme
- fréquence

Le choix d'un disjoncteur doit se faire suivant les étapes suivantes ;

Courant nominal (calibre) I_n et courant de réglage thermique (I_r)

- détermination du courant d'emploi (I_B) du circuit considéré
- choix du courant nominal (calibre) I_n et courant de réglage thermique (I_r) en tenant compte du déclassement en température tels que :

$$I_r > I_B \text{ et } I_n \geq I_r$$

Pouvoir de coupure

- détermination du courant de court-circuit aux bornes du disjoncteur (I_{cc})
- choix du pouvoir de coupure (PdC) et le courant de réglage du magnétique (I_m), tels que :

$$Pdc \geq I_{cc} \text{ et } I_m \leq I_{cc}$$

3. CARACTERISTIQUES DES FUSIBLES

Types et utilisations des fusibles "industriels"

TYPE	MARQUAGE	UTILISATION
gI gG	noir	<ul style="list-style-type: none"> • Surcharge, • Court-circuit
aM	vert	<ul style="list-style-type: none"> • Court-circuit

Pouvoir de coupure des principaux fusibles utilisés

DIMENSIONS (mm)	TENSION MARQUEE (Volts)	PdC (kA)
6,3 x 23 8,5 x 23 10,3 x 25,8	250	6
8,5 x 31,5 10,3 x 31,5 10,3 x 38	380 ou 400	20
10 x 38 et plus	500	100

4. DEPART MOTEUR

4.1. Rôle

Assurer :

- la commande et la protection du moteur,
- la protection des câbles,
- la protection mutuelle des constituants du départ.

4.2. Fonction de base

Les normes et les habitudes imposent quatre (04) fonctions de base au départ moteur :

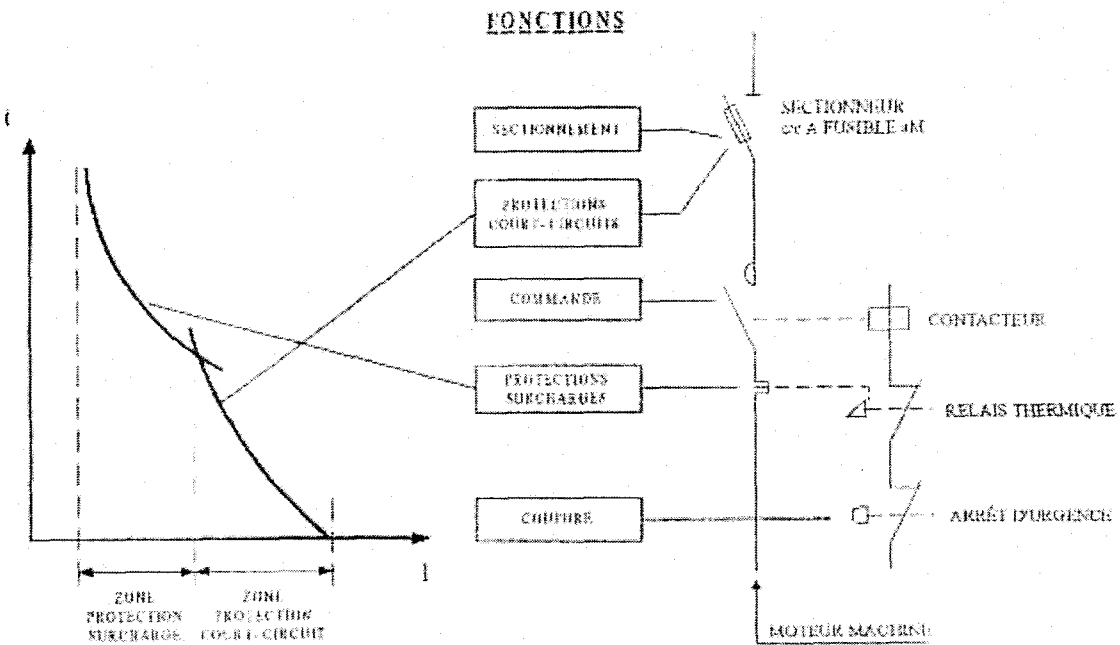
1. Le sectionnement :	isoler du réseau amont	⇒	sécurité des personnes
------------------------------	-------------------------------	----------	-------------------------------

2. La protection contre les court-circuits :	détecter et couper les forts courants	⇒	sécurité de l'installation
---	--	----------	-----------------------------------

3. La protection contre les surcharges :	détecter les courants de surcharges	⇒	sécurité du moteur et du câble
---	--	----------	---------------------------------------

4. La commande de puissance	mettre en marche et en arrêt le moteur	⇒	sécurité et confort des personnes
------------------------------------	---	----------	--

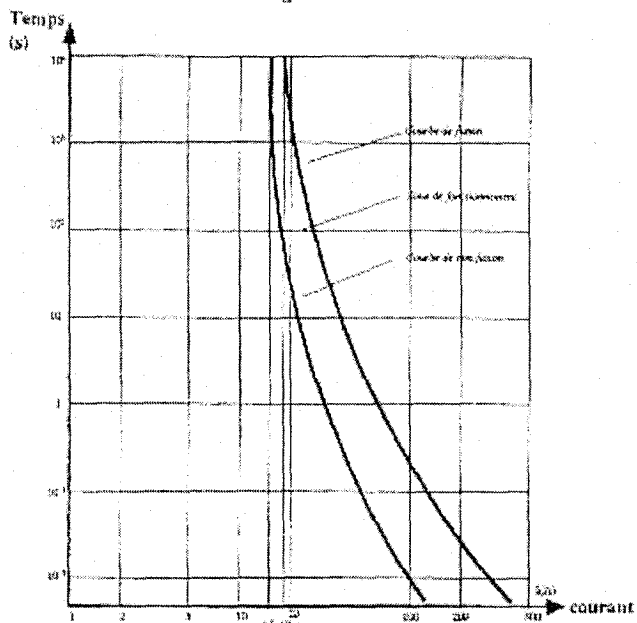
4.3. Schémas type d'un départ moteur



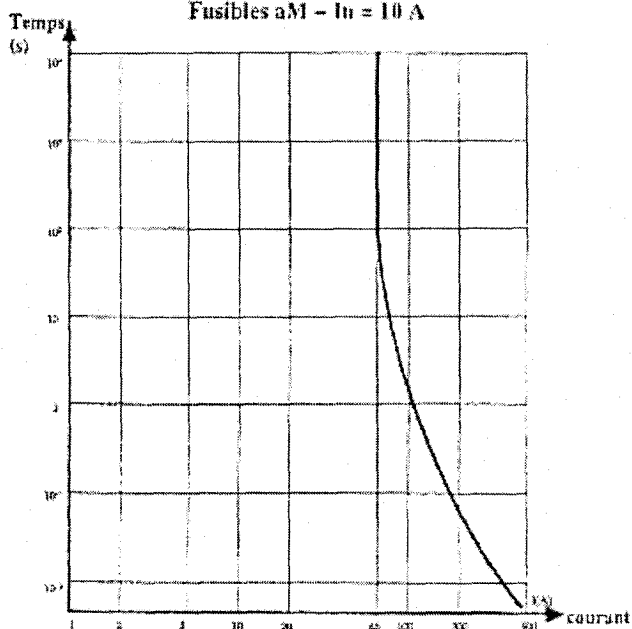
5. ANNEXES

Chapitre 3

Fusibles gI - In = 10 A

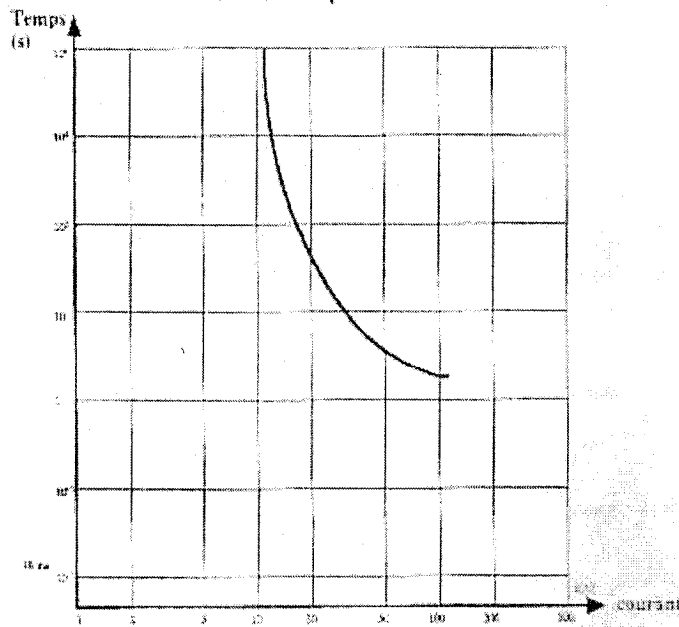


Fusibles aM - In = 10 A

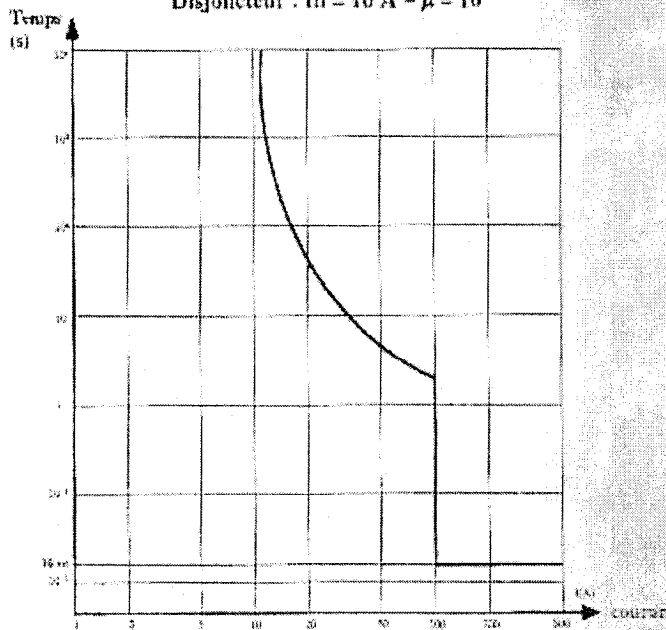


Chapitre 3

Relais thermique : $I_n = 10 \text{ A}$



Disjoncteur : $I_n = 10 \text{ A} - \mu = 10$



4 - METHODOLOGIE DE LA CONCEPTION

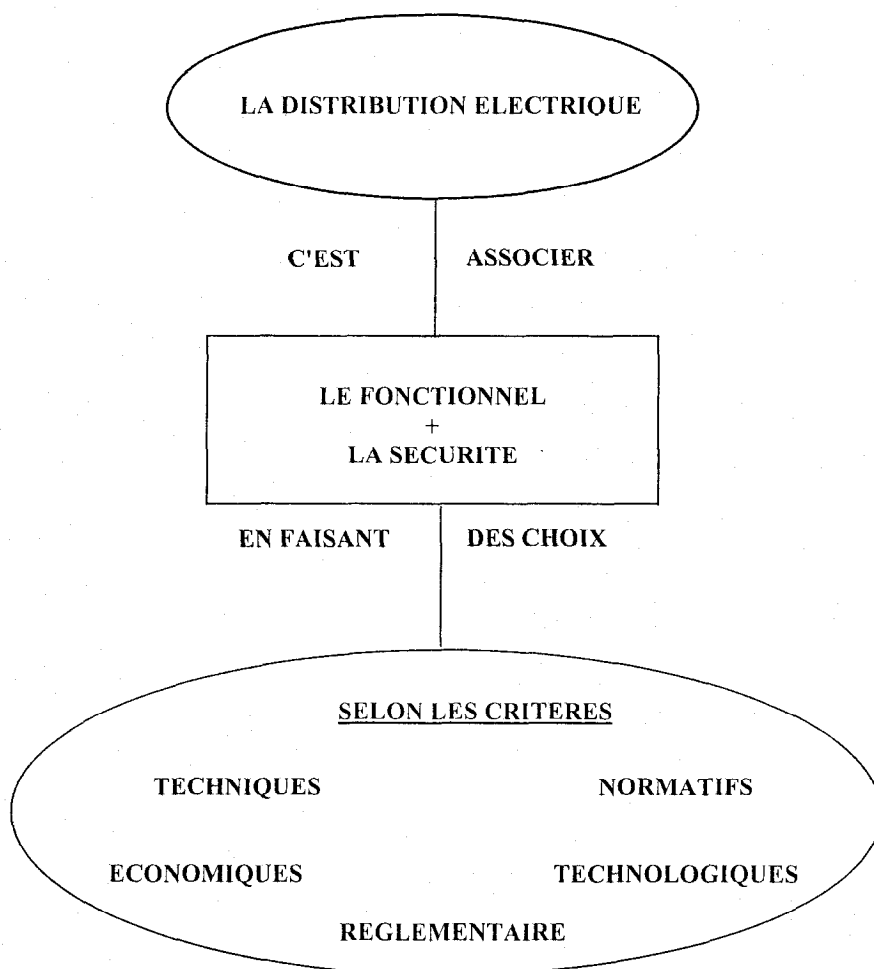
METHODOLOGIE DE LA CONCEPTION

SOMMAIRE

1. PLAN GENERAL D'ETUDE	2
2. DEFINITION DES EQUIPEMENTS TERMINAUX	4
2.1. Définitions	4
2.2. Modalités de calcul	6
3. EVALUATION DE LA PUISSANCE TOTALE INSTALLEE	8
3.1 Division des circuits suivant la NFC 15.100	8
3.1.1. Protection des circuits	9
3.1.2. Tableau de répartition	10
3.1.3. Convention de couleur des conducteurs	10
3.2. Evaluation de la puissance totale	11
3.3. Choix de la puissance de la source d'alimentation normale (réseau public)	13
3.4. Choix de la source de remplacement	13
3.4.1. Structure de la distribution d'une installation avec source de remplacement.....	15

1. PLAN GENERAL D'ETUDE

L'étude d'une installation électrique basse tension doit être conduite dans le souci permanent d'une bonne adaptation aux besoins de l'utilisateur final et compte tenu de la contrainte essentielle du respect du budget. Le critère final de la réussite d'une étude est donc le rapport qualité/prix (technico-financier).



Définition des équipements terminaux

- Le recensement des équipements terminaux utilisant l'énergie électrique en fonction des zones prédéfinies en se basant sur le plan de masse.
- La définition de leurs caractéristiques (puissance, tension, facteur de puissance, triphasé ou monophasé etc.)
- La prise en compte de leur modalité d'utilisation et, en particulier, de leur plage horaire de fonctionnement.
- La prise en compte de leur statut dans l'installation (récepteurs secourus par une source secours ou non)

Evaluation de la puissance totale

- Le regroupement des circuits en armoires divisionnaires
- Le schéma de l'arborescence du réseau
- L'application des coefficients de simultanéité
- La détermination de la puissance appelée des différentes sources

Choix de source d'énergie

- La définition de la nature des sources d'alimentation électriques en fonction de la puissance appelée
- Le choix éventuel d'une source de remplacement
- Le choix du régime du neutre en fonction des conditions d'exploitation et de la nature des installations
- La détermination des caractéristiques des sources (puissance, impédance, courant de court-circuit etc.)

Etude des armoires électriques

- Choix des appareillage de protection en fonction du courant d'emploi, du régime du neutre, du niveau de la sélectivité souhaité, etc.
- La coordination des protections aux différents niveaux
- L'ajout des fonctions de coupure, de sectionnement, de commande, de mesure, de signalisation et d'alarme.

Choix des appareils terminaux et calcul des canalisations

- La définition des influences externes par groupes de locaux
- La détermination de la classe et du degré IP (indice de protection) des appareillages
- La définition du parcours des canalisations et leur mode de pose
- Le choix de la nature de l'âme des conducteurs, et de la nature de l'isolant
- Le choix des chutes de tension admissible à chaque niveau de l'installation
- La détermination des sections des conducteurs actifs et de protection en fonction de l'intensité admissible, des surcharge, des courts-circuits, des contacts indirects et du respect des chutes de tension
- Le complément de l'étude des armoires par la définition du pouvoir de coupure des appareils de protection.

Dossier d'exécution

Les pièces essentielle de ce dossier sont :

- Les plans d'implantation des équipements
- Les plans des canalisations et de filerie
- Les schémas unifilaires des armoires
- Le synoptique de l'installation
- Le carnet des câbles
- Les notes de calcul
- Les prospectus des appareillages

2. DEFINITION DES EQUIPEMENTS TERMINAUX

2.1. Définitions

	Définition	Unité	Symbole
Puissance utile	Puissance fournie par un dispositif sous une forme et dans un but déterminé, c'est la puissance active fournie sur l'arbre d'un moteur	W, kW	Pu
Puissance absorbée	Puissance reçue par un dispositif, c'est la puissance active absorbée par un moteur	W, kW	Pa
Rendement	Rapport entre puissance la puissance utile et la puissance absorbée	%	η
Facteur de puissance	Rapport entre la puissance active et la puissance apparente		$\cos\phi$
Facteur d'utilisation	Rapport entre la puissance utile nominale et la puissance utile réelle. Ce facteur résulte du fait qu'un appareil ne fonctionne pas nécessairement à sa puissance nominale		ku
Facteur de simultanéité	Rapport entre la somme des puissance appelées par un ensemble d'appareils et la somme des puissances maximales de chaque appareil. Compte tenu du fait que les récepteurs ne fonctionnent pas simultanément, la puissance nécessaire pour alimenter un groupe de récepteurs est inférieure à la somme de leurs puissances nominales.		ks

Chapitre 4

Les valeurs habituelles des rendements, des facteurs d'utilisation et des facteurs de puissance sont données ci-dessous à titre indicatif :

Récepteur	Rendement	Facteur d'utilisation	Facteur de puissance
Eclairage			
• Incandescence	1	1	1
• Fluo non compensé	0,8	1	0,50
• Fluo compensé	0,8	1	0,85
• Décharge	0,7	1	0,90
Moteurs			
• Jusqu'à 0,6 kW	—	—	0,5
• De 1 à 3 kW	0,7	—	0,7
• De 4 à 40 kW	0,8	—	0,8
• Plus de 50 kW	0,9	—	0,9
Prises de courant			
• Dans les bureaux	—	0,2 à 0,5	—
• En industrie	—	1	—
Chauffage par résistance	1	1	1
Climatisation	—	1	—

En général, on peut admettre un facteur d'utilisation de l'ordre de 0,8 pour les machines de production. Pour un atelier d'entretien on peut descendre à 0,3 dans certains cas.

La détermination du *facteur de simultanéité* implique la connaissance détaillée de l'installation et des conditions d'exploitation. **Il n'est pas possible de donner des valeurs précises applicables à tous les cas.** Les normes UTE 63-410 et NFC 15-100 donnent cependant quelque précision sur ce facteur (voir tableaux ci-dessous).

Facteur de simultanéité pour armoires de distribution (selon norme UTE 63-410)	
Nombre de circuits	Facteur de simultanéité
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
5 à 9	0,7
10 et plus	0,6

Facteur de simultanéité (selon norme NFC 15-100)	
Utilisation	Facteur de simultanéité
Eclairage, conditionnement d'air	1
Chauffage électrique, chauffe eau	1 (a)
Prise de courant (N étant le nombre de prises de courant alimentées par le même circuit)	$0,1 + \frac{0,9}{N}$
Appareil de cuisson	0,7
Ascenseur (b)	1
et	
monte-charge	
pour le moteur le plus puissant	1
pour le moteur suivant	0,75
pour les autres	0,6

(a) Lorsque les circuits alimentant le chauffage et des chauffe-eau ne peuvent être mis sous tension que pendant certaines heures, il est possible de ne pas tenir compte simultanément de leur puissance.

(b) Le courant à prendre en considération (moteurs à démarrage répétitif) est égal au courant nominal du moteur, majoré du tiers du courant de démarrage.

$$I = I_n + \frac{I_D}{3}$$

I_n : courant nominal
 I_D : courant de démarrage

De plus, il convient de tenir compte du courant de démarrage du -moteur le plus puissant lorsque celui-ci n'est pas négligeable devant le courant d'emploi du circuit considéré.

2.2. Modalités de calcul

On rappelle ci-dessous à toute fin utile, l'expression des puissances absorbées apparentes et actives en courant alternatif monophasé et triphasé connaissant le courant absorbé, la tension et le facteur de puissance.

	Puissance apparente	Puissance active
Monophasé	$S=UI$	$Pa = UI \cos \varphi$
Triphasé	$S=UI\sqrt{3}$	$Pa = UI\sqrt{3} \cos \varphi$
Unités	VA ou KVA	W ou kW

La puissance électrique apparente absorbée est obtenue en divisant la puissance utile par le rendement et par le facteur de puissance

$$Pa = \frac{Pu}{\eta} \quad S = \frac{Pu}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

Chapitre 4

Lors de l'étude d'une installation électrique, les informations relatives à chaque récepteur sont données, généralement sous la forme de leur puissance utile active, les rendements étant connus et les coefficients d'utilisation étant estimés. En tenant compte du coefficient d'utilisation, l'expression ci-dessus devient :

$$S_u = \frac{P_u \cdot k_u \cdot 100}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

avec S_u , la puissance apparente utile (VA ou kVA)

Exemple

Soit une machine de scierie équipée d'un moteur asynchrone dont les caractéristiques relevées sur la plaque signalétique sont les suivantes :

- Puissance 7,5 Kw
- Rendement 84%
- Facteur de puissance 0,78 . Nous estimons le facteur d'utilisation à 0,8

La puissance apparente absorbée sera de : $S = \frac{7,5 \times 0,8 \times 100}{84 \times 0,78} = 9,16 \text{ kVA}$

Attention :

La puissance habituellement inscrite sur les tubes fluorescents indique uniquement la puissance du tube. Pour déterminer la puissance absorbée par un luminaire fluorescent (tube fluorescent+ballast), il convient de tenir compte

de la puissance active absorbée par le ballast, estimée à peu près égale à 25% de la puissance du tube fluorescent

Exemple : Un appareil à starter à deux tubes de 1,20 m (36 W) absorbera

- s'il est compensé : $S = \frac{36 \times 2 \times 1,25}{0,8 \times 0,85} = 132 \text{ VA}$
- s'il n'est pas compensé : $S = \frac{36 \times 2 \times 1,25}{0,8 \times 0,5} = 225 \text{ VA}$

3. EVALUATION DE LA PUISSANCE TOTALE INSTALLEE

3.1 Division des circuits suivant la NFC 15.100

Dans les locaux d'habitation

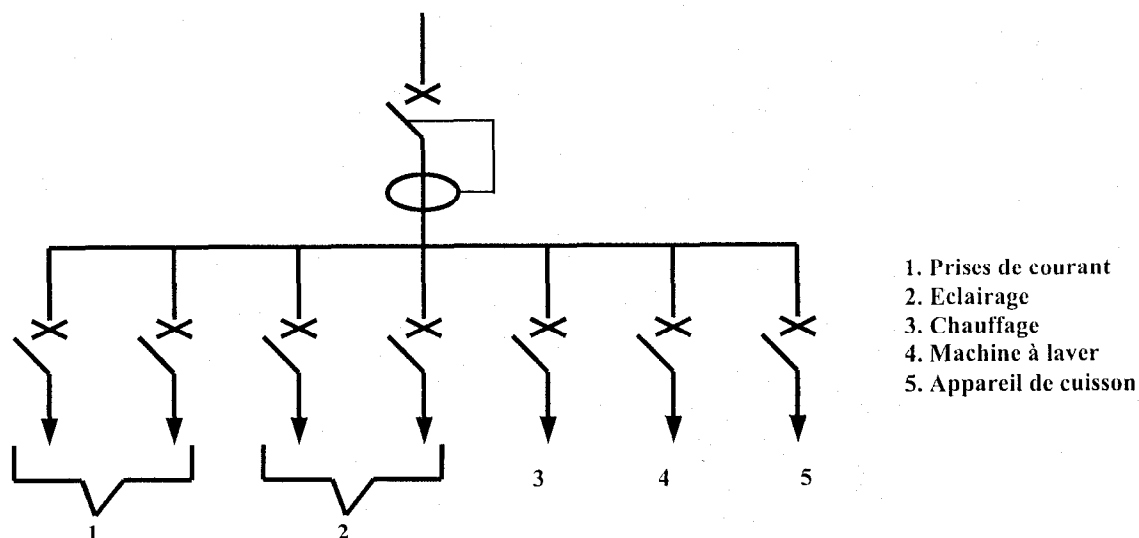
Pour des raisons de sécurité et de maintenance, les installations électriques sont subdivisées en plusieurs circuits distincts depuis l'aval du disjoncteur général ou d'abonné.

