

# Électricité de chantier

par **Pierre PICARD**  
Conseiller Scientifique à la société FORCLUM

<b>1. Sources d'alimentation</b> .....	C 150 - 2
1.1 Réseau de distribution public .....	— 2
1.2 Postes de livraison HT .....	— 3
1.3 Sources autonomes locales et du type centrale .....	— 3
1.4 Exemple .....	— 3
<b>2. Réseaux de distribution interne</b> .....	— 4
2.1 Critères de définitions .....	— 4
2.2 Tensions d'utilisation, de livraison et de distribution .....	— 5
2.3 Régime du neutre .....	— 7
2.4 Schéma de distribution et fiabilité des installations .....	— 9
2.5 Courants de court-circuit .....	— 12
2.6 Prises et réseaux de terre .....	— 12
2.7 Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique .....	— 13
2.8 Facteur de puissance .....	— 13
<b>3. Canalisations électriques</b> .....	— 13
3.1 Généralités .....	— 13
3.2 Dimensionnement des canalisations électriques .....	— 14
3.3 Lignes aériennes à conducteurs nus ou isolés .....	— 14
3.4 Canalisations souterraines .....	— 14
3.5 Câbles souples .....	— 15
<b>4. Matériel de distribution</b> .....	— 15
4.1 Postes de transformation et de répartition .....	— 15
4.2 Tableaux de distribution BT .....	— 17
4.3 Prises de courant .....	— 17
4.4 Matériel à sécurité renforcée .....	— 18
4.5 Automation .....	— 18
<b>5. Éclairage des chantiers</b> .....	— 18
<b>6. Exemples de puissance mise en œuvre et de consommation</b> .....	— 20
6.1 Génie civil. Tranche 1 de la Centrale nucléaire de Civaux .....	— 20
6.2 Barrage de Jebba (Nigeria) .....	— 20
6.3 Travaux souterrains. Chantier du LEP .....	— 21
<b>Pour en savoir plus</b> .....	Doc. C 150

**D**epuis une dizaine d'années, nous constatons, dans toutes les familles de matériel utilisé par les chantiers de génie civil ou de travaux publics, un accroissement très important du parc de machines électriques. Cette évolution a de nombreuses raisons, entre autres :

- la souplesse d'adaptation du matériel électrique aux contraintes, de plus en plus sévères, de la qualité de la vie (antipollution, bruit, propreté) ;
- la fiabilité accrue des composants électriques, leur entretien réduit ;
- la simplicité de mise en œuvre et d'exploitation ;
- les nouveaux services offerts par : les alimentations statiques de toute puissance, les convertisseurs de fréquence, les moteurs à courant continu très performants (grâce au développement des thyristors de puissance), les variateurs de vitesse pour une très large gamme de moteurs alternatifs, les automates, la commande à distance et la gestion technique centralisée.

Sur les chantiers, on distingue **trois grands domaines d'utilisation** :

— les applications thermiques : centrale frigorifique pour la congélation des sols, fabrication de glace, fourniture d'eau glacée ; production d'eau chaude pour les centrales à béton ; centrale de chaleur ; étuvage ; traitement de l'air ;

— les applications d'éclairage : dans la surveillance et la sécurité des installations, pour les travaux nocturnes, les voies de circulation du personnel, les zones d'activités des engins, le balisage et les alarmes ;

— la force motrice : engins d'excavation, de transport, de ventilation, d'exhaure, dans les travaux souterrains ; carrière : station de concassage et de criblage, centrale à béton, portique de chargement ; atelier de soudure, compresseurs, pompes, grues, téléphériques, blondins, dragues, roues pelles, pelles électriques, etc.

Les installations de chantier diffèrent des installations industrielles en ce qu'elles sont éphémères, évolutives et très exposées.

## 1. Sources d'alimentation

### 1.1 Réseau de distribution public

**Nota** : on se reportera à l'article *Réseau de distribution. Structure et planification* [D 4 210] du traité Génie électrique.

#### 1.1.1 Généralités

Les caractéristiques et les possibilités des réseaux de distribution publics sont très variables d'un pays à l'autre. Il est donc indispensable de se renseigner auprès des organismes compétents.