La division d'une installation en plusieurs circuits procure les avantages suivants :

- conséquences d'un défaut limitées au seul circuit concerné,
- facilite la recherche de défaut,
- permet les opérations d'entretien sur un seul circuit sans couper toute l'installation.

La norme N.F. C 15.100 conduit à subdiviser l'installation électrique en autant de circuits qu'il y a d'utilisations différentes dans le respect des règles suivantes :

- 1 circuit au moins pour l'éclairage. Chaque circuit ne peut desservir plus de 8 points d'utilisation.
- un circuit au moins pour les prises de courant 2P + T. Chaque circuit ne peut desservir plus de 8 points d'utilisation.
- 1 circuit spécialisé pour chaque appareil tel que chauffe-eau, machine à laver, lave-vaisselle, climatiseur, appareil de cuisson ... etc.
- une protection différentielle placée en tête des circuits :
 - 30mA pour les prises de courant et l'éclairage des salles d'eau,
 - 300mA pour les autres circuits (éclairage, climatiseur etc.)



Dans les installations industrielles

Les mêmes principes sont à observer : il faut autant de circuits divisionnaires qu'il y a d'utilisations différentes. Cependant, les applications particulières doivent être observées suivant le régime du neutre de l'installation.

3.1.1. Protection des circuits

Chaque circuit est protégé soit par un fusible soit par un disjoncteur divisionnaire dont le calibre est réglementé par les normes en vigueur.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs normatives des calibres des disjoncteurs de protection ainsi que les sections des conducteurs utilisées usuellement dans les circuits domestiques. Les conducteurs d'un même circuit (phase, neutre et terre) doivent avoir la même section.

Type de circuit monophasé 230V	Section en mm ²	Calibre maximal des dispositifs de protection		Puissance max en W
		fusible	Disjoncteur	
Eclairage fixe	1,5	10	16	2 200
Prise de courant 2P + T	2,5	20	20	4 400
Lave-vaisselle	2,5	20	20	4 400
Chauffe-eau	2,5	20	20	4 400
Climatiseur	2,5	20	20	4 400
Lave-Linge	4	25	32	5 500
Cuisinière	6	32	38 ou 40	7000

En pratique les valeurs suivantes sont couramment utilisées

Type de circuit monophasé 230V	Section en mm ²	Calibre maximal des dispositifs de protection		Puissance max en W
		fusible	Disjoncteur	
Eclairage fixe	1,5	10	10	2 200
Prise de courant 2P + T	2,5	16	16	4 400
Lave-vaisselle	2,5	16	16	4 400
Chauffe-eau	2,5	16	16	4 400
Climatiseur	4	20	20	4 400
Lave-Linge	4	25	32	5 500
Cuisinière	6	32	32	7000

Chapitre 4

3.1.2. Tableau de répartition

L'ensemble des fusibles et disjoncteurs sont centralisés sur un même tableau de distribution ou tableau de répartition.

La réalisation du tableau de répartition s'effectue généralement à l'aide d'éléments préfabriqués normalisés. Il doit être installé dans un endroit facilement accessible et situé au centre de gravité des besoins énergétiques.

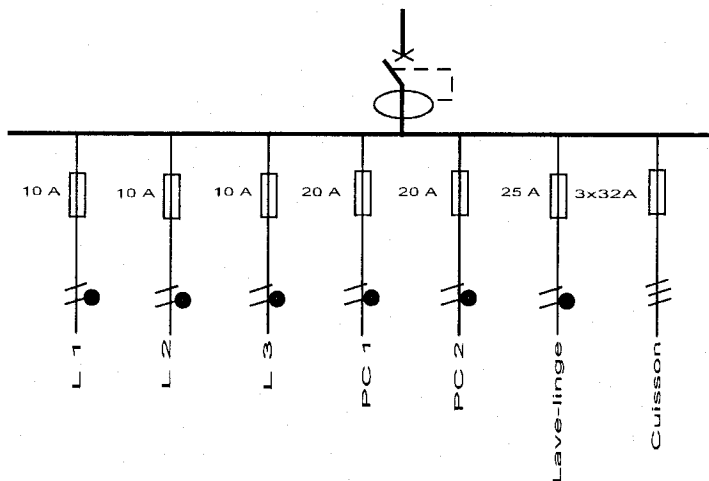
Il est formellement interdit d'installer le tableau de répartition dans les toilettes et dans les chambres.

Exemple : Soit une installation électrique du type domestique comportant les éléments suivants :

- 3 circuits d'éclairages monophasés
- 2 circuits prises de courant 2P + T
- 1 appareil de cuisson 3P + T
- 1 lave-linge monophasé

Le réseau d'alimentation étant triphasé + neutre et les dispositifs de protection étant de type à fusible, réaliser le schéma du tableau de répartition (unifilaire).

b) Schéma unifilaire



3.1.3. Convention de couleur des conducteurs

- Jaune/vert : Conducteur de protection (mise à la terre des masses métalliques)
- Bleu clair : Exclusivement réservée au Neutre
- Rouge, Marron, Noir : Phases
- Blanc : Non autorisé

3.2. Evaluation de la puissance totale

La détermination de la puissance totale nécessaire pour une installation électrique nécessite le recensement des équipements terminaux et de leurs caractéristiques.

L'évaluation des puissances commence par la détermination, au niveau de chaque tableau, armoire ou coffret de protection, de la puissance absorbée correspondante, ce qui nécessite un recensement précis de tous les équipements terminaux qu'il alimente et de leurs modes de fonctionnement. Ce calcul devra être fait pour chacune des phases d'un réseau polyphasés, afin de tenir compte du déséquilibre entre phases. Un coefficient global de simultanéité sera appliqué au total obtenu.

Exemple 1

Soit un ensemble mixte bureaux- atelier alimenté en triphasé 230/400 V et comportant les équipements recensés dans le tableau ci-dessous:

AFFECTATION	EQUIPEMENTS
Atelier A	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Tours de 4 kW/400V ; $\cos\varphi = 0,85$; $\eta = 0,8$ • 2 perceuses de 2,2 kW/400V ; $\cos\varphi = 0,85$; $\eta = 0,8$ • 9 prises de courant 2P+T 10A/16A/230 V • 30 réglettes fluorescentes 2x36W/230V $\cos\varphi = 0,85$
Atelier B	<ul style="list-style-type: none"> • 1 compresseur d'air de 11 kW/400V ; $\cos\varphi = 0,86$; $\eta = 0,87$ • 3 prises de courant 2P+T 10A/16A/230 V • 1 prise de courant 3P+T 20A/400 V • 15 réglettes fluorescentes 2x58W/230V $\cos\varphi = 0,85$
Atelier C	<ul style="list-style-type: none"> • 2 fours résistifs de 15 kW/400V • 2 ventilateurs industriels de 1,5 kW/400W ; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,78$ • 1 prise de courant 2P+T 20A/230 V <p>Nota :chaque four fonctionne simultanément avec 1 ventilateur</p>
Bureaux administratifs	<ul style="list-style-type: none"> • 3 climatiseurs absorbant chacun 1,5 kW/230V ; $\cos\varphi = 0,78$ • 7 brasseurs d'air 75 W/230 V ; $\cos\varphi = 0,5$ • 13 prises de courant 2P+T 10A/16A/230 V

3.3. Choix de la puissance de la source d'alimentation normale (réseau public)

On appelle par source normale, la source d'alimentation permettant l'exploitation normale des équipements.

A partir de la puissance totale foisonnée P_f fournie par le bilan de puissance, la puissance de la source d'alimentation (P_{tr}) s'obtient par l'expression suivantes :

$$P_{tr}(kVA) = P_f(kVA).k_e$$

k_e : coefficient d'extension. Au cas où aucune information sur l'extension n'existe, k_e doit être compris entre 1,1 et 1,2.

Il suffit de sélection ensuite dans un catalogue constructeur, le transformateur de puissance directement supérieure à la valeur calculée

Dans notre exemple précédent nous avons :

- $P_f = 80,16$ kVA
- Nous estimons $k_e = 1,15$
- $P_{tr}(kVA) = 80,16 \times 1,15 = 92,18$ kVA
- On choisira un transformateur de 100 kVA, valeur la plus proche des puissances commercialisées

3.4. Choix de la source de remplacement

On appelle source de remplacement ou source secours, la source d'alimentation permettant l'exploitation totale ou partielle des équipements en l'absence de source normale.

Après la détermination de la puissance nominale de la source normale d'alimentation, il faut déterminer la puissance de la source de remplacement lorsque cette source est prévue pour l'installation considérée.

L'évaluation de la puissance de l'alternateur se fait de la manière suivante :

- L'addition de toutes les puissances installées exprimées en kW, pour tous les appareils alimentés par le groupe électrogène, en appliquant à chaque appareil un coefficient d'utilisation qui lui est propre,
- Pour les moteurs électriques de puissances supérieures à 5 kW, l'addition de la surpuissance au démarrage (1,8 à 2,5 fois leur puissance active nominale),
- L'application des coefficients de simultanéité aux différents niveau du schéma suivant le cas,
- La prise en compte d'un facteur de puissance moyen estimé ou calculé,
- Une majoration de 10% à 20% pour extension éventuelle

Exemple

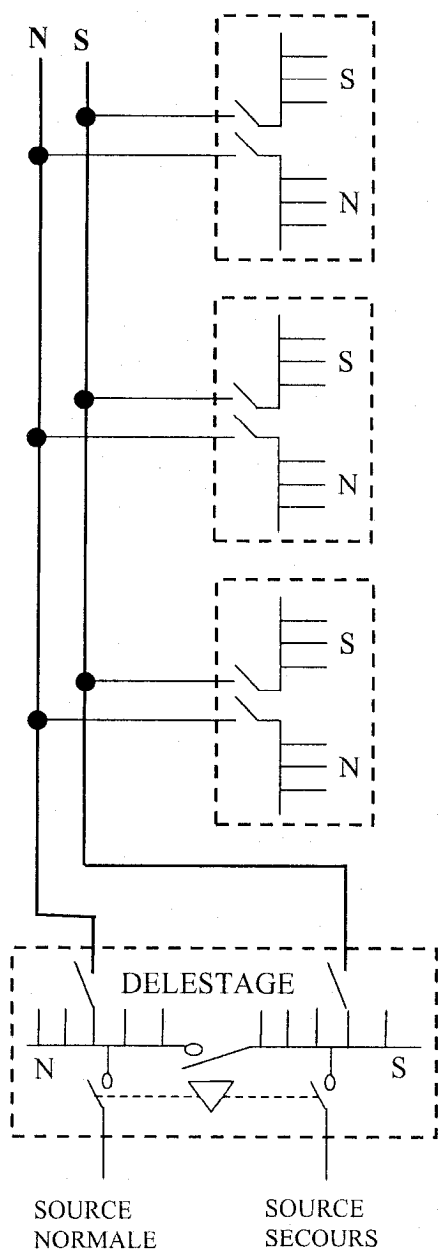
Bilan de puissance				
Récepteur	Puissance nominale kW	Puissance démarrage kW	Coefficient d'utilisation	Puissance appelée kW
Eclairage	54	—	1	54
Petite force motrice	32	—	0,75	24
Ascenseur	30	75	0,8	60
Relevage	15	27	0,8	21,6
Surpresseur	20	40	0,8	32
Divers	15	—	1	15
TOTAL				206,6
Coefficient de simultanéité				0,85
Puissance d'utilisation (kW)				175,61
Facteur de puissance				0,8
Puissance apparente (kVA)				219,51
Majoration pour extension ultérieure				1,1
Puissance apparente totale (kVA)				241

Le choix se portera sur un groupe électrogène de puissance commerciale de 250 kVA avec un facteur de puissance de 0,8

3.4.1. Structure de la distribution d'une installation avec source de remplacement

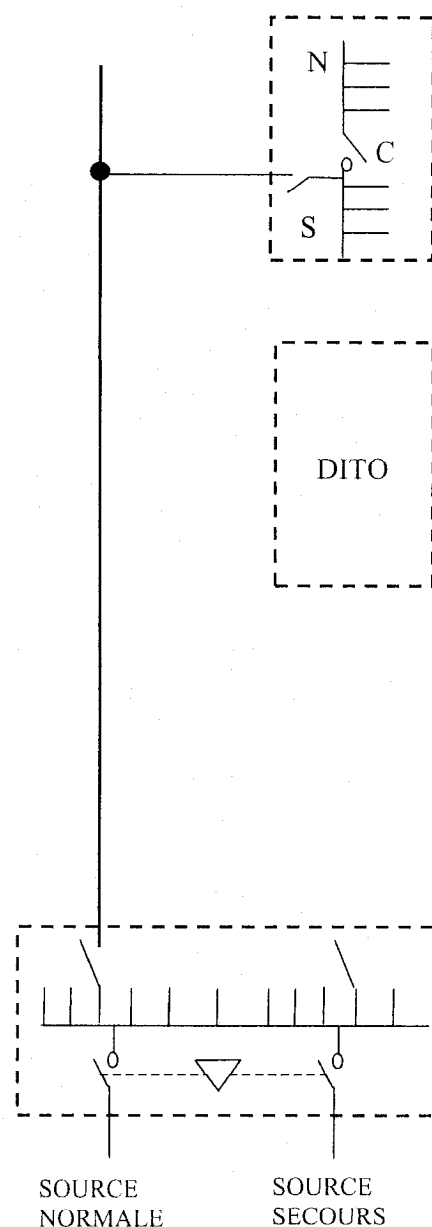
La structure d'une installation avec source de remplacement peut être envisagée sous deux formes différentes :

STRUCTURE A DOUBLES CIRCUITS



En fonctionnement normal, les lignes Normal et Secours sont alimentées; lors du passage sur la source de remplacement les lignes Secours sont seules alimentée.

STRUCTURE A DELESTAGE LOCAL

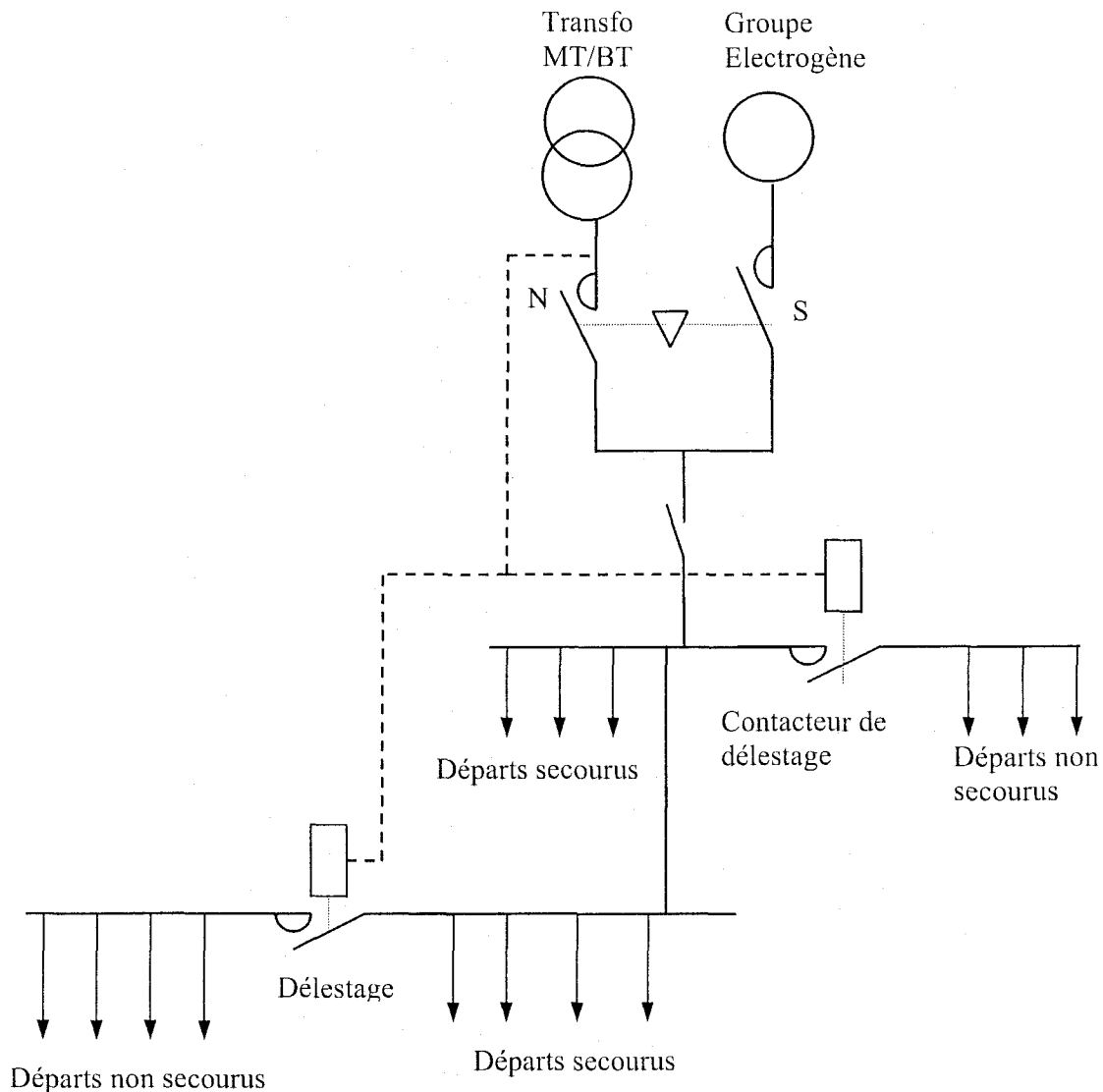


En fonctionnement normal, tous les contacteurs C des armoires divisionnaires sont fermés ; lors du passage sur la source Secours, ces contacteurs s'ouvrent.

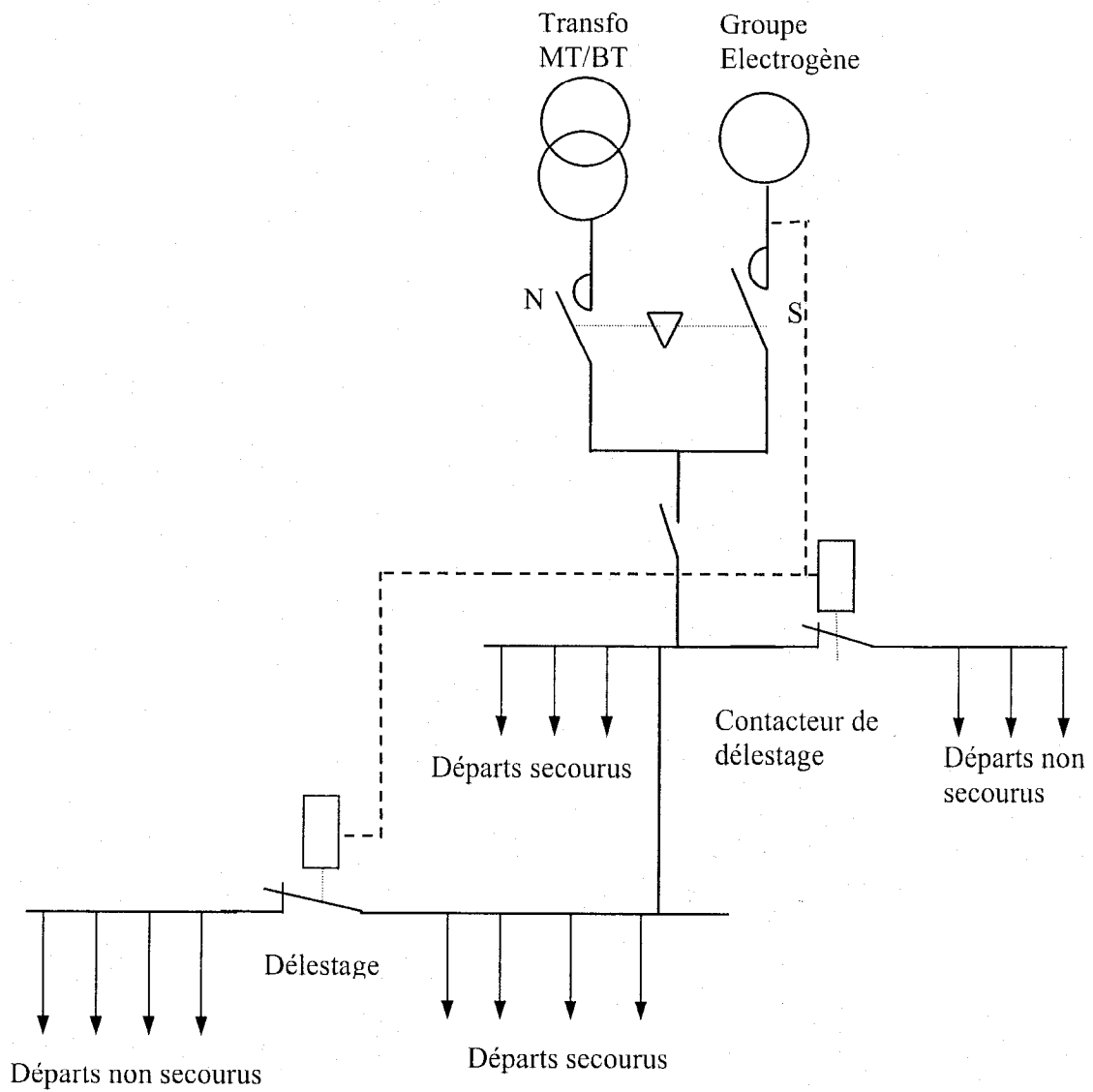
Chapitre 4

En général, la structure à délestage local est moins coûteuse et permet une plus grande souplesse lors des modifications ultérieures.

Les bobines des contacteurs de délestage (C) des différentes armoires divisionnaires sont directement alimentées depuis l'amont du contacteur Normal (N) de l'inverseur de source.



Les bobines des contacteurs de délestage (C) des différentes armoires divisionnaires peuvent aussi être alimentées à partir de l'amont du contacteur Secours (S) ; dans ce cas, les contacteurs de délestage doivent être du type à ouverture (contacts fermés au repos). Cette manière d'alimenter les bobines des contacteurs de délestage évite le maintien sous tension permanente de ces contacteurs (sauf bien sûr en cas de disparition de la source Normal).



**5 - REGIMES DU NEUTRE ET PROTECTION CONTRE
LES CONTACTS INDIRECTS**

REGIMES DU NEUTRE ET PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS

SOMMAIRE

1. CONTACT INDIRECT.....	2
1.1. Définition	2
1.2. Tension de sécurité.....	2
2. REGIME DU NEUTRE.....	3
2.1. Schéma T.T ou neutre à la terre	3
2.1.1. Règles applicables.....	3
2.1.2. Schéma de principe	4
2.2. Schéma TN ou mise au neutre des masses	4
2.2.1. Règles applicables.....	4
2.2.2. Schéma de principe	4
2.3. Schéma IT ou neutre isolé	5
2.3.1. Règles applicables.....	5
2.3.2. Schéma de principe	5
3. PRISE DE TERRE.....	6
3.1. Technologie de réalisation	6
3.1.1. Plaques verticales	6
3.1.2. Boucle (ceinturage) à fond de fouille	6
3.1.3. Piquets de terre.....	7
4. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS	8
4.1. Protection sans coupure automatique de l'alimentation.....	8
4.2. Protection par coupure automatique de l'alimentation.....	8
4.2.1. Conséquence d'un défaut d'isolement (schéma T.T)	9
4.2.2. Principe de la protection.....	10
4.3.2. Choix de la sensibilité d'un D.D.R.....	11
5. COMMENT CHOISIR UN REGIME DU NEUTRE	12

Chapitre 4

BILAN DE PUISSANCE

RECEPTEURS		Puissance absorbée (kVA)	Facteur d'utilisation maxi	Puissance apparente maximale d'utilisation (KVA)	Facteur de simultanéité niveau 1	Puissance d'utilisation niveau 1 (KVA)	Facteur de simultanéité niveau 2	Puissance d'utilisation niveau 2 (KVA)	coefficient de simultanéité niveau 3	Puissance d'utilisation niveau 2 (KVA)		
ATELIER A												
	Tour n°1	6,1	0,8	4,7	0,8	19,14	0,9	25,70	0,8	80,16		
	Tour n°2	6,1	0,8	4,7								
	Tour n°3	6,1	0,8	4,7								
	Tour n°4	6,1	0,8	4,7								
	Perceuse n°1	3,2	0,8	2,56								
	Perceuse n°2	3,2	0,8	2,56								
	5 PC 2P+T 10/16A 230V	11,5	1	11,5	0,28	3,22						
	4 PC 2P+T 10/16A 230V	9,2	1	9,2	0,325	2,99						
	30 réglettes fluo 2x36 W	3,2	1	3,2	1	3,2						
ATELIER B												
	Compresseur	14,70	0,8	11,76	1	11,76	0,9	27,80				
	3 PC 2P+T 10/16A	6,9	1	6,9	0,4	2,76						
	1 PC 3P+T 20A	13,86	1	13,86	1	13,86						
	15 réglettes fluo 2x58 W	2,56	1	2,56	1	2,56						
ATELIER C												
	Ventilateur n°1	2,4	1	2,4	1	34,8	0,9	38,9				
	Ventilateur n°2	2,4	1	2,4								
	Four n°1	15	1	15								
	Four n°2	15	1	15	0,55	5,06						
	2 PC 2P+T 20A	9,2	1	9,2								
	20 réglette fluo 2x58W	3,4	1	3,4			1	3,4				
BUREAU												
	Climatiseur n°1	1,92	1	1,92	1	1,92	0,8	7,80				
	Climatiseur n°2	1,92	1	1,92	1	1,92						
	Climatiseur n°3	1,92	1	1,92	1	1,92						
	7 brasseurs d'air de 75 W	1,05	1	1,05	1	1,05						
	7 PC 2P+T 10/16A	16,1	0,3	4,83	0,23	1,11						
	6 PC 2P+T 10/16A	13,8	0,3	4,14	0,25	1,04						
	15 réglettes fluo 1x36W	0,794	1	0,794	1	0,794						

1. CONTACT INDIRECT

1.1. Définition

Un contact indirect en défaut d'isolement est une liaison qui établit accidentellement entre un conducteur actif (phase ou neutre) et une masse métallique.

Le contact indirect devient dangereux lorsque le potentiel de masse dépasse le seuil de la tension de sécurité. pour se prémunir contre de tel danger, il est nécessaire de choisir un régime du neutre normalisé et le type de protection approprié.

1.2. Tension de sécurité

La tension limite U_L est la valeur maximale de la tension de contact pouvant être maintenue indéfiniment sans risque pour les personnes.

Elle dépend des paramètres suivants :

- résistance des corps humains (5 000 Ω en moyenne)
- nature du courant (alternatif ou continu)
- nature de l'environnement

Tableau des tensions limites supérieures (U_L)

Alternatif U efficace (V)	Continu (V)	Exemple
50	120	Locaux d'habitation, de bureaux, industriels non mouillés
25	50	Locaux mouillés chantiers
12	25	Piscine volume enveloppe des salles d'eau

2. REGIME DU NEUTRE

Le régime du neutre d'une installation B.T. est caractérisé par la "position" du point neutre de la source d'énergie alternative par rapport à la terre.

Il existe trois types de régime de neutre normalisés (schémas TT, TN et IT) caractérisés chacun par 2 lettres.

<u>1ère lettre</u>	<u>2ème lettre</u>	Type du réseau
Situation du neutre par rapport à la terre	Situation des masses	
T : neutre directement relié à la terre	T : Masses reliées à une prise de terre distincte	TT : Réseau neutre à la terre
T : Neutre directement relié à la terre	N : Masses reliées au neutre	TN : Réseau mis au neutre
I : Neutre isolé de la terre par une impédance	T : Masse reliée à une prise de terre	IT : Réseau neutre isolé ou neutre impédant

Le régime du neutre est choisi suivant des conditions économiques et d'exploitation. Dans certains cas, il est imposé ou recommandé par le distributeur d'énergie.

2.1. Schéma T.T ou neutre à la terre

Réseau dans lequel le courant de défaut phase-masse a une intensité inférieure au courant de court-circuit, mais peut - entraîner l'apparition de tensions dangereuses.

2.1.1. Règles applicables

- Le point neutre de l'alimentation est relié directement à la terre.
- Les masses des matériels électriques, protégées par un même dispositif de protection, doivent être interconnectées et reliées par un conducteur de protection à une même prise de terre, généralement distincte de celle de l'alimentation (neutre).

2.1.2. Schéma de principe

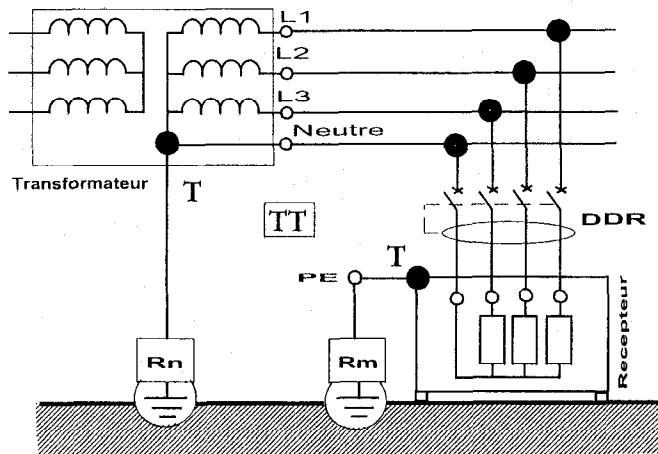


Figure 1

2.2. Schéma TN ou mise au neutre des masses

Réseau dans lequel tout courant de défaut franc, phase-masse, est un court-circuit.

2.2.1. Règles applicables

- Le point neutre de l'alimentation électrique est relié directement à la terre.
- Les masses de l'installation électrique sont reliées par des conducteurs de protection au point neutre de l'installation mis à la terre.

2.2.2. Schéma de principe

a). Schéma TNC

Le conducteur de neutre et de protection sont confondus et forment un circuit à 4 fils

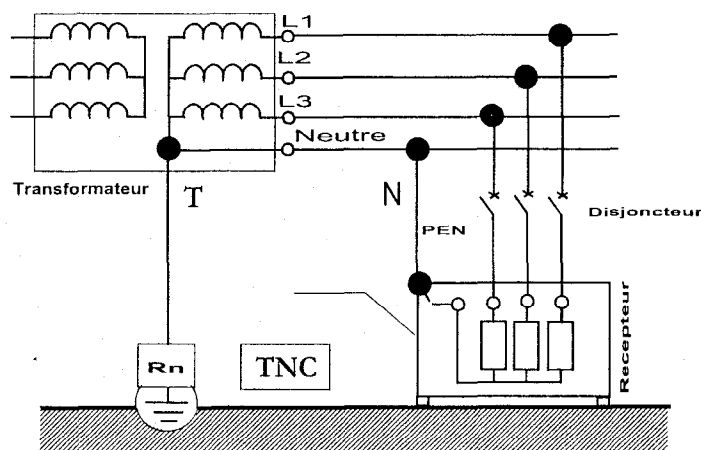


Figure 2

Ce schéma est interdit pour :

- les section $< 10\text{mm}^2$ et canalisations mobiles
- les locaux présentant des risques d'incendie ou d'explosion

b). Schéma TNS

Le conducteur de neutre et le conducteur de protection sont distincts et forment un circuit à 5 conducteurs

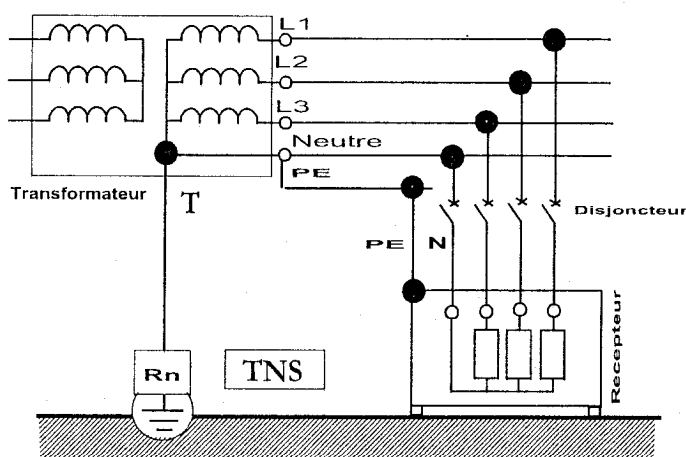


Figure 3

2.3. Schéma IT ou neutre isolé

Réseau dans lequel le courant résultant d'un seul défaut phase-masse a une intensité suffisamment faible pour ne provoquer l'apparition d'aucune tension de contact dangereux.

2.3.1. Règles applicables

- Aucune liaison électrique n'est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre
- Masses d'utilisation de l'installation reliées à une prise de terre.

2.3.2. Schéma de principe

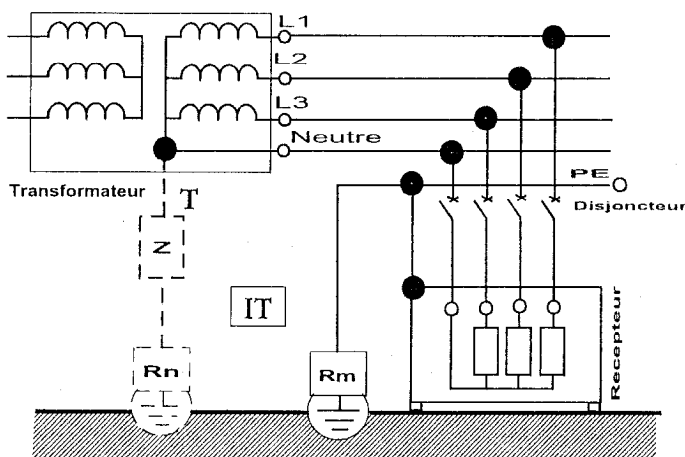


Figure 4

3. PRISE DE TERRE

Toutes pièces ou ensemble de pièces conductrices enfoncés dans le sol et assurant une liaison électrique efficace avec la terre constituent une prise de terre.

Les prises de terre sont une nécessité pour la protection des personnes et des matériels pour toutes les installations électriques.

La qualité d'une prise de terre (résistance aussi faible que possible $\leq 10\Omega$) est essentiellement fonction de 2 facteurs :

- nature du sol (résistivité)
- technologie de réalisation

3.1. Technologie de réalisation

Il existe de nombreux type de prise de terre, nous citerons que trois :

3.1.1. Plaques verticales

Ces plaques sont soit carrées, soit rectangulaires. Elles doivent être enterrées de telle façon que leur centre soit à au moins 1m du niveau naturel du sol.

Les plaques peuvent être :

- en cuivre de 2mm d'épaisseur
- en acier galvanisé de 3mm d'épaisseur.

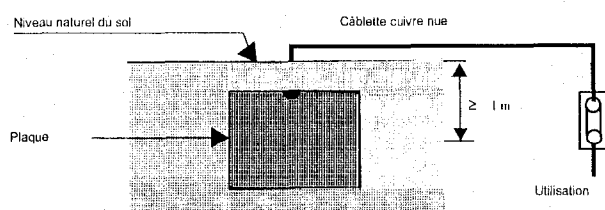


Figure 5

3.1.2. Boucle (ceinturage) à fond de fouille

Cette disposition est conseillée notamment pour toute construction nouvelle. Elle consiste à placer sous le béton de propreté à au moins un mètre de profondeur, un conducteur qui peut être :

- en cuivre : câble (25mm^2) ou feuillard ($s \geq 25\text{mm}^2$, $e \geq 2\text{mm}$)
- en aluminium gainé de plomb : ($s \geq 35\text{mm}^2$)

- en acier galvanisé : câble ($s \geq 95\text{mm}^2$) ou feuillard ($s \geq 100\text{mm}^2$, $e \geq 3\text{mm}$)

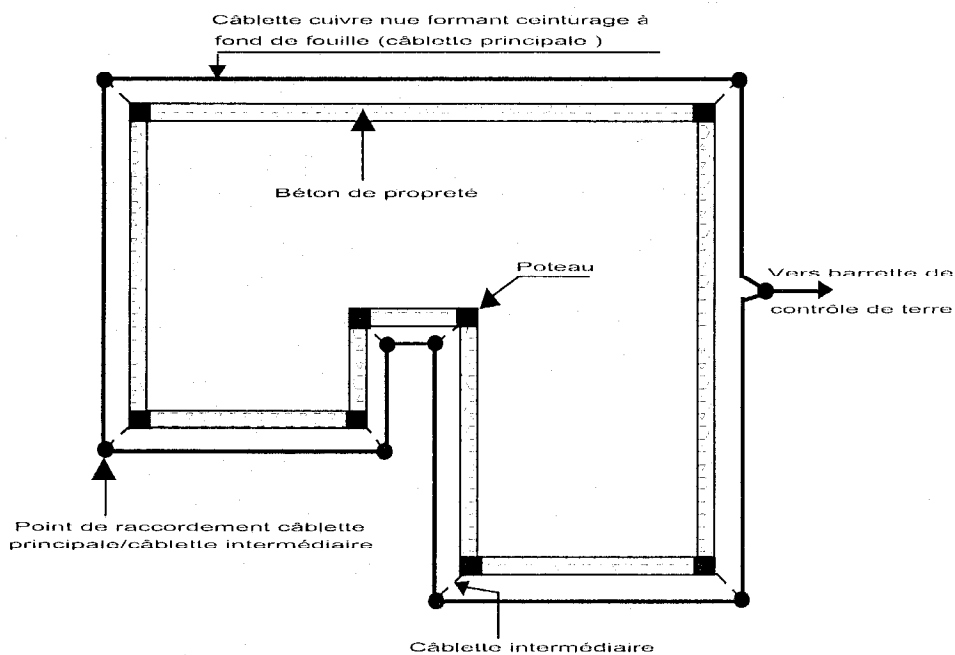


Figure 6 : Ceinturage à fond de fouille

3.1.3. Piquets de terre

Cette disposition est généralement retenue pour les bâtiments existants ou pour améliorer une prise de terre existante.

Le piquet peut-être :

- en cuivre rond de diamètre $\geq 15\text{mm}$
- en acier galvanisé rond de diamètre $\geq 25\text{mm}$

Dans tous les cas, les piquets doivent être de longueur $\geq 2\text{m}$

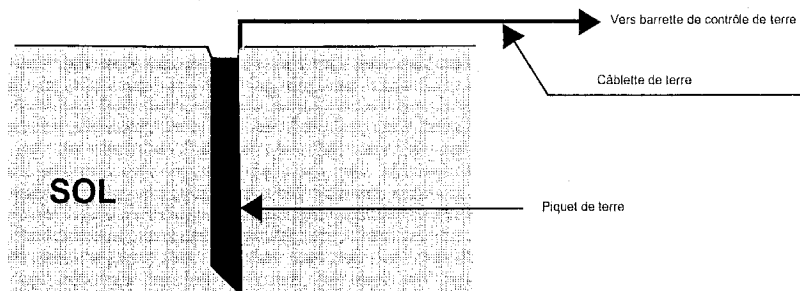


Figure 7

4. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS

4.1. Protection sans coupure automatique de l'alimentation.

Ce type de protection est utilisé localement au niveau de certains récepteurs ou de certaines parties limitée de l'installation afin d'empêcher tout contact indirect ou à les rendre non dangereux pour les personnes.

- a) Emploi de matériel de classe II dont les parties accessibles sont séparées des parties actives par une double isolation ou une isolation renforcée.
- b) Isolation supplémentaire lors de l'installation.
- c) Séparation de sécurité des circuits
- d) Protection par éloignement ou interposition d'obstacles
- e) utilisation de la très basse tension de sécurité (TBTS $U < 50V$)

Dans tous les cas, aucune masse ne doit être reliée au conducteur de protection.

4.2. Protection par coupure automatique de l'alimentation

Les mesures précédentes ne pouvant être, dans la pratique que locales, toute installation électrique est, en général conçue en mettant en œuvre les mesures de protection par coupure automatique de l'alimentation.

Le principe de la protection contre les contacts indirects dépend du régime du neutre adopté pour l'installation électrique.

Le régime neutre à la terre ou schéma T.T étant utilisé par la majorité des distributeurs d'électricité, notre étude se focalisera sur ce dernier.

4.2.1. Conséquence d'un défaut d'isolement (schéma T.T)

Soit le schéma suivant

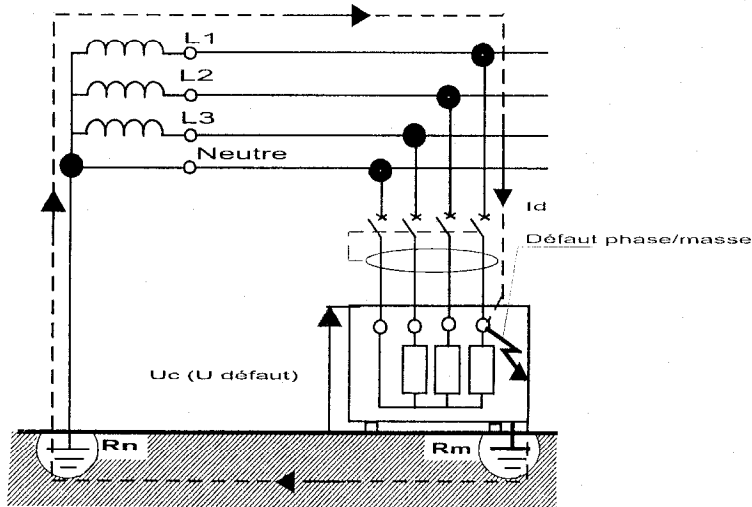


Figure 8

Le schéma équivalent du circuit est présenté comme ci- dessous :

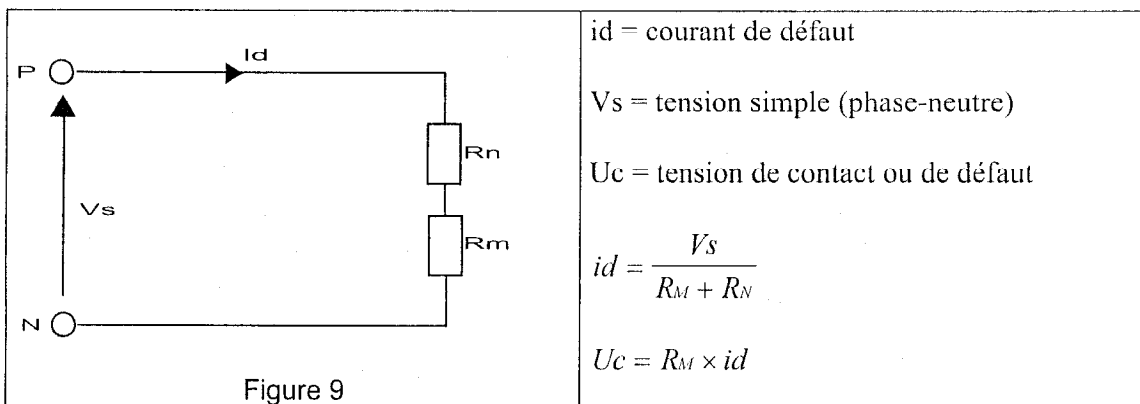


Figure 9

Application numérique

$R_M = 15\Omega$

$R_N = 5\Omega$

$V_S = 220V$

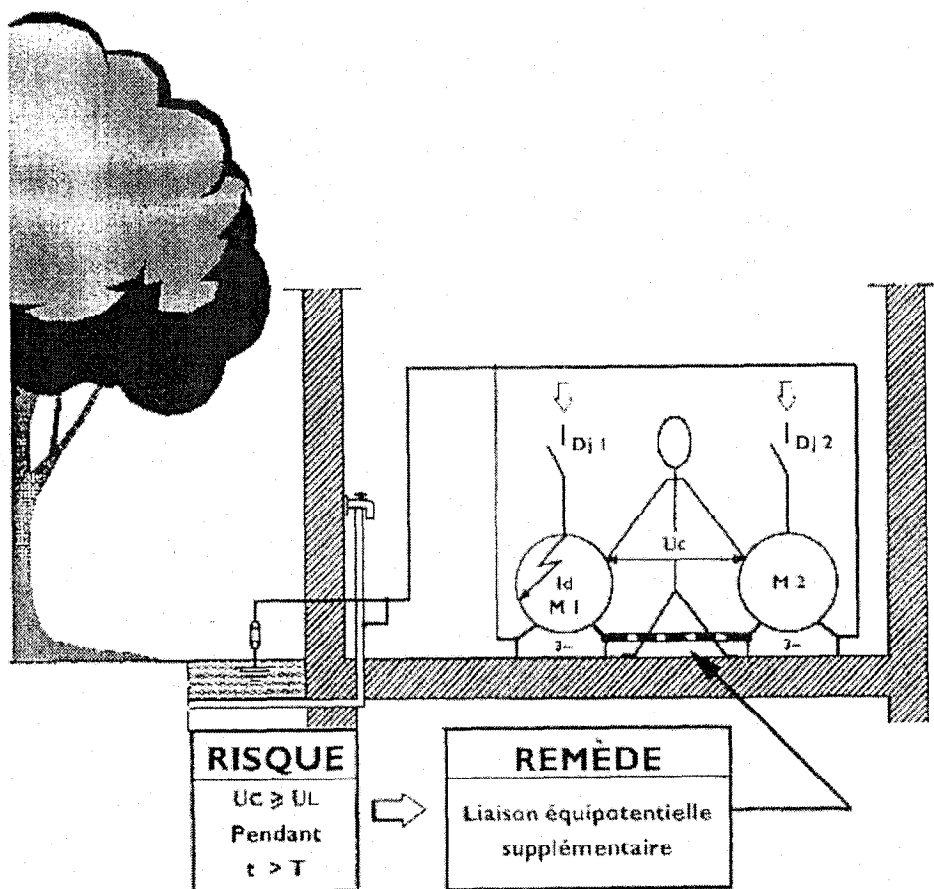
$U_c = 15 \times 11 = 165V$

La tension 165V (> 50V) constitue une tension dangereuse ; il est impératif de couper l'installation dès l'apparition du défaut d'isolement.

4.2.2. Principe de la protection

Le principe de la protection contre les contacts indirects est basé sur la détection du courant de fuite à la terre (courant de défaut) qui doit se produire dès qu'il y a défaut d'isolement. pour être conforme à la norme, les conditions suivantes doivent être respectées :

- Toute masse doit être reliée à un conducteur de protection (couleur vert/jaune) et lui-même relié à une prise de terre de résistance $\leq 10\Omega$.
- Deux masses accessibles simultanément doivent être reliées à une même prise de terre.



U_c = "tension de contact"
 t = "temps de coupure de D_j (ou des fusibles)"
 U_L = "tension limite de sécurité"
 T = "temps défini par arrêté du 15-12-88 - Art. 2"

- Un dispositif de protection différentiel à courant résiduel doit séparer automatiquement de la source toute partie de l'installation où il se produit un défaut d'isolement dangereux.

4.3.2. Choix de la sensibilité d'un D.D.R

La sensibilité désigne la valeur du courant de défaut, pour laquelle le disjoncteur déclenche. Le choix de la sensibilité d'un D.D.R dépend essentiellement :

- l'environnement de l'installation électrique (Tension limite U_L)
- de la résistance de la prise de terre.

En effet :

$$\begin{array}{l} U_c = I_d \cdot R_m \\ U_L = U_c \end{array} \quad \Bigg| \quad \Rightarrow \quad U_L = I_d \times R_M \Rightarrow I_d = \frac{U_L}{R_M}$$

Soit $I_{\Delta n}$ la sensibilité du dispositif à courant différentiel résiduel.

Pour que le dispositif déclenche en cas de défaut d'isolement, il faudra :

$$I_d \geq I_{\Delta n} \Rightarrow I_{\Delta n} \leq I_d \Rightarrow \boxed{I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_M}}$$

La sensibilité du DDR s'exprime en ampère (A) et plus couramment en milliampère (mA). Valeurs des sensibilités courantes : 630, 500, 300, 100, 30, 10 mA.

Exemple

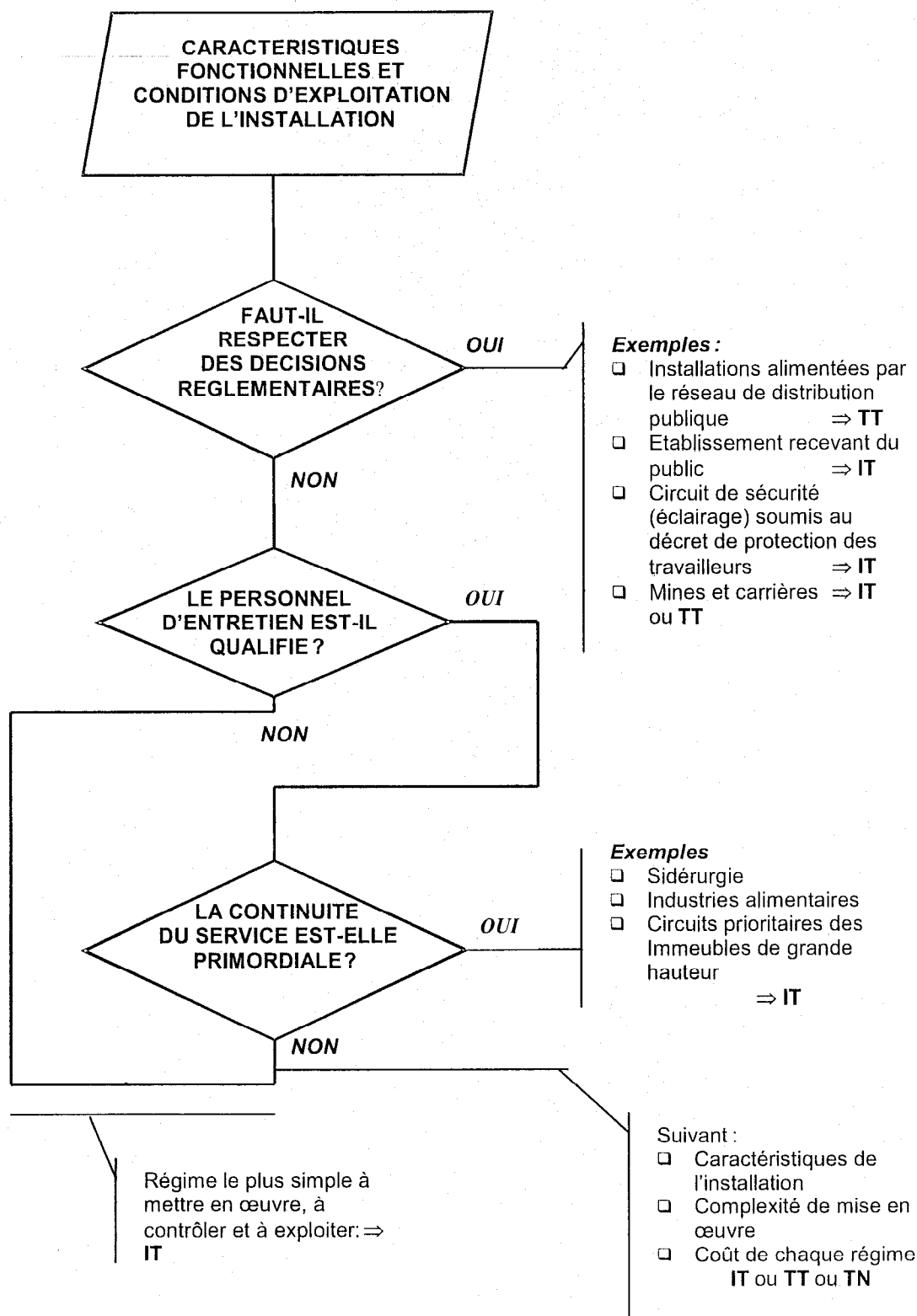
Soit une installation électrique domestique dont la résistance de la prise de terre est de 250Ω .

Déterminer la sensibilité du DDR en fonction des tensions de sécurité limites 50V, 25V, 12V.

	Tension limite		
	50V	25V	12V
I_d (mA)	200	100	48
Sensibilité DDR (mA)	100	100	30

Les sensibilités **30mA**, **10mA** sont appelées « haute sensibilité »

5. COMMENT CHOISIR UN REGIME DU NEUTRE



Nota : Un personnel d'entretien **non qualifié** et l'exigence de la **continuité** de service constituent deux conditions incompatibles Et de ce fait **aucun régime n'est satisfaisant.**

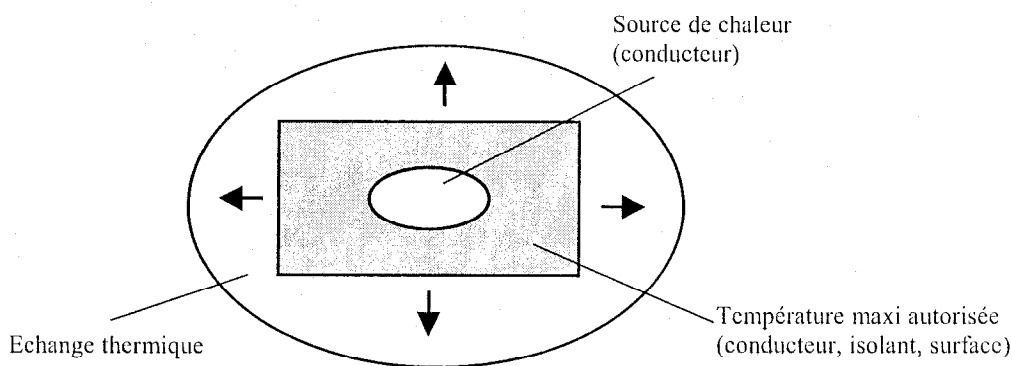
**DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS ACTIFS
ET CHOIX DES PROTECTIONS**

SOMMAIRE

1. COURANT ADMISSIBLE DANS UNE CANALISATION	2
2. LES MODES DE POSE.....	3
3. COURANT ADMISSIBLES DANS LES CANALISATIONS NON ENTERREES ...	6
3.1. METHODES DE REFERENCE	6
3.2. FACTEURS DE CORRECTION ASSOCIE A LA METHODE DE REFERENCE (F ₁)	6
3.3. COURANT ADMISSIBLE POUR LES CANALISATIONS NON ENTERREES	8
3.4. FACTEUR DE CORRECTION POUR TEMPERATURE AMBIANTE (F ₂)	9
3.5. FACTEUR DE CORRECTION POUR CONDUCTEUR DU NEUTRE CHARGE (F ₃).....	10
3.5. FACTEUR DE CORRECTION POUR ZONE OU EMPLACEMENT A RISQUE D'EXPLOSION (F ₄)	10
3.6. FACTEUR DE CORRECTION POUR GROUPEMENT DES CONDUCTEURS ET CABLES (F ₅) 10	
3.6.1. Chemins de câbles, tablettes.....	10
3.6.2. Conduits, alvéoles, Boulottes.....	11
3.6.3. Facteur de correction pour les groupements de circuits (F ₅)	11
3.7. FACTEUR DE CORRECTION EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHES (F ₆)	12
4. COURANTS ADMISSIBLES DANS LES CANALISATIONS ENTERRÉES	13
4.1. MÉTHODE DE RÉFÉRENCE	13
4.2. FACTEURS DE CORRECTION ASSOCIE A LA METHODE DE REFERENCE (F ₁)	13
4.3. FACTEUR DE CORRECTION POUR TEMPERATURE AMBIANTE (F ₂).....	14
4.4. FACTEUR DE CORRECTION POUR LA NATURE DU SOL (F ₃).....	14
4.5. FACTEUR DE CORRECTION POUR CONDUCTEUR DU NEUTRE CHARGE (F ₄)	15
4.6. FACTEUR DE CORRECTION POUR GROUPEMENT DE CIRCUITS (F ₅).....	15
4.7. COURANT ADMISSIBLE DANS LES CANALISATIONS ENTERREES.....	17
5. PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES: RÈGLES.....	18
5.1. REGLE GENERALE	18
5.2. EMPLACEMENT DES DISPOSITIFS DE PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES	18
5.3. DEPLACEMENT DU DISPOSITIF DE PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES.....	18
5.4. COORDINATION ENTRE LES CONDUCTEURS ET LES DISPOSITIFS DE PROTECTION	19
6. DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS NEUTRES.....	20
7. DÉMARCHE D'ÉTUDE.....	21
8. APPLICATION PRATIQUE.....	22
8.1. DONNEES POUR UNE CANALISATION A L'AIR LIBRE.....	22
8.1.1. Données de base	22
8.1.2. Solutions	22
8.2. DONNEES POUR UNE CANALISATION ENTERREE	24
8.2.1. Données de base	24
8.2.2. Solution	24

1. COURANT ADMISSIBLE DANS UNE CANALISATION

Le courant transporté par tout conducteur pendant des périodes prolongées en fonctionnement normal doit être tel que la température maximale de fonctionnement ne soit pas supérieure à une valeur dépendante de la nature des isolants.



CRITÈRES PRIS EN COMPTE	CÂBLE	CANALISATION PREFABRIQUEE
1. SOURCE DE CHALEUR: EFFET JOULE		
- Section des conducteurs	x	x
- Nature des conducteurs		
cuivre	x	x
aluminium	x	x
2. TEMPERATURE MAXI AUTORISEE		
- isolant	x	(x)
- surface externes : accessible au toucher pour le risque d'explosion	(x)	(x)
- dilatation des conducteurs	x	(x)
3. ECHANGE THERMIQUE		
- température ambiante	x	x
- mode de pose	x	x
- groupement	x	
- nombre de conducteurs chargés	x	
- type de canalisation :		
unipolaire	x	
multipolaire	x	x

x : applicable

(x) : applicable éventuellement

Le courant admissible est la valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence, dans des conditions données, un conducteur, sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur assignée (Voir tableau 52D) .

Pour un conducteur donné, ce courant admissible est considéré comme **courant assigné I_z** .

TABLEAU 52D
(Extrait de la Norme NF C 15-100)

Températures maximales de fonctionnement en fonction du type isolations

TYPE D'ISOLATION	TEMPERATURE MAXIMALE DE FONCTIONNEMENT (Voir note 1) (°C)
Polychlorure de vinyle (PVC)	Conducteur : 70
Polyéthylène réticulé (PR) et éthylène-propylène (EPR)	Conducteur : 90
Minéral (avec gaine en PVC ou nu et accessible)	Gaine métallique : 70
Minéral (nu et inaccessible et ne trouvant pas au contact de matériaux combustibles)	Gaine métallique : 105 (voir note 2)

Notes :

1. - *Les températures maximales de fonctionnement indiquées dans le Tableau 52D, ont été prises dans les Publications 502 (1983) et 702 (1981) de la CEI.*

2 - *Pour les conducteurs à isolant minéral, des températures supérieures en service continu peuvent être admises suivant la température du câble et des extrémités, les conditions d'environnement et d'autres influences externes.*

2. LES MODES DE POSE

La méthode d'exécution d'une canalisation doit tenir compte :

- **du nombre et de la nature des conducteurs et des câbles** qui assurent la liaison électrique ;
- **de la condition de pose** qui précise la solution générale retenue pour améliorer la protection mécanique, physique ou chimique des conducteurs et des câbles tout assurant leur fixation ;
- **de la condition de montage**, solution retenue par l'installateur pour assurer le parcours de la canalisation.

Le choix des canalisations et leur mise en œuvre dans des situations de pose bien définies caractérisent le mode de pose.

La détermination des courants admissibles est dépendant du mode de pose des canalisations dont les exemples figurent au tableau 52C de la norme NF C15-100 présenté ci-dessous :

TABLEAU 52C
(Extrait de la Nonne NF C 15-100)

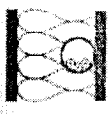






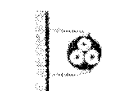

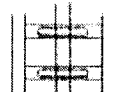
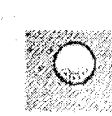



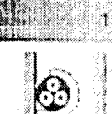
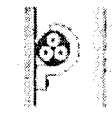





Exemple	Description	Réf.	Exemple	Description	Réf.
0 - POSE SOUS CONDUIT					
	Conducteurs (câbles) et/ou des conducteurs isolés dans les conduits (remplis ou non) horizontaux.	1		sur des champs de câbles ou câbles non portés.	12
	Câbles multi-conducteurs dans des conduits (remplis ou non) horizontaux ou verticaux.	2		sur des champs de câbles ou câbles non portés en position horizontale ou verticale.	13
	Conducteurs (câbles) et/ou des conducteurs isolés en montage apparent.	3		sur des champs de câbles.	14
	Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits en montage apparent.	3A		- fixés par des crochets et espacés de 20 mm.	15
	Conducteurs (câbles) et/ou des conducteurs isolés en montage apparent.	4		- sur supports d'isolants.	16
	Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits (remplis ou non) en montage apparent.	4A		- Câbles mono- ou multi-conducteurs suspendus à un crochets portés ou supports.	17
	Conducteurs (câbles) dans des conduits (remplis ou non) dans une paroi.	5		Conducteurs (câbles) dans une paroi.	18
	Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi.	5A			
2 - POSE DANS LES VIDES DE CONSTRUCTION					
1 - POSE A L'AIR LIBRE					
	Câbles mono- ou multi-conducteurs (isolés ou non) en montage apparent.	11		Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des vides de construction.	21
	- fixés sur un mur.	11A		Conducteurs (câbles) dans des conduits (remplis ou non) dans des vides de construction.	22
	- fixés à un plafond.	11A		Câbles mono- ou multi-conducteurs dans des conduits (remplis ou non) dans des vides de construction.	22A

TABLEAU 52C
(Extrait de la Norme NF C 15-100)






















Exemple	Description	Réf.	Exemple	Description	Réf.
	Conducteurs isolés dans des conduits protégés dans des vides de construction.	23	4 - POSE DANS LES CANIVEAUX		
	Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des conduits protégés dans des vides de construction.	23A		Conducteurs isolés dans un conduit ou câble multicœur ducteurs dans des conduits fermés, en cas de retrait ou viciés.	41
	Conducteurs isolés dans des conduits protégés noyés dans la construction.	24		Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux protégés.	42
	Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des conduits protégés noyés dans la construction.	24A		Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des caniveaux protégés ou non.	43
	Câbles mono- ou multicœur ducteurs : - dans des fourreaux, - dans des poteaux sans ca.	25	5 - ENCASTREMENT DIRECT		
3 - POSE DANS LES GOULOTTES				Câbles mono- ou multicœur ducteurs encastrés directement dans des parois. Ils ne peuvent être isolés.	51
	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multicœur ducteurs encastrés dans des goulottes protégées mécaniquement.	31		Câbles mono- ou multicœur ducteurs encastrés dans des parois sans protection mécanique complémentaire.	52
	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multicœur ducteurs encastrés dans des goulottes sans protection mécanique.	32		Câbles mono- ou multicœur ducteurs encastrés dans des parois avec protection mécanique complémentaire.	53
	Conducteurs isolés dans des goulottes encastrées dans des parois.	33	6 - POSE ENTERÉE		
	Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des goulottes encastrées dans des parois.	33A		Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des conduits ou dans des conduits protégés enterrés.	61
	Conducteurs isolés dans des goulottes suspendues.	34		Câbles mono- ou multicœur ducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire.	62
	Câbles mono- ou multicœur ducteurs dans des goulottes suspendues.	34A		Câbles mono- ou multicœur ducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire.	63

3. COURANT ADMISSIBLES DANS LES CANALISATIONS NON ENTERREES

3.1. Méthodes de référence

Les **méthodes de référence d'installation** concerne des **circuits simples** installés dans des conditions bien spécifiées. Elles sont au nombre de cinq :

- quatre repérées **B, C, E,** et **F** concernent **toutes les situations de pose non enterrée.**

METHODE DE REFERENCE	MODES DE POSE	CONSTITUTION DE CIRCUIT						
		Câble uni		Conducteur		Câble multi		
B	• Sous conduit profilé en apparent ou encastré							
	• Sous vide de construction, faux plafonds							
	• Sous caniveaux							
C	• En apparent contre mur ou plafond							
	• Sur chemin de câble ou tablette non perforée							
E	• Sur échelles, chemin de câble perforé							
F	• Fixé en apparent, espacé de la paroi • Câble suspendu							

3.2. Facteurs de correction associé à la méthode de référence (F₁)

Chaque mode de pose est associé à un numéro de référence lui-même associé à une méthode de calcul dite "méthode de référence" représentée par une lettre de B à F. Les correspondances entre les modes de pose et les méthodes de référence sont indiquées dans le tableau 52E ci-dessous :

Les modes de poses les plus utilisés (air libre) sont:

- 11: Câble fixé sur mur
- 11A: Câble fixé à un plafond
- 12: Câble sur chemin de câble (ou tablette non perforée)
- 13: Câble sur chemin de câble (tablette perforée)
- 14: Câble fixé sur corbeaux
- 15: Câble sur collier espacé de la parois
- 41: Conducteur isolé en conduit ou câble en caniveaux fermé
- 42: Conducteur isolé en conduit dans les caniveaux ventilés
- 43: Câble dans les caniveaux ouverts ou ventilés

TABLEAU 52E
(Extrait de la Nonne NF C 15-100)

Pour chacun des modes de pose décrits dans le tableau 52C, le tableau indique la méthode de référence (repérée par l'une des lettres : B, C, E ou F) et les facteurs de correction éventuels à appliquer

	Mode de pose (numéro de référence du Tableau 52C)	Méthode de référence	Facteur de correction K1	Remarques
Conduits	1	B	0,77	(*) Pour des câbles dans les conduits (modes de pose 3A, 4A et 5A) appliquer un facteur de 0,9
	2	B	0,7	
	3	B	(*)	
	4	B	(*)	
	5	B	(*)	
Câbles	11			(*) Pour les poses sous-plafonds, appliquer un facteur de 0,95
	12	C	(*)	Parcours horizontal ou vertical E = Multi F = Uni
	13	E,F		
	14	E,F		
	15	E,F		
	16	E,F		
	17	E,F		
18	C	1,21		
Vide de construction	21	B	0,95	(*) Pour des câbles dans le vide de construction (modes de pose 22A, 23A et 24A) appliquer un facteur de 0,865
	22	B	0,95 (*)	
	23	B	0,95 (*)	
	24	B	0,95 (*)	
	25	B	0,95	
Goulottes	31	B	(*)	(*) Pour des câbles dans des goulottes (modes de pose 31A, 32A 33A et 34A) appliquer un facteur de 0,9
	32	B	(*)	
	33	B	(*)	
	34	B	(*)	
Caniveaux	41	B		
	42	B	0,95	
	43	B		
Encastrés	51	B		
	52	C	0,77	
	53	C		
Mouleurs	71	B		(*) Pour des câbles multiconducteurs, appliquer un facteur de 0,9
	72	B	(*)	
	73	B	(*)	
	74	B	(*)	
Immergé	81			A l'étude

* *Exemple* Une pose sur chemin de câble (ou tablettes non perforées) correspond à la référence 12 du tableau 52C et à la méthode de référence « C » du tableau 52E.

3.3. Courant admissible pour les canalisations non enterrées

Le tableau 52F permet de connaître la section à utiliser pour les méthodes de référence B, C, et F connaissant :

- la méthode de référence,
- la nature de l'isolant,
- le type de circuit,
- l'intensité à transporter

TABLEAU 52F (Extrait partiel Norme NF C 15-100)

Méthode de référence	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES								
	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
B				PVC 2	PR 3		PR 2		
C		PVC 3			PVC 2	PR 3		PR 2	
E			PVC 3			PVC 2	PR 3		PR 2
F				PVC 3			PVC 2	PR 3	PR 2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254
Aluminium									
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	
4	22	25	26	28	31	32	35	38	
6	28	32	33	36	39	42	45	49	
10	39	44	46	49	54	58	62	67	
16	53	59	61	66	73	77	84	91	
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150		227	245	261	283	304	324	346	389
185		259	280	298	323	347	371	397	447
240		305	330	352	382	409	439	470	530
300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740
500					610	694	770		856
630					711	808	899		996

- PVC : Polychlorure de vinyle
- PR : Polyéthylène réticulé ou éthylène-propylène
- 2 : Circuits monophasés ou biphasés
- 3 : Circuits triphasés

Exemple : Canalisation 1000 R2V (isolant PR) sur chemin de câbles non perforé, circuit triphasé neutre non chargé
courant d'emploi 147 ampères
section à utiliser 35 mm² cuivre

3.4. Facteur de correction pour température ambiante (F₂)

La température ambiante à utiliser est celle du milieu environnant.

Le facteur de correction lié à la température doit être appliqué toutes les fois que la canalisation est placée dans un **air ambiant** dont la température est différente de 30°C.

Pour d'autres températures ambiantes, les valeurs des intensités admissibles doivent être multipliées par le facteur approprié du tableau 52J1 ci-dessous :

TABLEAU 52J1(Extrait Norme NF C 15-100)

Influence de la température ambiante pour les situations de pose non enterrées

Température ambiante (°C)	Elastomère (caoutchouc)	ISOLATION			
		PVC	PR/ EPR	Minérale*	
				Gaine en PVC ou câble nu et accessible 70°C	Câble nu et inaccessible 105°C
10	1,29	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,22	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,15	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,07	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,93	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,71	0,79	0,87	0,77	0,88
50	0,58	0,71	0,82	0,67	0,84
55		0,61	0,76	0,57	0,80
60		0,50	0,71	0,45	0,75
65			0,65		0,70
70			0,58		0,65
75			0,50		0,60
80			0,41		0,54
85					0,47
90		UTILISATION EXCLUE			0,40
95					0,32

- Pour des températures ambiantes supérieures : consulter le fabricant

3.5. Facteur de correction pour conducteur du neutre chargé (F_3)

Le nombre de conducteurs à considérer dans un circuit est celui des conducteurs effectivement parcourus par le courant. Lorsque dans un circuit polyphasé, les courants sont supposés équilibrés, il n'y a pas lieu de tenir compte du conducteur neutre correspondant.

Lorsque le **conducteur neutre transporte un courant sans réduction de la charge** des conducteurs de phase, le conducteur neutre doit être pris en compte pour la détermination du nombre de conducteurs chargés. Dans ce cas, **un facteur de réduction de 0,84** est à appliquer aux valeurs de courants admissibles pour les câbles à 3 ou 4 conducteurs.

3.5. Facteur de correction pour zone ou emplacement à risque d'explosion (F_4)

Pour les zones ou emplacement à risque d'explosion (BE3), le courant admissible dans les canalisations est réduit de 15% . Le facteur de correction correspondant est **0,85**

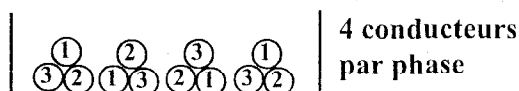
3.6. Facteur de correction pour groupement des conducteurs et câbles (F_5)

3.6.1. Chemins de câbles, tablettes

3.6.1.1. Mise en œuvre

Lorsque des conducteurs appartiennent à un même circuit, ils doivent être posés à proximité immédiate les uns des autres (y compris le conducteur de protection).

Lorsque des conducteurs sont en parallèle, ils doivent être répartis en trèfle (contenant chacun un conducteur de chaque phase en polarité) posés à proximité immédiate les uns des autres conformément au schéma ci-dessous.

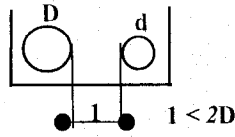


De plus lorsque des câbles sont en parallèle, ils doivent avoir le même mode de pose, être de section identique et avoir la même longueur.

3.6.1.2. Groupement des circuits

Lorsque plusieurs circuits sont installés dans le même groupement, les courants admissibles indiqués dans les tableaux 52F et 52G (canalisations enterrées) doivent être multipliés par les facteurs de réduction donnés dans les tableaux 52L, 52M.

Nota: Conditions pour prendre en compte le facteur de correction.



3.6.2. Conduits, alvéoles, Boulottes

Lorsque des câbles sont montés dans les conduits, alvéoles ou goulottes au lieu de conducteurs (indice A dans la colonne Réf du tableau 52C), un facteur de correction doit être appliqué (colonne "Remarques" du tableau 52E).

3.6.3. Facteur de correction pour les groupements de circuits (F_5)

EXTRAIT TABLEAU 52L (Extrait Norme NF C 15-100)

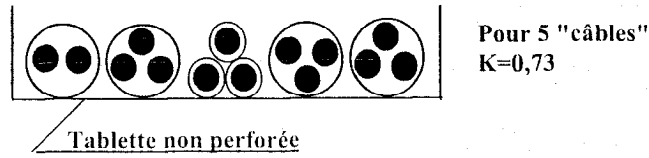
Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs (en une couche)

À appliquer aux valeurs de références des tableaux :

- 52 F : courant admissible pour les méthodes de références B, C, E, F.
- 52 H : courant admissible pour les conducteurs à isolation minérale

DISPOSITION DE CIRCUITS OU DE CÂBLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION												Méthodes de référence	Modes de pose
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
Encastré ou noyé dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	B, C	1, 2, 3, 3A, 4, 4A, 5, 5A, 21, 22, 22A, 23, 23A, 24, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33, 33A, 34, 34A, 41, 42, 43, 71
Simple couche sur les murs ou sur les plancher ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles			C	11, 12
Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64					
Simple couche sur les tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				E, F	13
Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	14, 15, 16, 17				

Exemple



3.7. Facteur de correction en fonction du nombre de couches (F₆)

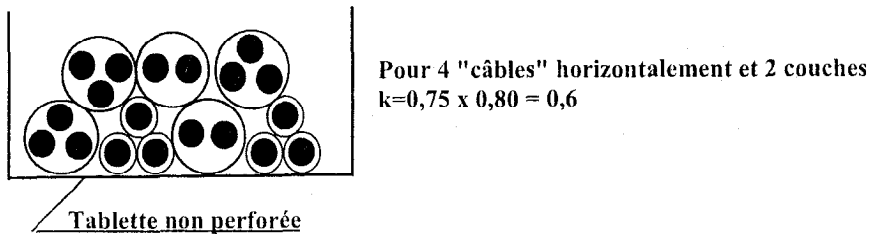
TABLEAU 52M (Extrait Norme NF C15-100)

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, les facteurs de correction suivants doivent être appliqués aux valeurs de courant admissibles :

Nombre de couches	2	3	4	5	6	7	8	9 et plus
Facteur de correction	0,80	0,73	0,70	0,70	0,68	0,68	0,68	0,66

Ces facteurs de correction sont à multiplier par ceux du Tableau 52L.

Exemple :






4. COURANTS ADMISSIBLES DANS LES CANALISATIONS ENTERRÉES

4.1. Méthode de référence

La détermination des courants admissibles est dépendante du mode de pose des canalisations dont les exemples figurent au Tableau 52C de la Norme NF C 15- 1 00.

TABLEAU 52C (Extrait partiel Norme NF C 15-100)

	<p style="text-align: center;">52GN, 52G0</p> <p>Câble mono ou multi-conducteurs dans des conduits ou dans les conduits-profilés enterrés.</p>	61
	<p>Câbles mono ou multi-conducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire</p>	62
	<p style="text-align: center;">52GK</p> <p>Câbles mono ou multi-conducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire</p>	63

Le mode de pose correspondant aux canalisations enterrées décrit dans le tableau 52C est associé à un numéro de référence (colonne 3 du tableau 52C) lui-même associé à une méthode de calcul dite « Méthode de référence » représentée par la lettre **D**.

4.2. Facteurs de correction associé à la méthode de référence (f_1)

Un facteur de correction de **0,8** est à appliquer aux valeurs du tableau 52G pour les canalisations dans des conduits ou dans des conduits profilés (câbles mono ou multi-conducteurs).

TABLEAU 52E (Extrait partiel Norme NF C 15-100)

POSE	REF	f_1
61	D	0,8
62	D	1
63	D	1

4.3. Facteur de correction pour température ambiante (f_2)

La valeur de la température à utiliser est la température du sol, si elle est différente de 20°C, les valeurs des intensités admissibles doivent être multipliées par le facteur de correction approprié ci-après.

TABLEAU 52J2 (Extrait Norme NF C 15-100)

Température du sol	Isolation	
	PVC	PR EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65		0,60
70	UTILISATION	0,53
75	EXCLUE	0,46
80		0,38

PR: Polyéthylène réticulé
EPR: Ethylène propylène (EPR)

4.4. Facteur de correction pour la nature du sol (f_3)

TABLEAU 52GJ (Extrait Nonne NF C 15-100)

**Facteurs de correction à appliquer pour les câbles enterrés
suivant la résistivité thermique du terrain**

Nature du sol	FACTEUR DE CORRECTION
Pose immergée	1,25
Terrains très humides	1,21
Terrains humides	1,13
Terrain dit normal	1,05
Terrain sec	1,00
Terrain très sec	0,86

4.5. Facteur de correction pour conducteur du neutre chargé (f₄)

Les dispositions à appliquer sont identiques à celles utilisées par les canalisations posées à l'air libre.

- Circuits polyphasés supposés équilibrés

Ne pas tenir compte du conducteur neutre correspondant (facteur de correction 1).

- Le conducteur neutre transporte un courant sans réduction de la charge des conducteurs de phases :

Le conducteur neutre est pris en compte pour la détermination du nombre de conducteurs chargés (facteur de correction 0,84).

4.6. Facteur de correction pour groupement de circuits (f₅)

Les facteurs de corrections à appliquer aux valeurs des courants admissibles pour les câbles enterrés sont

TABLEAUX 52GN/GM (Extrait Norme NF C 15-100)

Facteurs de correction pour conduits enterrés à raison d'un câble ou d'un groupement de 3 câbles monoconducteurs par conduit :

GN Nombre de conduits	Distance entre conduits			GM jointif
	0,25 m	0,5 m	1,0 m	
2	0,93	0,95	0,97	0,87
3	0,87	0,91	0,95	0,77
4	0,84	0,89	0,94	0,72
5	0,81	0,87	0,93	0,68
6	0,79	0,86	0,93	0,65

TABLEAUX 52GO (Extrait Norme NF C 15-100)

Facteurs de correction dans le cas de plusieurs circuits ou câbles dans un même conduit enterré :

DISPOSITION DE CIRCUITS OU DE CABLES JOINTIFS	FACTEUR DE CORRECTION												Mode de référénc e	Mode de pose
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
posé dans un conduit enterré	1,00	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22	D	61

Applicable à des groupements de câbles de sections différentes mais ayant la même température maximale admissible

TABLEAUX 52GK (Extrait Norme NF C 15-100)

Facteurs de correction pour groupement de plusieurs câbles posés directement dans le sol
Câbles monoconducteurs ou multiconducteurs disposés horizontalement ou verticalement

Distance entre câble ou groupement de 3 câbles monoconducteurs				
Nombre de câble ou de circuits	Nulle (câbles jointifs)	Distance (m)		
		0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,76	0,84	0,88	0,92
3	0,64	0,74	0,79	0,85
4	0,57	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,65	0,71	0,80
6	0,49	0,60	0,69	0,78

Exemple

Un circuit monophasé 230V enterré chemine dans un conduit contenant 4 autres circuits. La température du sol est de 30°C. Le sol est du type normal. L'isolation des conducteurs est en PVC

- Mode de pose 6I $f_1 = 0,8$
- Température du sol (30°C) $f_2 = 0,89$
- Nature du sol (normal) $f_3 = 1,05$
- Nature du neutre (circuit monophasé) $f_4 = 1$
- Groupement (5 circuits dans un conduit) $f_5 = 0,45$

4.7. Courant admissible dans les canalisations enterrées

Le tableau 52G permet de déterminer la section à utiliser connaissant

- la méthode de référence,
- la nature de l'isolant,
- le type de circuit,
- l'intensité à transporter.

TABLEAU 52G (Extrait Norme NF C 15-100)

SECTION DES CONDUCTEURS (mm ²)	NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES ET TYPE D'ISOLATION			
	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
Cuivre				
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	480	581	565	677
Aluminium				
10	57	68	67	80
16	74	88	87	104
25	94	114	111	133
35	114	137	134	160
50	134	161	160	188
70	167	200	197	233
95	197	237	234	275
120	224	270	266	314
150	254	304	300	359
185	285	343	337	398
240	328	396	388	458
300	371	447	440	520

- : PVC Polychlorure de vinyle
- : Polyéthylène ou éthylène-propylène
- : Circuits monophasés ou biphasés
- : Circuits triphasés

5. PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES: RÈGLES

5.1. Règle générale

Des dispositifs de protection doivent être prévus pour interrompre tout courant de surcharge dans les conducteurs du circuit avant qu'il ne puisse provoquer un échauffement nuisible à l'isolation, aux connexions, aux extrémités ou à l'environnement des canalisations.

5.2. Emplacement des dispositifs de protection contre les surcharges

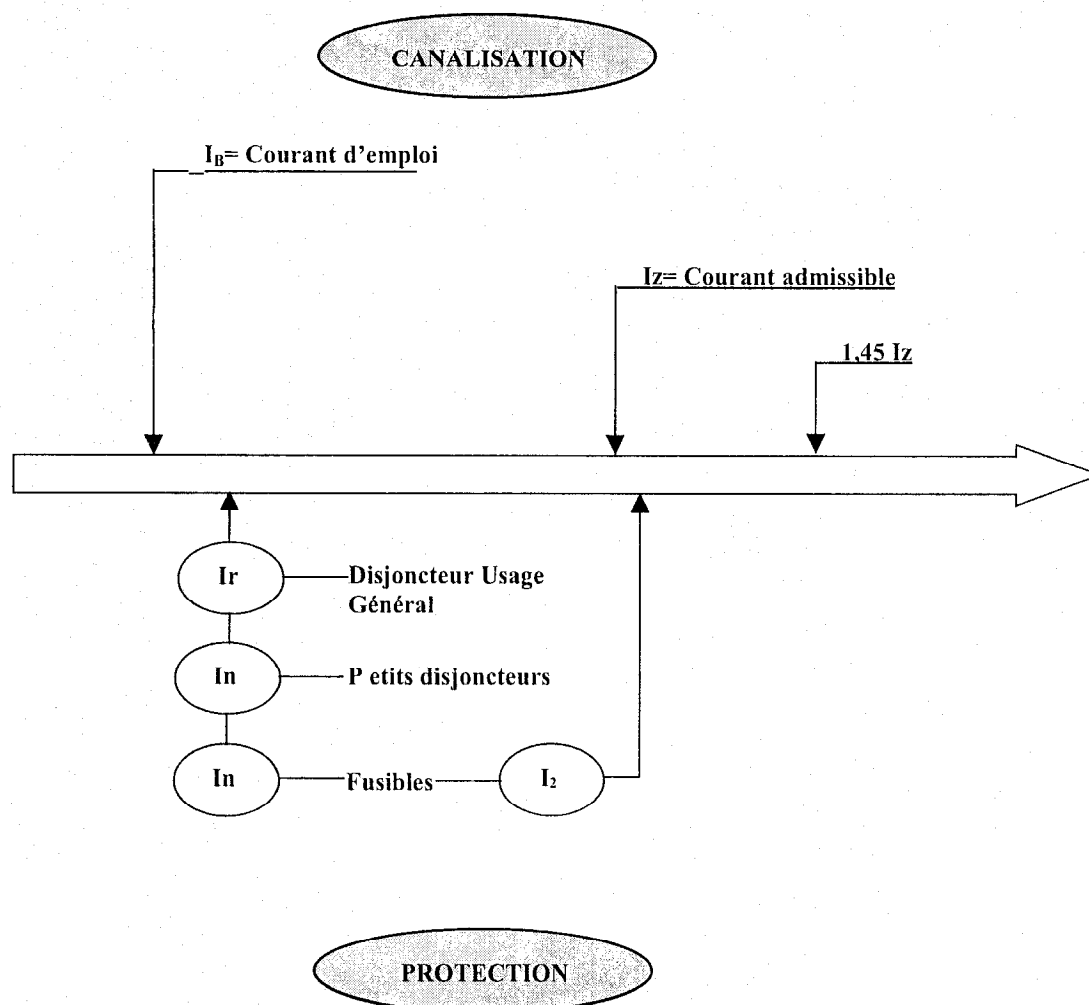
Un dispositif assurant la protection contre les surcharges doit être placé à l'endroit où un changement de section, de nature, de mode de pose ou de constitution entraîne une réduction de la valeur du courant admissible dans les conducteurs.

5.3. Déplacement du dispositif de protection contre les surcharges

Le dispositif protégeant une canalisation contre les surcharges peut être placé sur le parcours de cette canalisation, si la partie de canalisation comprise entre d'une part, le changement de section, de nature, de mode de pose ou de constitution, et le dispositif de protection d'autre part, ne comporte ni prise de courant, ni dérivation et répond à l'une des deux conditions suivantes :

- elle est protégée contre les courts-circuits,
- sa longueur n'est pas supérieure à 3 mètres; elle est réalisée de manière à réduire au minimum le risque de court-circuit et elle n'est pas placée à proximité de matériaux combustibles.

5.4. Coordination entre les conducteurs et les dispositifs de protection



I_n : courant assigné du dispositif de protection

I_r : courant de réglage choisi (dispositif réglable)

I_2 : courant assurant effectivement le fonctionnement du dispositif de protection ;
en pratique I_2 est pris égal :

- au courant de fonctionnement dans le temps conventionnel pour les disjoncteurs,
- au courant de fusion dans le temps conventionnel pour les fusibles du type gI ou gG.

Les deux conditions suivantes sont à respecter

- Protection par fusibles :

$$\checkmark I_B \leq I_n$$

$$\checkmark I_2 \leq 1,45 I_Z \text{ ou } I_n \leq \frac{I_Z}{k_3}$$

avec pour des fusibles gl:

- $I_n \leq 10 \text{ A}$ $\Rightarrow k_3 = 1,31$
- $10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A}$ $\Rightarrow k_3 = 1,21$
- $I_n > 25 \text{ A}$ $\Rightarrow k_3 = 1,10$

- Protection par disjoncteur:

$$\checkmark I_B \leq I_n \text{ ou } I_R$$

$$\checkmark I_n \text{ ou } I_R \leq I_Z$$

6. DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS NEUTRES

Le conducteur neutre doit avoir la même section que les conducteurs de phase :

- dans les circuits monophasés à deux conducteurs,
- dans les circuits monophasés à trois conducteurs et dans les circuits polyphasés dont les conducteurs de phase ont une section au plus égale à 16 mm^2 en cuivre ou 25 mm^2 en aluminium.

Dans les circuits polyphasés dont les conducteurs de phase ont une section supérieure à 16 mm^2 en cuivre ou 25 mm^2 en aluminium, le conducteur neutre peut avoir une section inférieure à celle des conducteurs de phase si les conditions suivantes sont simultanément remplies :

- le conducteur neutre est protégé contre les surintensités,
- le courant maximal, y compris les harmoniques éventuels, susceptible de parcourir le conducteur neutre en service normal n'est pas supérieur au courant admissible correspondant à la section réduite du conducteur neutre.

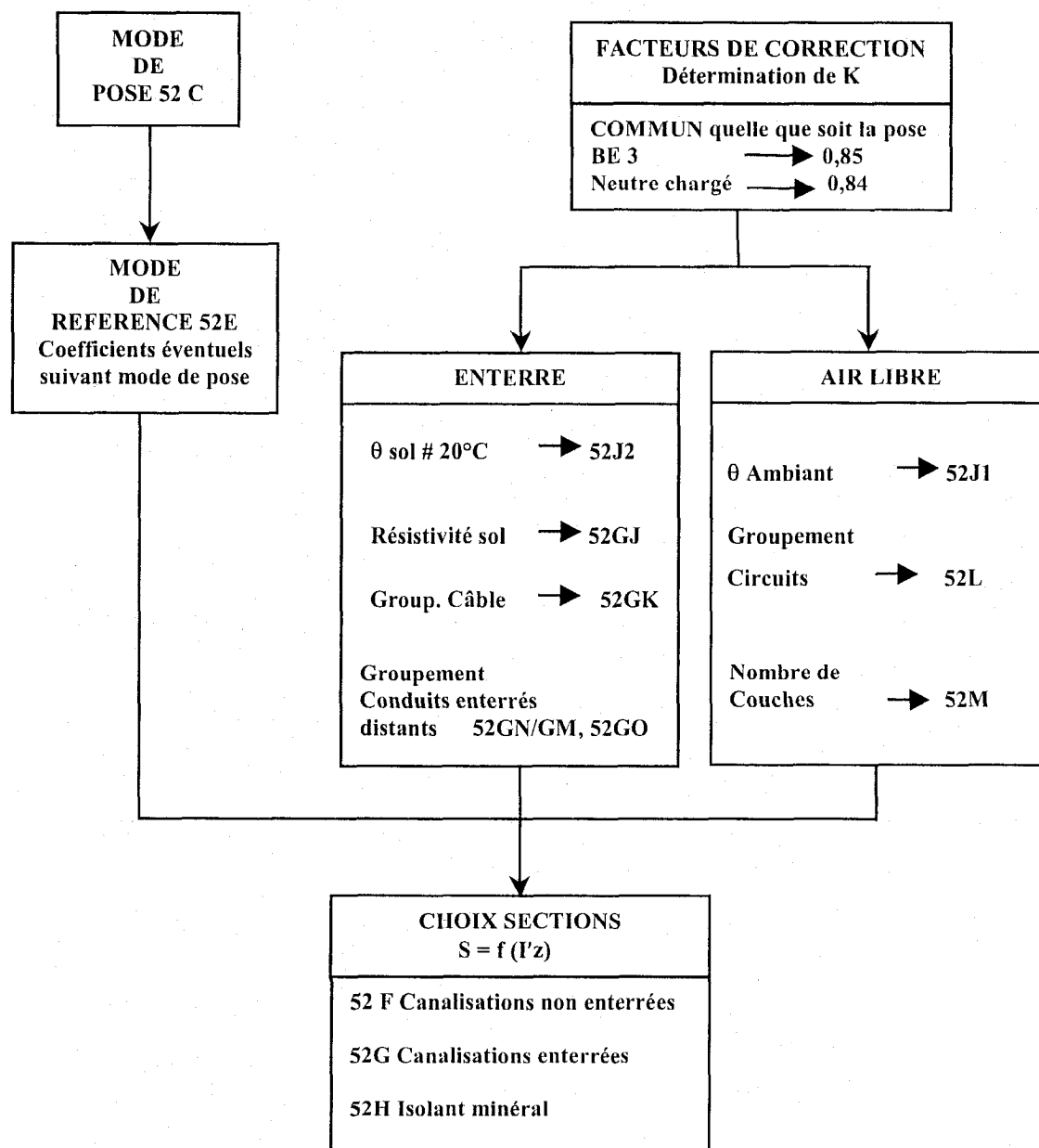
Nota:

La charge transportée par le circuit en service normal doit être pratiquement équilibrée entre les phases.

Un conducteur neutre ne peut être commun à plusieurs circuits.

Dans la pratique, lorsque la réduction de section du conducteur neutre est possible, celle-ci n'est pas inférieure à celle que l'on trouve dans la gamme de câble normalisé et commercialisé.

7. DÉMARCHE D'ÉTUDE

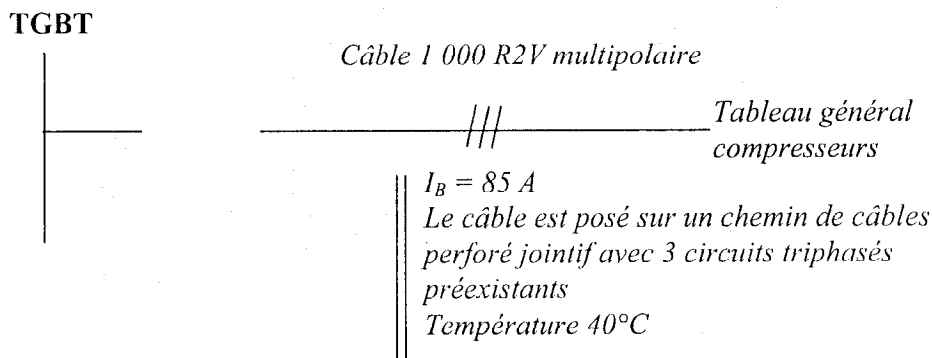


8. APPLICATION PRATIQUE

8.1. Données pour une canalisation à l'air libre

8.1.1. Données de base

Le circuit alimentant l'installation force motrice d'un local compresseur a les caractéristiques suivantes



a. Données complémentaires

- Tableaux 52C, 52E, 52F, 52J1, 52L

b. Questions

Dimensionner la canalisation pour les deux cas suivants

- Protection surcharge réalisée par trois fusibles gl,
- Protection surcharge réalisée par un disjoncteur d'usage général.

8.1.2. Solutions

a. Détermination de la méthode de référence

- Tableaux 52C => référence n° 13
- Tableau 52E => méthode de référence E F1 = 1

b. Facteurs de correction

- Température différente de $40^\circ C$, isolation PR: F2= 0,91 (52J1)
- Neutre (non chargé) F3 = 1
- Ambiance (non explosif) F4 = 1
- Groupement des circuits : F5 = 0,77 (52L)

c. Protection surcharge assurée par fusibles gl :

- Pour un fusible de 100 A (I_n I_B : $I_n = 100 A$)

- Pour un fusible de 100 A : $k_3 = 1,1$
- Calcul de l'intensité admissible :

$$I_Z = \frac{k_3 \times I_n}{F_2 \times F_5} = \frac{1,1 \times 100}{0,91 \times 0,77} \cong 157 \text{ A}$$

- Détermination de la section (tableau 52F) pour PR3 et méthode de référence E

$$* \text{ colonne 6} \Rightarrow \underline{S = 35 \text{ mm}^2}$$

d. Protection surcharge assurée par disjoncteur

- Protection par disjoncteur (I_R, I_B) : 85 A
- Par un disjoncteur : $k_3 = 1$
- Calcul de l'intensité admissible :

$$I_Z = \frac{k_3 \times I_R}{f_3 \times f_4} = \frac{1 \times 85}{0,91 \times 0,77} \cong 121 \text{ A}$$

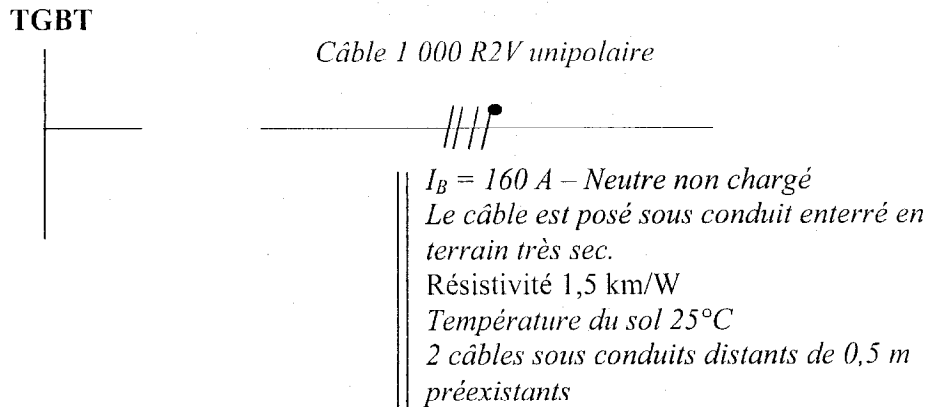
- Détermination de la section (tableau 52F) pour PR3 et méthode de référence E

$$* \text{ colonne 6} \Rightarrow \underline{S = 25 \text{ mm}^2}$$

8.2. Données pour une canalisation enterrée

8.2.1. Données de base

L'alimentation d'un bâtiment industriel a les caractéristiques suivantes



a. Données complémentaires

- Tableaux 52C, 52E, 52GN/GM, 52GJ, 52J2

b. Questions

Dimensionner la canalisation dans le cas d'un disjoncteur d'usage général.

8.2.2. Solution

a. Détermination de la méthode de référence

- Tableaux 52C => référence n° 61
- Tableau 52E => méthode de référence D : $f_1 = 0,8$

b. Facteurs de correction

- Température 25°C et isolation au PR : $f_2 = 0,96$ (52J2)
- Nature du sol (très sec) : $f_3 = 0,86$ (52GJ)
- Nature du neutre (non chargé) : $f_4 = 1$
- Groupement des circuits (3 conduits distants de 0,5 m) : $f_5 = 0,91$ (52GN)

c. Protection surcharge assurée par disjoncteur

- $I_R > \text{ou} = I_B = 160 \text{ A}$

- Coefficient $k_3 = 1$

- Calcul de l'intensité admissible :

$$I_z = \frac{k_3 \times I_R}{f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_5} = \frac{1 \times 160}{0,80 \times 0,96 \times 0,86 \times 0,91} \cong 267 \text{ A}$$

- Détermination de la section (tableau 52G) pour PR3 cuivre $S = 95 \text{ mm}^2$

Dans le cas où le conducteur neutre serait chargé :

- Facteur de correction $f_6 = 0,84$

$$I_z = \frac{267}{0,84} \cong 318 \text{ A}$$

- Tableau 52G => $S = 120 \text{ mm}^2$

CHUTES DE TENSION EN BASSE TENSION

CHUTES DE TENSION EN BASSE TENSION

SOMMAIRE

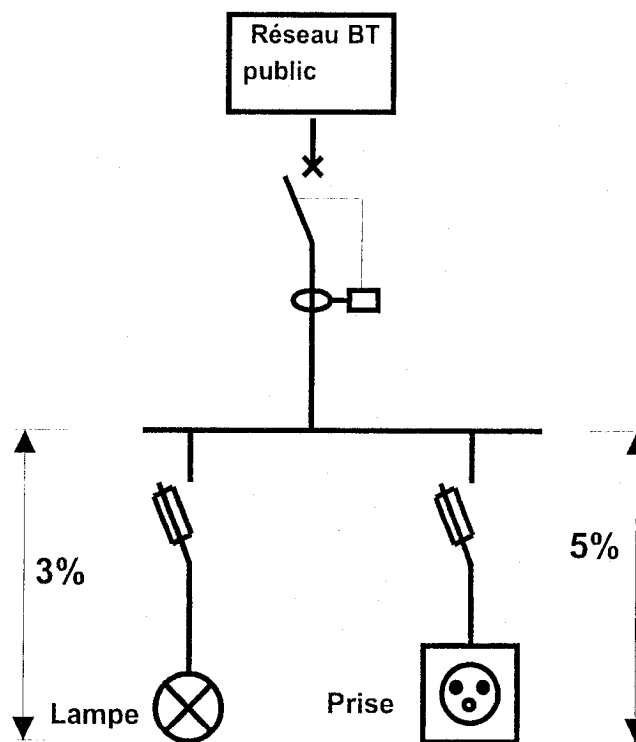
2. VALEURS AUTORISEES.....	2
1.1. Alimentation par le réseau BT de distribution publique.....	2
1.2. Alimentation par poste privé MT/BT.....	3
2. CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION EN LIGNE EN REGIME PERMANENT.....	4
3. ATTRIBUTION D'UNE VALEUR DE CHUTE DE TENSION A CHAQUE NIVEAU.....	5
4. EXEMPLES D'APPLICATION.....	7
5. CHUTE DE TENSION ET PERTES EN LIGNE.....	9

2. VALEURS AUTORISEES

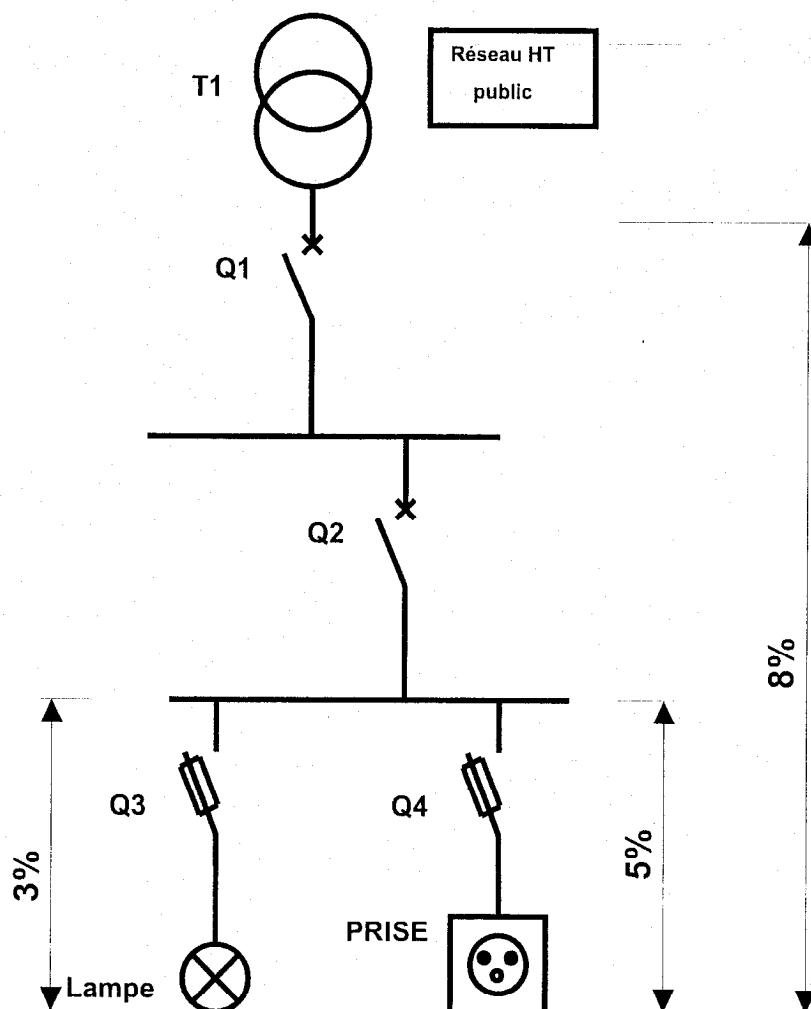
La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation Basse Tension (BT) et tout autre point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous:

Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation		
	Eclairage	Autres usages (force motrice)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	3%	5%
Alimentation par poste privé HT/BT	6%	8%

1.1. Alimentation par le réseau BT de distribution publique



1.2. Alimentation par poste privé MT/BT



Il est recommandé de ne pas atteindre la chute de tension maximale autorisée pour les raisons suivantes:

- Pour qu'un moteur puisse démarrer convenablement, il ne faut pas que la chute de tension au démarrage atteigne 10% de la tension nominale. Si la chute de tension est de 8% en régime nominale, elle atteindra probablement au démarrage une valeur plus élevée (15 à 30%) car le courant de démarrage d'un moteur peut atteindre ou même dépasser 5 à 7 I_n (I_n = Intensité nominale du moteur)
- Une chute de tension est synonyme de pertes en ligne, ce qui va à l'encontre des économies d'énergie.

2. CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION EN LIGNE EN REGIME PERMANENT

Le tableau ci-après donne les formules usuelles qui permettent de calculer la chute de tension dans un circuit donné:

Circuit	Chute de tension	
	En Volt	En %
Monophasé: deux phases	$\Delta u = 2.I_B \left(R \frac{L}{S} \cos \varphi + XL \sin \varphi \right)$	$\frac{100.\Delta U}{U_n}$
Monophasé: phase et neutre	$\Delta u = 2.I_B \left(R \frac{L}{S} \cos \varphi + XL \sin \varphi \right)$	$\frac{100.\Delta V}{V_n}$
Triphasé équilibré: trois phases (avec ou sans neutre)	$\Delta u = \sqrt{3}.I_B \left(R \frac{L}{S} \cos \varphi + XL \sin \varphi \right)$	$\frac{100.\Delta U}{U_n}$

Où:

R : Résistivité:

- 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre,
- 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.

L : Longueur simple de la canalisation, en mètres.

S : Section des conducteurs, en mm^2

$\cos \varphi$: Facteur de puissance: en l'absence d'indications précises, le facteur de puissance est pris égal à 0,8 ($\sin \varphi = 0,6$).

X : Réactance linéique des conducteurs; en l'absence d'autres indications $X = 0,08\text{m}\Omega/\text{m}$.

I_B : Courant d'emploi, en ampères.

U_n : Tension nominale entre phases (Tension composée) en volts (V)

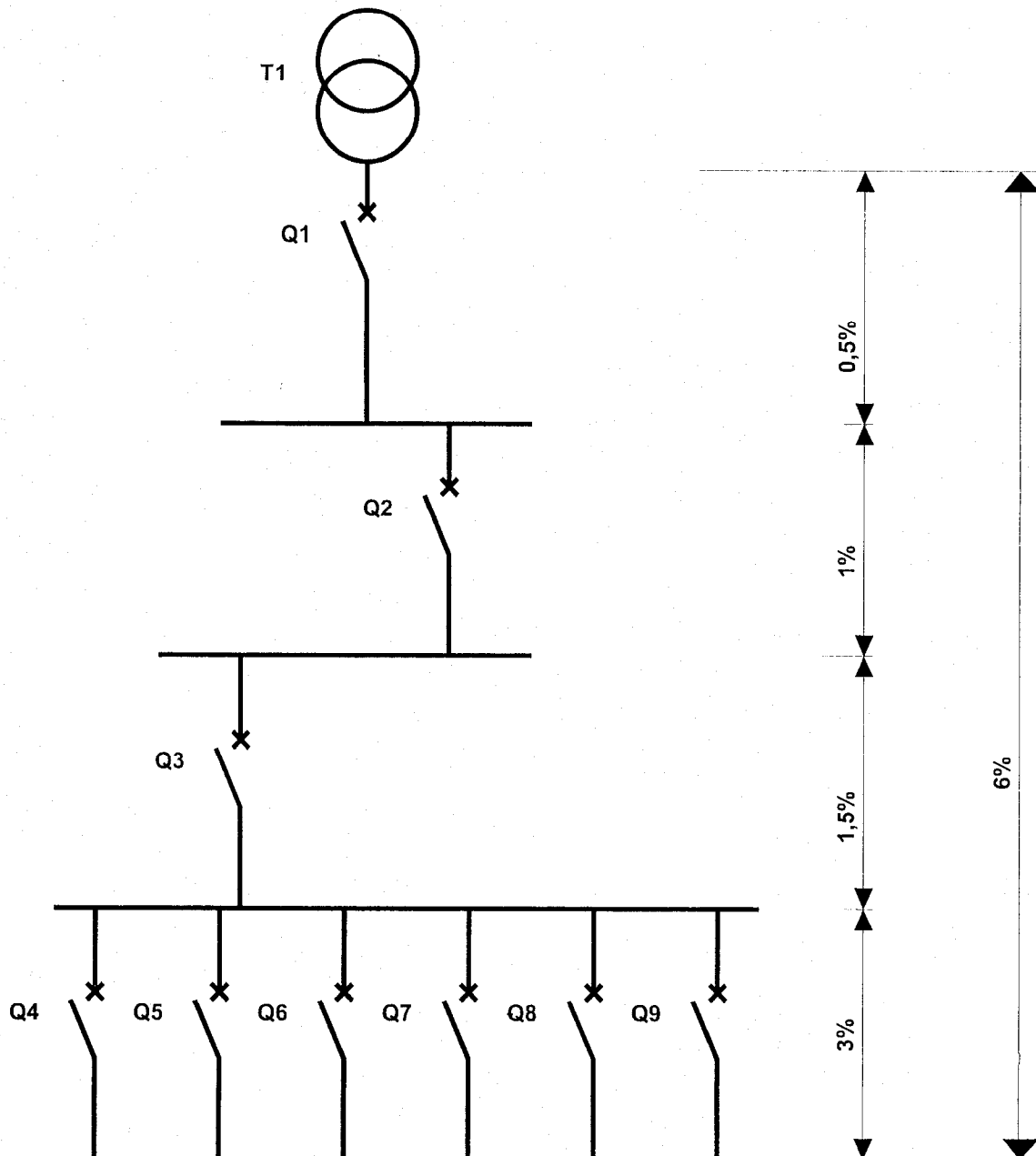
V_n : Tension nominale entre phase et neutre (Tension simple) en volts (V)

$\Delta U, \Delta V$: Chutes de tension en volts (V) respectivement entre phases et entre phase et neutre

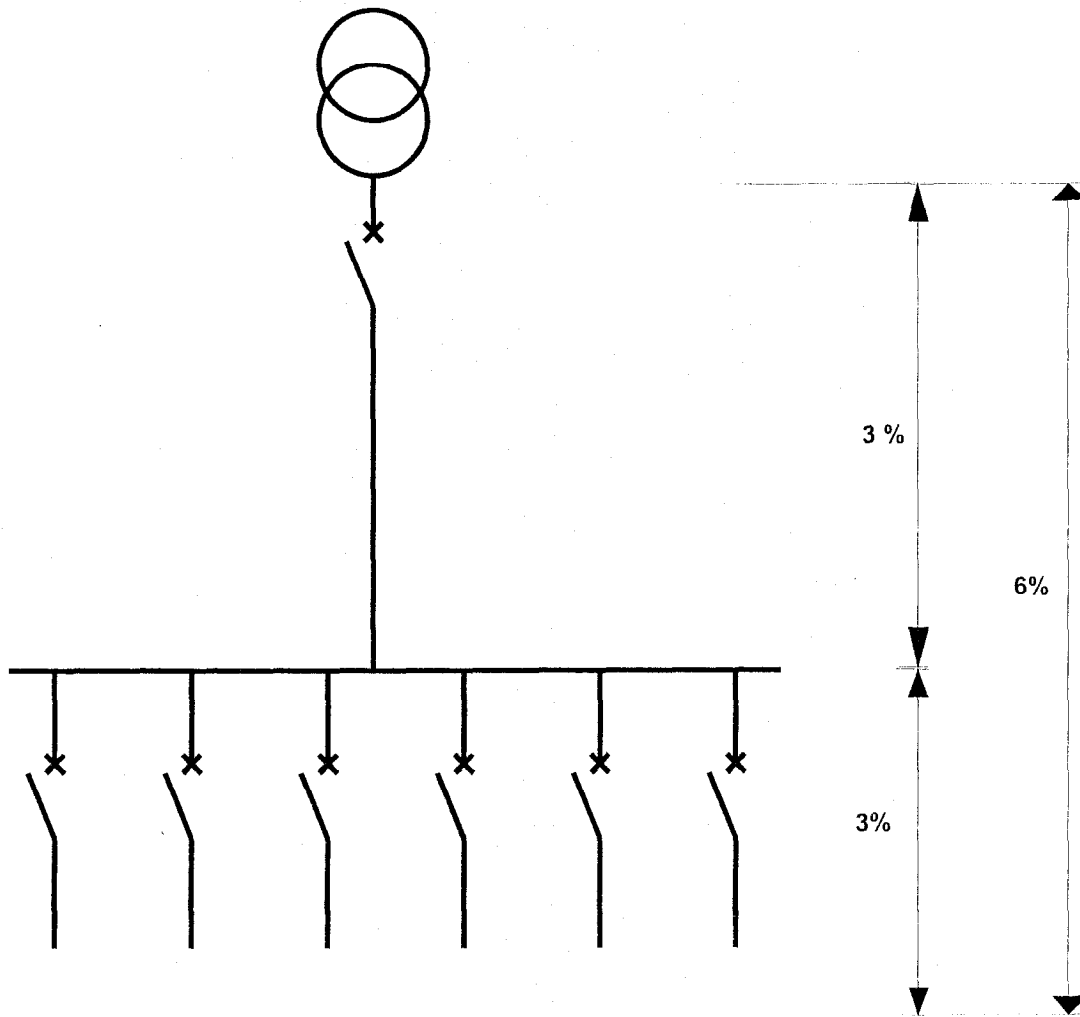
3. ATTRIBUTION D'UNE VALEUR DE CHUTE DE TENSION A CHAQUE NIVEAU

Pour les installations avec plusieurs niveaux de distribution, il est souhaitable d'attribuer à chaque niveau une valeur maximale de chute de tension à ne pas dépasser.

Exemple n°1

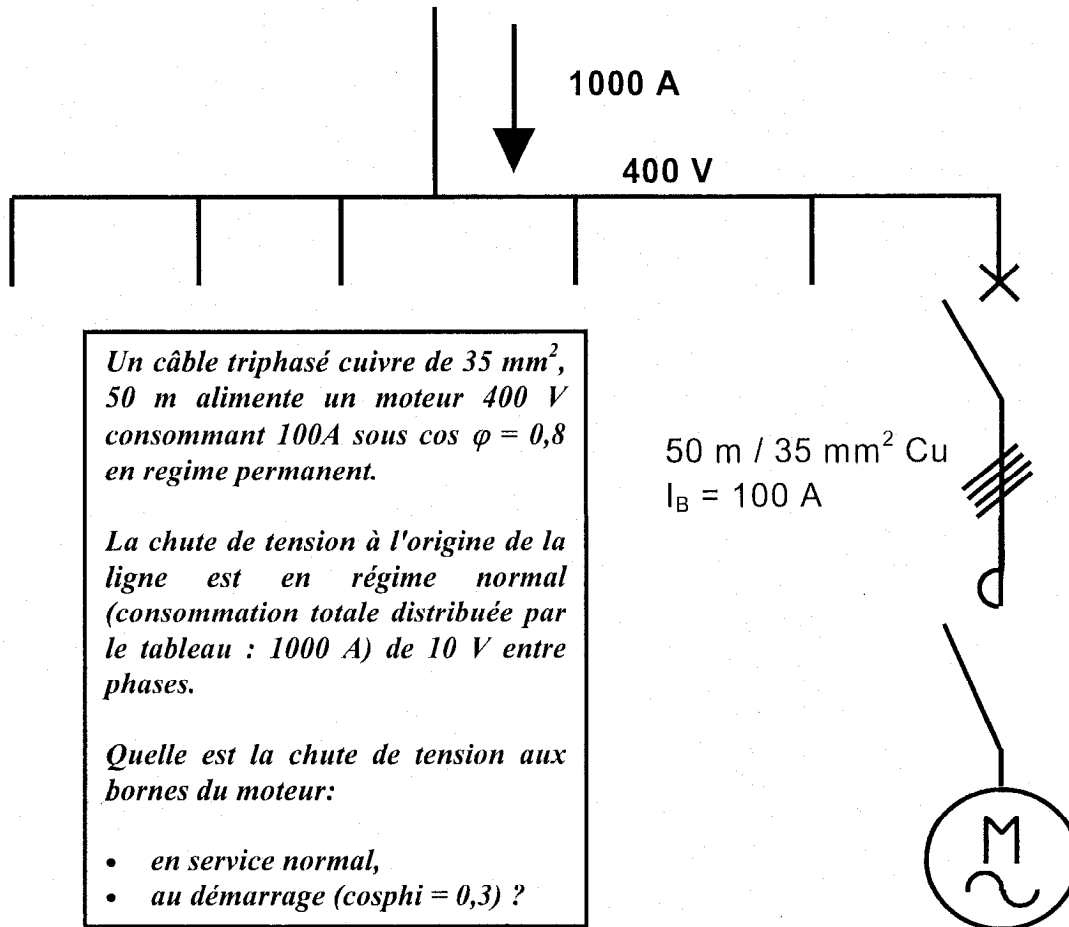


Exemple n°2



4. EXEMPLES D'APPLICATION

Exemple 1



- Chute de tension en régime normal :

Chute de tension du câble 50 m / 35 mm² cu : On a $\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_B \left(R \frac{L}{S} \cos \varphi + X L \sin \varphi \right)$

$$\Delta U_{\text{câble}} = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot \left(0,0225 \times \frac{50}{35} \times 0,8 + 0,08 \cdot 10^{-3} \times 50 \times 0,6 \right) = 4,87 \text{ V}$$

Chute de tension totale aux bornes du moteur = ΔU tableau + ΔU câble

$$\Delta U_{\text{Moteur}} = 10 + 4,87 = 14,87 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{14,87}{400} \times 100 = 3,72\% , \text{ valeur inférieure au maximum autorisée par la norme (8\%).}$$

- Chute de tension au démarrage

On suppose I_d (démarrage) = 5 I_n (nominale) d'où:

$$\Delta U_{\text{câble}} (\text{démarrage}) = 0,52 \times 500 \times 0,050 = 13 \text{ V}$$

Dans cette situation, la chute de tension au niveau du tableau est supérieure à 10 V du fait du courant de démarrage du moteur.

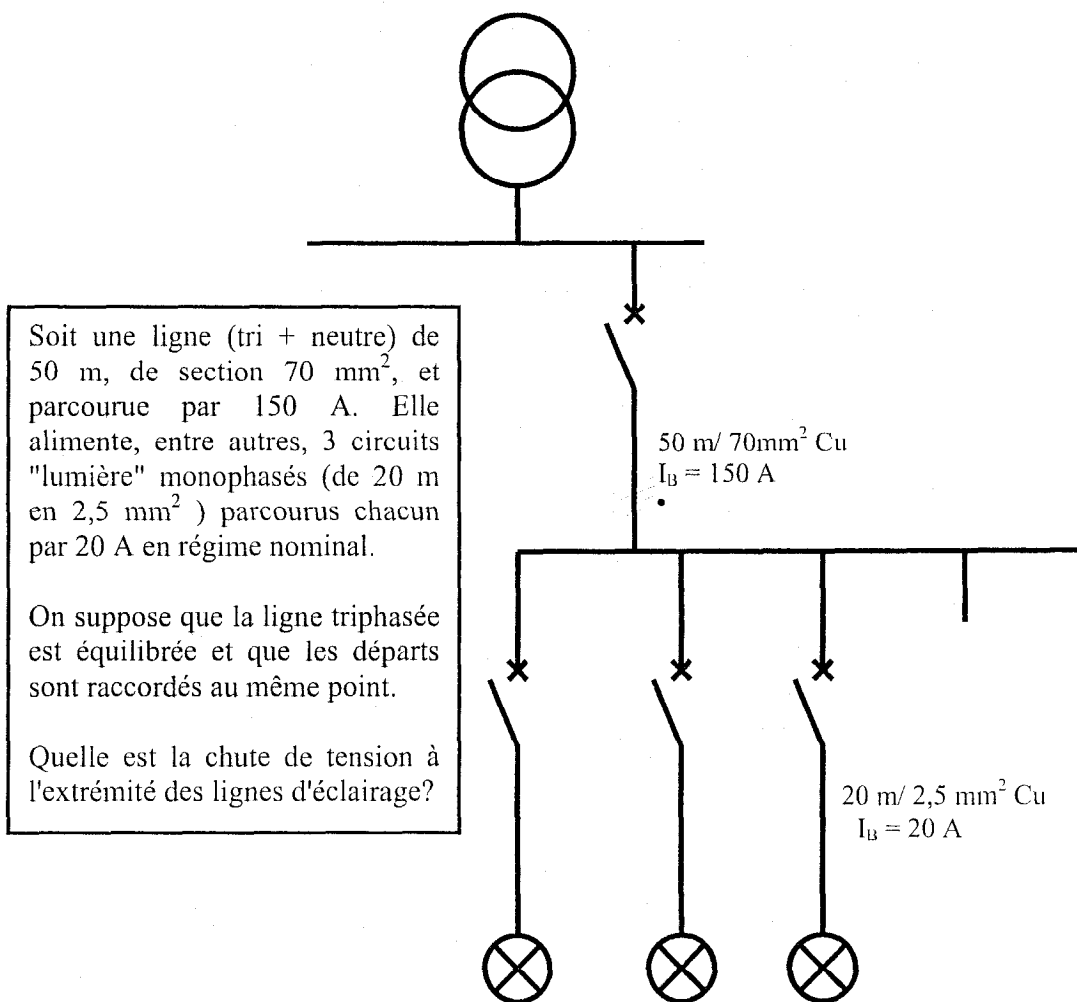
On suppose que le courant dans la ligne d'alimentation du tableau est pendant le démarrage du moteur de:

$(1000 - 100) + 500 = 1.400$ A. la chute de tension au niveau du tableau vaudra :

$$\Delta U_{\text{tableau}} = 10 \times \frac{1.400}{1.000} = 14 \text{ V}$$

$\Delta U_{\text{total}} = 13 + 14 = 27 \text{ V}$ soit $\frac{27}{400} \times 100 = 6,75\%$ ce qui est tout à fait acceptable pendant un démarrage

Exemple 2



Soit une ligne (tri + neutre) de 50 m, de section 70 mm², et parcourue par 150 A. Elle alimente, entre autres, 3 circuits "lumière" monophasés (de 20 m en 2,5 mm²) parcourus chacun par 20 A en régime nominal.

On suppose que la ligne triphasée est équilibrée et que les départs sont raccordés au même point.

Quelle est la chute de tension à l'extrémité des lignes d'éclairage?

- Chute de tension dans le câble triphasé + neutre
Le tableau N° 1 donne 0,55 V / A / km.

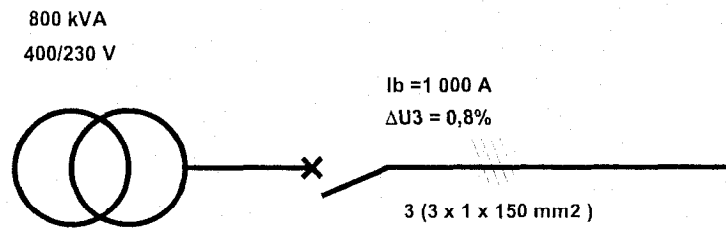
$\Delta U_{\text{câble tri + N}} = 0,55 \times 150 \times 0,050 = 4,125 \text{ V}$ entre phases soit $\frac{4,125}{\sqrt{3}} = 2,38 \text{ V}$ entre phase et neutre.

- Chute de tension dans un quelconque des câbles mono:

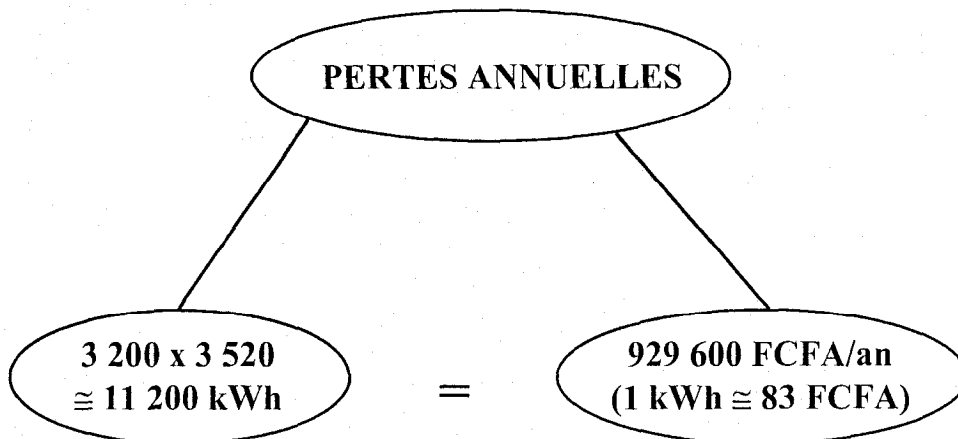
$$\Delta U \text{ câble mono} = 18 \times 20 \times 0,020 = 7,2 \text{ V}$$

la chute de tension totale est donc de $7,2 + 2,38 = 9,6 \text{ V}$; en pour cent elle sera de: $\frac{9,6}{230} \times 100 = 4,2\%$, valeur inférieure au maximum autorisée par la norme (6%).

5. CHUTE DE TENSION ET PERTES EN LIGNE



- Puissance dissipée: $R.I^2 = U.I = \frac{0,8}{100} \times 400 \times 1000 = 3200 \text{ W}$
 - Temps de fonctionnement de l'installation: horaire: 2 x 8 heures/jour pendant 220 jours
- $\Rightarrow 2 \times 8 \times 220 = 3520 \text{ heures/an}$



8 - LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

8 - LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

SOMMAIRE

1. DEFINITIONS	2
2. MODALITES DE CALCUL	2
2.1. Courant de court-circuit triphasé en tout point d'une installation BT.....	2
2.1.1. Méthode de calcul de Z_T	3
2.1.1. Détermination des impédance d'un réseau.....	3
2.2. Exemple de calcul des courants de court-circuit.....	5

LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

1. DEFINITIONS

- **Court-circuit triphasé symétrique** : défaut d'isolement affectent, en un point d'un circuit, l'ensemble des isolation des **trois conducteurs de phase** entre eux
- **Court-circuit biphasé** : défaut d'isolement affectent, en un point d'un circuit, l'isolation de **deux conducteurs de phase** entre eux
- **Court-circuit monophasé phasea-neutre** : défaut d'isolement affectent, en un point d'un circuit, l'isolation d'**un conducteurs de phase et du conducteur neutre**, entre eux
- **Court-circuit franc** : défaut d'impédance nulle ou négligeable.

2. MODALITES DE CALCUL

Dans les calculs, il faut considérer les cas suivants :

Type de court-circuit	Courant de court-circuit	
	Maximaux	Minimaux
Court-circuit triphasé symétrique	I_{cc3}	
Court-circuit biphasé	I_{cc2}	I_{cc2}
Court-circuit monophasé phase neutre	I_{cc1}	I_{cc1}

Il n'est pas nécessaire de calculer les courants de court-circuit **minimaux**, lorsqu'un seul dispositif assure à la fois la protection contre les surcharges et contre les courts-circuits.

2.1. Courant de court-circuit triphasé en tout point d'une installation BT

Dans une installation triphasé, I_{cc} tri en un point du réseau est donnée par la formule :

$$I_{cc\text{tri}} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_T}$$

I_{cc} tri (A) = courant de court-circuit au point de défaut présumé

U_{20} = tension entre phase à vide au secondaire d'un transformateur HT/BT (en V),

Z_T = Impédance totale par phase du réseau en amont du défaut (en Ω).

2.1.1. Méthode de calcul de Z_T

Chaque constituant d'un réseau (réseau HT, transformateur, câble, disjoncteur, barres etc.) se caractérise par une impédance Z composée d'un élément résistant (R), et d'un élément inductif (X), appelé réactance. R et X s'expriment en ohms.

La méthode de calcul consiste à décomposer le réseau en tronçon et à calculer, pour chaque d'eux les R et X , puis les additionner arithmétiquement mais séparément :

$$\begin{aligned} R_T &= \sum R_i ; \\ X_T &= \sum X_i ; \\ Z_T &= \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \end{aligned}$$

2.1.1. Détermination des impédance d'un réseau

- Réseau amont

La puissance de court-circuit du réseau amont n'est jamais infinie. Cette puissance HT (P_{cc}) est donnée par le distributeur d'énergie. L'impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur HT/BT vaut :

$$Z_a = \frac{U_o^2}{P_{cc}}$$

Nota :

* R_a est négligeable devant X_a ; on peut alors considérer $X_a = Z_a$

* Si un calcul est nécessaire, on peut prendre $\frac{R_a}{X_a} = 0,15$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de R_a et de X_a pour les puissance de court-circuit les plus fréquentes.

Pcc	Uo (V)	Ra (mΩ)	Xa (mΩ)
250 MVA	237	0,033	0,222
	410	0,1	0,700
500 MVA	237	0,017	0,111
	410	0,050	0,350

Impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur HT/BT

• **Transformateur**

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'impédance, de la résistance et de la réactance des transformateurs couramment utilisés en fonction de leur puissance nominale et de la tension à vide du secondaire.

puissance (kVA)	U ₂₀ = 237 V				U ₂₀ = 410 V			
	U _{cc} (%)	R _{TH} (mΩ)	X _{TH} (mΩ)	Z _{TH} (mΩ)	U _{cc} (%)	R _{TH} (mΩ)	X _{TH} (mΩ)	Z _{TH} (mΩ)
10	4	11,75	19,3	22,97	4	35,30	57,23	67,75
100	4	5,15	10,08	14,08	4	15,61	39,02	42,00
250	4	2,92	5,50	6,90	4	8,95	25,57	26,93
515	4	2,21	3,76	4,18	4	6,87	20,22	21,84
900	4	1,814	3,38	3,82	4	5,83	18,04	18,81
1500	4	1,205	2,32	2,49	4	3,90	12,87	13,45
2500	4	0,82	1,48	1,67	4	2,65	10,29	10,67
3000	4,5	0,885	1,33	1,46	4,5	2,88	9	9,46
5000	5,5	0,68	0,91	1,09	5,5	2,24	6,10	6,405
10000					5,5	1,515	4,16	4,39
15000					6	1,386	3,14	3,50
20000					6,5	1,284	2,34	2,56

Impédance, résistance et réactance d'un transformateur

• **Disjoncteur**

L'impédance d'un disjoncteur ne doit être prise en compte que pour des appareils en amont de celui qui doit ouvrir sur le court-circuit envisagé. La réactance est prise égale à 0,15 mΩ et la résistance négligeable.

• **Jeu de barres**

La résistance d'un jeu de barre est généralement négligeable. La réactance est égale à 0,15mohm/m.

• **Canalisations**

La résistance se calcule à l'aide de la formule: $R_c = \rho \times \frac{L}{S}$ avec :

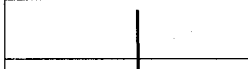
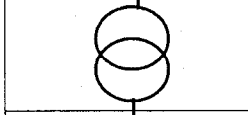
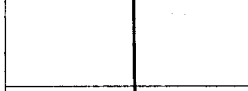

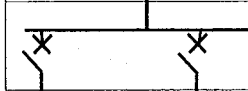
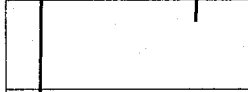
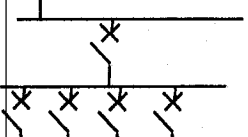
- * ρ =résistivité des conducteurs à la température normale de fonctionnement,
 - $\rho = 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre
 - $\rho = 36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium
- * L = longueur de la canalisation
- * S = section des conducteurs en mm².

La **réactance** peut être **négligeable** pour des **sections inférieures à 50 mm²**. En absence d'informations du fabricant, on considérera **X_c = 0,08 mΩ/m**

Cas de plusieurs conducteurs en parallèle par phase

- la résistance à considérer est égale à la résistance d'un conducteur diviser par le nombre de conducteurs en parallèle.
- La réactance n'est pratiquement pas à modifier.

2.2. Exemple de calcul des courants de court-circuit

	R (mΩ)	X (mΩ)	RT (mΩ)	XT (mΩ)	$I_{cc} = \frac{410}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$ (kA)
 Réseau amont Pcc = 500 MVA	0,050	0,35			
 Transformateur 20 kV/410 V Pn = 1000 kVA Ucc = 5%	2,24	8,10			
 Câble unipolaire 5 m cuivre 4x240 mm ² /phase	0,12 ⁽¹⁾	0,40 ^(a)	2,41	8,85	25,80
 Disjoncteur Général	0	0,15			
 Jeu de barres 10 m	0	1,5	2,41	10,50	21,97
 Câble tripolaire 100 m 95 mm ² cuivre	23,68 ⁽²⁾	8 ^(b)	26,09	18,50	7,40
 Câble tripolaire 20 m 10 mm ² cuivre circuits terminaux	45 ⁽³⁾	1,6 ^(c)	71,09	20,1	3,20

$$^{(1)} R_c = \frac{22,5}{4} \times \frac{5}{240}$$

$$^{(a)} X_c = 0,08 \times 5$$

$$^{(2)} R_c = 22,5 \times \frac{100}{95}$$

$$^{(b)} X_c = 0,08 \times 100$$

$$^{(3)} R_c = 22,5 \times \frac{20}{10}$$

$$^{(c)} X_c = 0,08 \times 20$$

**ASPECT ECONOMIE D'ENERGIE DANS LA PHASE DE
CONCEPTION**

ASPECT ECONOMIE D'ENERGIE DANS LA PHASE DE CONCEPTION

SOMMAIRE

1. GENERALITES	2
2. MESURES D'ECONOMIE EN ECLAIRAGE DANS LA PHASE CONCEPTUELLE DES PROJETS	2
2.1. CHOIX DES LUMINAIRES	2
2.2. CARACTERISTIQUES DES LAMPES D'USAGE COURANT	3
2.3. LAMPES A ECONOMIE OU LAMPES COMPACTES SUBSTITUTION AUX LAMPES INCANDESCENCES	4
2.4. COMPARAISON DES ECONOMIES POSSIBLES SELON LE TYPE DE LAMPE UTILISE	5
2.4. RESUME DES MESURES D'ECONOMIES EN ECLAIRAGE DANS LES ETUDES DE PROJETS	6
3. INFLUENCE DU FACTEUR DE PUISSANCE	6
3.1. CONSEQUENCES D'UN MAUVAIS FACTEUR DE PUISSANCE	7
3.2. COMMENT AMELIORER LE FACTEUR DE PUISSANCE	7
3.2.1. GENERALITES	7
3.2.2. PRINCIPE DE LA COMPENSATION	8
3.3. DIFFERENTS MODE DE COMPENSATION	9
3.3.1. COMPENSATION GLOBALE	9
3.3.2. COMPENSATION PAR SECTEUR OU COMPENSATION PARTIELLE	10
3.3.3. COMPENSATION INDIVIDUELLE	10
3.3.4. COMPENSATION AUX BORNES D'UN TRANSFORMATEUR	11
3.3.5. COMPENSATION AUTOMATIQUE	12
3.4. DIMENSIONNEMENT D'UNE BATTERIE DE CONDENSATEURS	12
3.4.1. A LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION	12
3.4.2. POUR AUGMENTER LA PUISSANCE DISPONIBLE DE LA SOURCE D'ALIMENTATION	13
4. EQUILIBRAGE DES PHASES	15

1. GENERALITES

La crise économique mondiale a amené les concepteurs d'inclure dans la phrase de la conception des projets la notion de "d'utilisation rationnelle de l'énergie (U.R.E) " **Erreur ! Signet non défini.****Erreur ! Signet non défini.** **Erreur ! Signet non défini.****Erreur ! Signet non défini.****Erreur ! Signet non défini.**

Pour les projet d'électrification, le concept "économie d'énergie" doit être un primordial depuis le début de l'étude car influencés par des éléments fondamentaux suivants, aussi bien en investissement qu'en exploitation :

- **nature des récepteurs en particulier les systèmes de climatisation, les appareillages d'éclairage et leur système d'allumage,**
- **facteur de puissance de l'installation,**
- **déséquilibre des phases** (répartition inégale des charges sur les installations triphasé + neutre)

2. MESURES D'ECONOMIE EN ECLAIRAGE DANS LA PHASE CONCEPTUELLE DES PROJETS

Il existe sur le marché un certain nombre d'accessoires qu'il sera utile d'examiner pour y découvrir des applications qui judicieusement utilisées nous permettrons d'effectuer des économies sur l'éclairage :

- **les cellules photo-électriques** qui mettent à l'arrêt les éclairages extérieurs, des halls d'entrées, des couloirs, ou tout autre espace de transit où la lumière naturelles peut suffire au besoin d'éclairage ;
- **les interrupteurs à minuterie** qui limitent le temps d'éclairage et peuvent s'installer dans les couloirs, les escaliers, et tous les locaux dont l'occupation est d'une durée de temps limitée ;
- **les détecteurs de personnes** qui arrêtent l'éclairage des salles de classe, gymnases, auditoriums et autres locaux quelque temps après le départ des occupants ;
- **les systèmes d'ajustement des niveaux d'éclairage** selon la lumière ambiante qui modifie la puissance de l'éclairage si l'éclairage naturel est abondant.

2.1. CHOIX DES LUMINAIRES

Un luminaire est un appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière émise par les lampes. Il existe aujourd'hui des luminaires performants dont il faut tenir compte dans une nouvelle installation. Les points suivants sont à prendre en considération :

- système de réflexion : performance, tenue dans le temps, résistance à l'humidité, l'empoussiérage;
- système de diffusion : système de grilles amélioré, nettoyage plus ou moins aisé;
- accès : démontage plus ou moins facile; encombrement.

2.2. CARACTERISTIQUES DES LAMPES D'USAGE COURANT

TYPES DE LAMPES	EFFICACITE LUMINEUSE (lum/w)	PUISSANCE UNITAIRE TOTALE (W)	DUREE DE VIE MOYENNE (HEURES)	TENUE AUX VIBRATIONS	TENUE AUX allum. répétitifs de courte durée	FLUX LUMINEUX A L'ALLUMAGE A FROID	FLUX LUMINEUX AU REALUMINAGE A CHAUD	COULEUR APPARENTE	RENDU des couleurs IRC
LAMPE A INCANDESCENCE	5 à 25	40 à 1000 25 à 300	1000 1000 à 2000	mauvaise bonne	très bonne	instantané	instantané	chaude	100
Traditionnelle Miroir									
LAMPES HALOGENES	15 à 25	300 à 2000	1000 à 2000	mauvaise	très bonne	instantané	instantané	chaude	100
LAMPES FLUORESCENTES COMPACTES (à économies d'énergie)	25 à 63	5 à 25	5000	moyenne	moyenne (influe sur la durée de vie)	quelques secondes	presque instantané	chaude	85
TUBES FLUORESCENTS									
Allumage starter Allumage électronique Allumage rapide Allumage instantané	45 à 85	6 à 80	7000	moyenne	bonne (*) très bonne (*) mauvaise	quelques secondes instantané rapide instantané	quelque secondes instantané ≈ instantané instantané	chaude neutre ou froide	50 à 93
LAMPES A DECHARGE					du fait de leur temps de mise en régime ou du délai de réallumage à chaud, les lampes à décharge ne sont pas conçues pour des allumage répétitifs ou brefs				
Lumière mixte	11 à 25	100 à 500	4500 à 6000	mauvais		instantané	après refroidissement (≈ 10 mn)	neutre	50 à 93
Sodium haute pression	65 à 125	50 à 1000	6000	bonne		80% après 4 à 8 sec.	rapide ap. 1 à 3 mn	chaude	médiocre
Sodium de basse pression	100 à 180	18 à 180	6000	bonne à moy.		80% après 10 sec.	instantané avec alimentation hybride	jaune	inexistant
Iodures métalliques	70 à 80	400 à 2000	2000 à 6000	bonne	80% après 3 à 5 sec.	après refroidissement (≈ 10 mn)	neutre	65	

(*) Avec appareillages spéciaux

2.3. LAMPES A ECONOMIE OU LAMPES COMPACTES SUBSTITUTION AUX LAMPES INCANDESCENCES

TYPE DE LAMPES	LAMPES FLUORESCENTES MINIATURISEES (STARTER)				LAMPES COMPACTES (A STARTER + BALLAST)			
	5	7	9	11	9	13	18	25
PUISSANCE MINIMALE (W)	5	7	9	11	9	13	18	25
PUISSANCE NOMINALE d'une lampe à incandescence équivalente (W)	25	40	60	75	40	60	75	100
EFFICACITE LUMINEUSE (lum/W) après 100 heures de fonctionnement	25	36	46	63	47,5	46	50	48
FLUX NOMINAL (lum) après 100 heures de fonctionnement	250	400	600	900	425	600	900	1200
CONSOMMATION GLOBALE lampe + ballast (W)	10	11,2	13	14,2	—	—	—	—
ECONOMIE D'ENERGIE (Kwh) à 5000 h	75	144	235	304	155	235	285	375
ECONOMIE D'ENERGIE (Kwh) à 5000h (prix global F.CFA/KWh)								
SURCOUT D'ACHAT F. CFA								

2.4. COMPARAISON DES ECONOMIES POSSIBLES SELON LE TYPE DE LAMPE UTILISE

SI VOUS UTILISEZ ACTUELLEMENT DES	ET LES REMPLACER PAR DES LAMPES			VOUS OBTENEZ LE SUPPLEMENT SUIVANT		VOUS ECONOMISEZ LA QUANTITE D'ENERGIE SUIVANT	
	à vapeur de mercure	aux halogénures	à vapeur de sodium haute pression	Eclairage (L)	Durée	(W) Watts	% Watts
Lampe à incandescence (m) 100 W	50	—	—	0.8x	21x	33	66
	75	—	—	1.5x	21x	7	7
150W par	75	—	—	1.5x	8x	57	38
	100	—	—	2.5x	8x	29	19
200W	100	—	—	1.0x	21x	79	40
	175	—	—	2.1x	21x	-5	-3
	—	175	—	2.8x	10x	10	5
	—	—	150	4.2x	16x	15	8
300W	175	—	—	1.3x	21x	90	30
	250	—	—	1.9x	21x	15	5
	—	175	—	1.7x	10x	95	32
	—	—	150	2.7x	16x	115	38
500 W	250	—	—	1.1x	16x	215	43
	400	—	—	2.1x	16x	46	9
	—	175	—	1.0x	7.5x	295	59
	—	400	—	2.9x	15x	38	8
	—	—	150	1.6x	12x	315	63
	—	—	250	2.5x	16x	180	36
750 W	400	—	—	1.3x	16x	296	40
	—	499	—	1.8x	15x	288	39
	—	—	150	1.0x	12x	565	75
	—	—	250	1.6x	15x	430	57
	—	—	400	3.1x	20x	272	36
1000 W	400	—	—	1.0x	16x	546	55
	—	400	—	1.5x	15x	538	54
	—	—	250	1.3x	15x	680	68
	—	—	400	2.5x	20x	522	52
1500 W	1000	—	—	1.6x	16x	425	28
	—	400	—	0.9x	15x	1038	69
	—	1000	—	2.8x	10x	420	28
	—	—	400	4.0x	20x	1022	68
1500 W—type T3 (Iodure de quartz)	1000	—	—	1.4x	8x	425	28
	—	1000	—	2.3x	5x	420	28
	—	—	400	1.3x	10x	1022	68
	—	—	1000	3.4x	5x	350	23
Lampes à vapeur de mercure 175W	—	175	—	1.3x	0.5x	-5	-2
	—	—	150	2.1x	0.8x	20	0
250 W	—	175	—	0.9x	0.5x	75	26
	—	—	150	2.4x	0.8x	100	35
400 W	—	400	—	1.4x	0.9x	-8	-2
	—	—	150	0.8x	0.8x	269	59
	—	—	250	1.2x	0.9x	134	30
	—	1000	—	2.5x	0.6x	-85	-8
1000 W	—	—	400	1.1x	0.9x	597	55
	—	—	—	—	—	—	—
Lampes aux halogénures 175 W	—	—	150	1.5x	1.6x	25	12
400 W	—	400	250	1.0x	1.0x	142	31
	—	—	400	1.7x	1.3x	-16	-4
1000 W	—	—	1000	1.5x	1.0x	-70	-6
1500 W	—	—	1000	0.8x	6.7x	460	29

(m) Signifie les lumens basés sur 85 p. 100 des lumens initiaux
 (W) Les économie de watts comprennent les pertes de puissance des ballasts
 (L) L'éclairage supplémentaire obtenu est basé sur la moyenne des lumens par la lampe et ne correspond pas nécessairement à l'éclairage effectivement fourni. Et ce, principalement parce que l'efficacité et le diagramme de répartition lumineuse des luminaires n'ont pas été pris en considération.

2.4. RESUME DES MESURES D'ECONOMIES EN ECLAIRAGE DANS LES ETUDES DE PROJETS

- Utilisation des luminaires à haute efficacité énergétique
- Utilisation des sources lumineuses à haut rendement (proscrire les lampes à incandescence, spécialement dans les locaux climatisés)
- Utilisation des sources lumineuses de plus faible puissance électrique
- Réduction du temps d'opération de l'éclairage (horloges, minuteries cellules photo-électrique, ...)
- Installation des commandes d'éclairage modulaires
(exemple : allumage d'un luminaire sur 3, puis 2 sur 3, puis total)
- Réduction à 60 W maximum la puissance des lampes de bureau

3. INFLUENCE DU FACTEUR DE PUISSANCE

Soit à comparer deux installations triphasées par des sources d'énergie à puissance égales à 160 KVA sous 380V.

Caractéristiques	Installation A	Installation B
Puissance active consommée (kW)	90	90
$\cos\varphi$	0,6	0,9
$\text{tg}\varphi$	1,33	0,48
$Q = P \text{tg}\varphi$ (Kvar)	119,7	43,2
Q non facturée par le distributeur (=0,6P) Kvar	54	54
Facturation d'énergie réactive (Kvar)	65,7	0
Puissance S apparente consommées $(S = \frac{P}{\cos\varphi})$ (KVA)	150	100
Réserve de puissance (KVA)	10	60
Intensité consommée (A) $I = \frac{S}{\sqrt{3}.U}$	228A	152A

* Il faut noter que le distributeur ne facture pas l'énergie réactive à l'abonné mais que ce dernier est pénalisé pour un mauvais $\cos\varphi$.

3.1. CONSEQUENCES D'UN MAUVAIS FACTEUR DE PUISSANCE

Nous constatons que l'installation A qui a un faible facteur de puissance ($\cos\varphi=0,6$) consomme plus d'intensité que l'installation B. Ce fait engendrera des coûts supplémentaires tant en investissement qu'en exploitation.

□ **En investissement :**

- surdimensionnement de la source d'installation,
- intensité plus élevée que celle nécessaire au travail fourni d'où augmentation de la section des conducteurs,
- surdimensionnement des dispositifs de production dû à la contrainte thermique élevée.

□ **En exploitation :**

- puissance souscrite élevée, d'où surcoût de la prime fixe qui est proportionnelle à la puissance souscrite,
- pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive (mauvais facteur de puissance),
- perte en ligne (Kwh) élevée car proportionnelle au carré de l'intensité, donc augmentation de la facture.

Conclusion

Il en résulte des inconvénients énumérés qu'une installation avec un mauvais facteur de puissance, est inutilement surdimensionnée et entraîne le paiement de pénalités. Il est donc souhaitable de tenir compte de l'amélioration du facteur puissance dans la phase conceptuelle du projet.

3.2. COMMENT AMELIORER LE FACTEUR DE PUISSANCE

3.2.1. Généralités

L'énergie réactive absorbée par les moteurs et transformateurs varie peu entre le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge. L'énergie augmente avec la puissance fournie. A vide ou à faible charge, leur $\cos\varphi$ sera par conséquent, très mauvais.

Il faudra donc :

- éviter la marche à vide des moteurs (commande individuelle)
- éviter le surdimensionnement des moteurs et des transformateurs.

Les quelques mesures ci-dessus n'étant pas suffisantes dans la plupart des installations, il est donc nécessaire de procéder à une compensation (amélioration du $\cos\varphi$) de l'énergie réactive. Cette méthode simple demeure à court terme l'outil le plus efficace pour réduire la facture d'électricité.

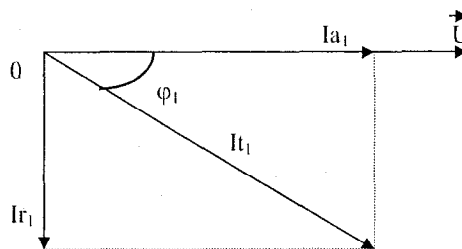
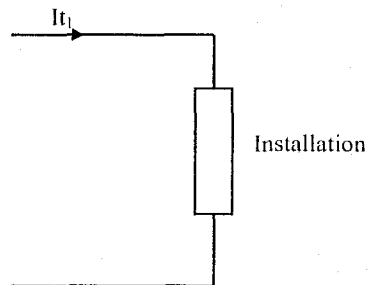
Pour améliorer les facteurs de puissance, l'installation de batteries condensateurs statiques demeure le moyen le plus simple, le plus rapide et le plus économique. Une telle installation

réduira sur place tout ou partie de l'énergie réactive, pratiquement sans consommation supplémentaire d'énergie active.

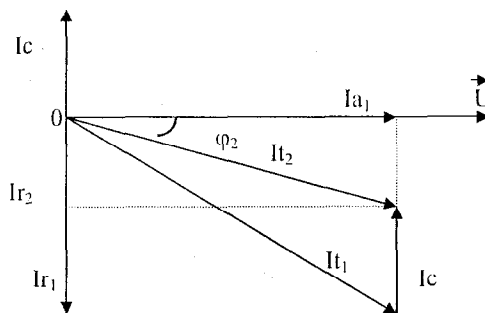
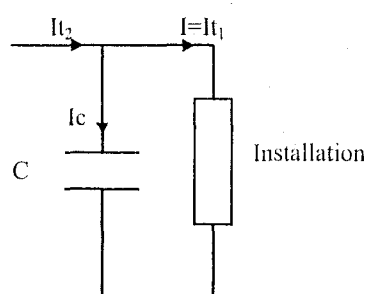
3.2.2. Principe de la compensation

Soit une installation suivante :

Avant compensation



Après compensation



I_a = courant actif consommé

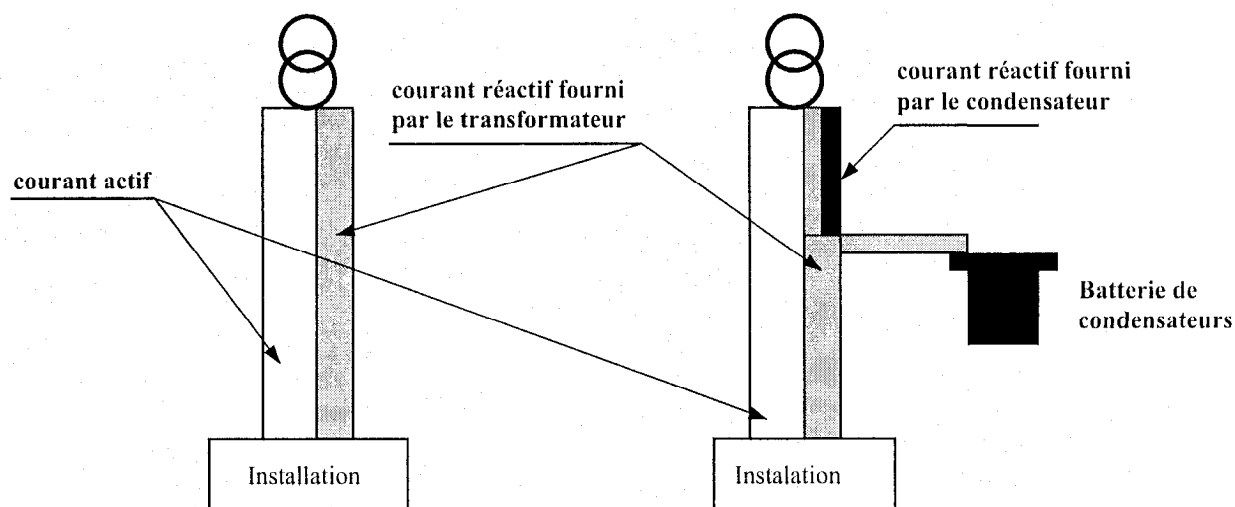
I_{t1} = courant total avant compensation

I_{r1} = courant réactif fourni par le Distributeur avant la compensation

I_{t2} = courant total après la compensation

I_{rc} = courant réactif fourni par le condensateur

I_{r2} = courant réactif fourni par le transformateur après compensation ($I_{r2} = I_{r1} - I_c$)



Le diagramme après compensation traduit l'échange local d'énergie réactive entre l'installation et le condensateur. Le courant total fourni par le réseau I_{t2} est réduit, le rendement de l'installation se trouvera donc amélioré puisque les pertes par effet Joule sont proportionnelles à $I^2 t_0$.

3.3. DIFFERENTS MODE DE COMPENSATION

3.3.1. Compensation globale

La batterie reste en service de façon permanente pendant la marche normale des équipements. Cette compensation globale convient à une installation simple regroupée des moyennes puissances.

Cette solution tient compte du coefficient de foisonnement de l'installation et conduit à des batteries de condensateurs de puissance optimale.

Toutefois, ce mode de compensation, intéressant pour le transformateur et pour l'économie de facturation,

- ne soulage pas les installation en aval (le courant circulant dans les câbles en aval n'est pas diminué),
- entraîne une surcompensation lorsque la charge est faible (risque de surtension). Ce risque peut être éliminé par la compensation automatique avec batterie décomposée en gradin.

3.3.2. Compensation par secteur ou compensation partielle

Cette compensation est conseillée lorsque la puissance de branchement est élevée ou lorsque les ateliers fonctionnent à des régimes différents.

La batterie est branchée sur le tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par secteur (atelier). Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les câbles d'alimentation de chaque secteur. En tenant compte du coefficient de foisonnement des charges de chaque secteur, on obtient une optimisation correcte de la puissance.

Cette solution reste économique; par contre il y a risque de surcompensation par suite de variation de charge importante.

3.3.3. Compensation individuelle

La batterie est raccordé directement aux bornes de l'appareil. La compensation individuelle est envisagée lorsque la puissance du récepteur est importante par rapport à la puissance souscrite.

Cette compensation est techniquement idéale, puisqu'elle introduit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée et en quantité rigoureusement ajustée à la demande. La mise sous tension de la batterie est asservie à la marche du récepteur.

Par contre, elle est partielle vis-à-vis de l'installation et une compensation globale complémentaire reste souvent nécessaire.

N.B.

Dans tous les cas où une batterie de condensateurs est installée aux bornes d'un moteur, il y a lieu de s'assurer que la puissance de la batterie est inférieure à la puissance nécessaire à l'auto-excitation du moteur (voir tableau ci-dessous).

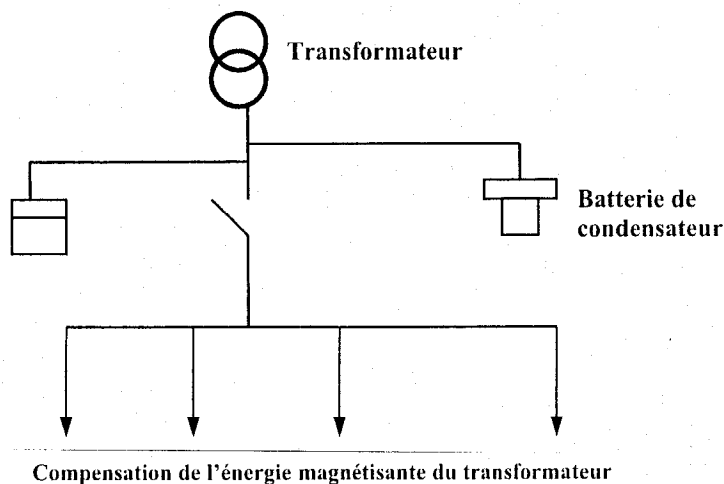
Dans toutes les installations comportant des moteurs à grande inertie et des batteries devra être conçu de telle sorte qu'en cas de manque général de tension, aucune liaison électrique ne puisse subsister entre ces moteurs et les condensateurs afin d'éviter l'auto-excitation des moteurs.

Puissance maximale de la batterie de condensateurs en Kvar pouvant être installées sur un moteur asynchrone sans risque d'auto-excitation (moteur triphasé 220/380V).

PUISSANCE NOMINALE		VITESSE A VIDE (TR/MN)			
KW	ch	300	1500	1000	750
11	15	3	4	5	5
15	20	4,5	5	6	7
18,5	25	5	7	7,5	8
22	30	6	8	9	10
30	40	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

3.3.4. Compensation aux bornes d'un transformateur

La compensation des pertes magnétiques du transformateur (perte à vide) est obtenue en raccordant directement et en permanence aux bornes du secondaire une batterie condensateur sans appareil de coupure car pour les abonnés H.T. à comptage B.T., le distributeur tient compte de la consommation d'énergie réactive du transformateur.



3.3.5. Compensation automatique

Elle peut être du type "compensation globale" ou du type "compensation intermédiaire". La batterie de condensateurs est alors divisée en gradins. La valeur du $\cos\phi$ est détectée par un relais varométrique qui commande automatiquement l'enclenchement des gradins en fonction de la charge et du $\cos\phi$ préfixé. La compensation automatique nécessite l'utilisateur d'un transformateur de courant placé de façon qu'il voit circuler simultanément :

- le courant de l'installation à compenser,
- le courant des condensateurs

Avec la compensation automatique, le problème de la surcompensation est éliminé. Cependant, un risque de sous compensation si la puissance des gradins n'est choisie de façon optimale.

3.4. DIMENSIONNEMENT D'UNE BATTERIE DE CONDENSATEURS

3.4.1. A la conception de l'installation

Le bilan de puissance active et réactive doit être établi à la conception de l'installation afin de réaliser la compensation en conséquence en tenant compte du $\cos\phi$ de chaque niveau et de puissances mises en jeu.

Exemple :

La puissance d'une installation est de 90 KW avec un $\cos\phi = 0,6$ sous 380V.
Calculer la batterie de condensateur nécessaire pour ramener le $\cos\phi$ à 0,9.

	Avant compensation	Après compensation
P (KW)	90	90
$\cos\phi$	0,6	0,9
$\text{tg}\phi$	1,33	0,48
$Q(\text{Kvar}) = P\text{tg}\phi$	119,7	43,2
Puissance de la batterie de condensateur à installer (Kvar)	76,5	

Soit ΔQ la puissance de la batterie de condensateur à installer; on constate d'après le tableau ci-dessus que :

$$\Delta Q = P\text{tg}\phi_1 - P\text{tg}\phi_2 = P(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2) \text{ où :}$$

P = puissance active de l'utilisation

ϕ_1 = déphasage avant compensation

ϕ_2 = déphasage souhaité.

Il suffit donc d'appliquer la formule $\Delta Q = P(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2)$ et choisir la puissance de la batterie de condensateur commercialisée. Il est possible d'utiliser le tableau joint au verso qui donne

en fonction du $\cos\varphi$ du réseau avant compensation et celui désiré après compensation, un coefficient à multiplier par la puissance.

Exemple :

Soit donc la caractéristique d'une installation suivante :

$$P = 90 \text{ KW et } \cos\varphi = 0,6$$

On désire ramener le $\cos\varphi$ à 0,9.

Valeur de la batterie de condensateurs à installer ?

$$\cos\varphi \text{ avant compensation} = 0,6$$

$$\cos\varphi \text{ désiré} = 0,9$$

$$\text{coefficient (Kvar/KW)} = 0,849$$

Puissance de la batterie

$$\text{de condensateurs} = 0,849 \times 90 = 76,41 \text{ Kvar}$$

3.4.2. Pour augmenter la puissance disponible de la source d'alimentation

La puissance active disponible de la source d'alimentation (transformateur, groupe électrogène) est d'autant plus élevée que le facteur de puissance de l'installation est plus grand.

Il est donc intéressant, en prévision d'extension, ou au moment même de l'extension, de relever le facteur de puissance et d'éviter ainsi l'achat d'un nouveau transformateur ou d'un nouveau groupe électrogène.

Exemple :

Une installation alimentée par un transformateur de 400 KVA consomme une puissance de 250 KW sous $\cos\varphi = 0,75$.

On désire installer un nouveau récepteur consommant 75 KW sous $\cos\varphi = 0,8$

Bilan de puissance

	P(KW)	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Q(Kvar)	S(KVA)
Installation existante	250	0,75	0,88	220	333
Nouveau récepteur	75	0,8	0,75	56	94
TOTAL	325	0,76	0,85	276	427

$$Q = P \text{tg}\varphi \qquad \cos\varphi = \frac{P}{S} \qquad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad \text{tg}\varphi = \frac{Q}{P}$$

La puissance totale apparente avec l'installation du nouveau récepteur (427 KVA) est supérieur à la puissance du transformateur (400 KVA); une compensation s'avère nécessaire si nous ne voulons pas remplacer le transformateur.

La puissance minimum de batterie de condensateur à installer pour éviter le remplacement du transformateur.

- Puissance active totale à fournir = 325 KW

- Puissance réactive maximale que le transformateur peut fournir :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{400^2 - 325^2} = 233 \text{ Kvar}$$

- Puissance réactive totale à fournir = 276 Kvar

- Puissance minimale de la batterie à condensateurs

$$276 - 233 = 43 \text{ Kvar}$$

4. EQUILIBRAGE DES PHASES

L'équilibrage des phases est nécessaire quand l'installation comporte des récepteurs monophasés.

Une installation déséquilibrée (mauvaise répartition des charges) entraîne :

- un surdimensionnement des équipements (câble, disjoncteur, source d'alimentation...)
- une augmentation de la facture d'électricité due à une puissance souscrite surestimée.

Il est donc nécessaire d'intégrer l'aspect équilibrage des phases dans la conception des projets

Soit un ensemble mixte bureaux- atelier alimenté en triphasé 220/380 V et comportant les équipements recensés dans le tableau récapitulatif ci-joint :

FONCTION	EQUIPEMENTS
Eclairage	<ul style="list-style-type: none"> • 36 tubes fluo de 58 W compensés $\cos\varphi = 0,85$
Prise de courant	<ul style="list-style-type: none"> • 8 P.C 2P+T 220 V / 10A pour bureau • 23 P.C 2P+T 220 V / 10A industrielles • 1 P.C 3P+T 380V / 32A industrielle
Climatisation et chauffage	<ul style="list-style-type: none"> • 5 climatiseurs de 1,1 kW 220V $\cos\varphi = 0,7$ • 2 chauffes à résistances de 2,5 kW 220 V
Atelier 1	<ul style="list-style-type: none"> • 4 machines de 10 kW 380 V $\cos\varphi = 0,7$
Atelier 2	<ul style="list-style-type: none"> • 1 machine 5 kW 380 V $\cos\varphi = 0,8$
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> • 1 groupe VMC de 3 kW $\cos\varphi = 0,7$

BILAN DE PUISSANCE EN TENATCOMPTE DE L'EQUILIBRAGE DES PHASES

RECEPTEURS	Puissance absorbée (KW)	Ku	Cosφ	Pu (KVA)	KS1	Pt ₁ (KVA)			KS2	Pt ₂ (KVA)	KS3	Pt ₃ (KVA)
						P1	P2	P3				
• départ 1 (7L)	0,51	1	0,85	0,6	1	0,6			1	3,6*		
• départ 2 (7L)	0,51	1	0,85	0,6	1		0,6					
• départ 3 (7L)	0,51	1	0,85	0,6	1		0,6					
• départ 4 (7L)	0,51	1	0,85	0,6	1	0,6						
• départ 5 (8L)	0,58	1	0,85	0,68	1			0,68				
Total ECL						1,2	1,2	0,68				
• départ 1 (8PC 2P)	17,6	0,2*	1	3,52	0,21			0,74	0,8	27,50*		
• départ 2 (8PC 2P)	17,6	1	1	17,6	0,21	3,70						
• départ 3 (8PC 2P)	17,6	1	1	17,6	0,21			3,70				
• départ 4 (7PC 2P)	15,4	1	1	15,4	0,23		3,54					
• départ 5 (1PC 3P)	21	1	1	21	1	7	7	7				
Total P C						10,3	10,54	11,44				
• départ 1 (CL1)	1,1	1	0,7	1,57	1	1,57			1	14,13*	0,8	49,40
• départ 2 (CL2)	1,1	1	0,7	1,57	1		1,57					
• départ 3 (CL3)	1,1	1	0,7	1,57	1		1,57					
• départ 4 (CL4)	1,1	1	0,7	1,57	1		1,57					
• départ 5 (CL5)	1,1	1	0,7	1,57	1			1,57				
• départ 6 (CE1)	2,5	1	1	2,5	1	2,5						
• départ 7 (CE2)	2,5	1	1	2,5	1			2,5				
TOTAL Clim & C E						4,07	4,71	4,07				
	10	0,75	0,7	10,71	0,8	2,87	2,87	2,87	1	8,6*		
ATELIER 2	5	0,75	0,8	4,7	1	1,57	1,57	1,57	1	4,7*		
GROUPE VMC	3	0,75	0,7	3,21	1	1,07	1,07	1,07	1	3,2*		

* Pt₂ = Pt₁ de la phase la plus chargée x 3 x KS2