En France, les conditions sont à peu près identiques d'une région à l'autre, que le distributeur soit EDF ou une Régie.

Jusqu'à une puissance de 250 kVA, l'énergie est fournie en basse tension 400/230 V. Au-delà, elle est fournie en haute tension 20 kV (plus rarement 15 kV ou 30 kV). Enfin, pour les très grosses puissances 10 MVA et plus, des livraisons en très haute tension 63 kV à 230 kV peuvent être envisagées.

Les nouveaux domaines de tension selon la norme UTE 18-510 (11-88) sont les suivants (en courant alternatif) :

— très basse tension :  $U_n \leq 50 \text{ V}$

— basse tension :

BTA :  $50 \text{ V} < U_n \leq 500 \text{ V}$

BTB :  $500 \text{ V} < U_n \leq 1\,000 \text{ V}$

— haute tension :

HTA :  $1\,000 \text{ V} < U_n \leq 50\,000 \text{ V}$

HTB :  $U_n > 50\,000 \text{ V}$

Les tarifs applicables dépendent des modes d'alimentation. Tous les tarifs sont de type binaire, c'est-à-dire que les facturations dépendent en partie de la puissance souscrite et en partie des consommations dans les différentes tranches horaires. Les tarifs en vigueur sont fournis par les services commerciaux du distributeur. Il convient de les étudier sérieusement en fonction des courbes de consommation prévues.

L'option EJP (effacement jour de pointe) peut être intéressante sur un chantier de génie civil s'il peut être arrêté 22 j pendant

l'hiver sur préavis d'EDF, ou s'il est possible, pendant ces 22 j, de se contenter des centrales autonomes.

#### 1.1.2 Alimentations en BT

Elles sont effectuées en dérivation à partir du réseau souterrain ou aérien. Le distributeur assure la protection de sa dérivation et vient raccorder un tableau comportant le comptage et un disjoncteur général de protection, aux bornes aval duquel commencent les installations de l'abonné. L'alimentation des chantiers comportant des moteurs est naturellement réalisée en triphasé. Le distributeur délivre 3 phases et le neutre.

En France, les réseaux de distribution BT (basse tension) sont à neutre à la terre, c'est-à-dire que le conducteur de protection n'est pas délivré. On verra au paragraphe 2.3 ce qui en résulte pour l'abonné.

#### 1.1.3 Alimentations en HT

Les canalisations HT (haute tension) sont aériennes en zone rurale, et souterraines en zone urbaine. Suivant les besoins de l'utilisateur et les possibilités du distributeur, le raccordement peut être assuré en simple dérivation, en coupure d'artère ou en double dérivation. La sécurité d'alimentation ainsi que le coût du raccordement facturé par le distributeur dépendent du schéma retenu. Avant d'arrêter son choix, il importe donc d'obtenir du distributeur les fréquences statistiques des perturbations. Ces perturbations vont du creux de tension de quelques dixièmes de seconde aux pannes de quelques minutes à quelques jours.

Pour simplifier, on peut travailler sur le nombre moyen de creux de tension sur l'année et sur le nombre total d'heures d'indisponibilité.

Le taux d'indisponibilité, obtenu en divisant le nombre d'heures d'indisponibilité par la durée en heures de la période de référence, est une des mesures de la qualité du réseau. Il dépend, bien entendu, du mode de livraison. Le coût prévisible, pour l'entrepreneur, des indisponibilités permet donc d'orienter les choix en matière de schéma de livraison.

### 1.1.4 Alimentation en THT

Eu égard aux coûts élevés des investissements nécessaires comparés aux gains de tarification, ce mode de raccordement ne se justifie généralement pas pour des installations éphémères. Toutefois, il peut advenir que le distributeur ne puisse pas assurer la livraison de la puissance nécessaire en haute tension. Il ne peut s'agir que de chantiers tout à fait exceptionnels. Les raccordements peuvent s'effectuer en simple ou double dérivation.

Ainsi, les installations du chantier du tunnel sous la Manche à Calais ont été alimentées en 90 kV pour une puissance souscrite de 72 MVA.

### 1.1.5 Remarque

Nous donnons, ci-après, quelques indications sur la qualité moyenne des réseaux français.

Les réseaux HT aériens comptent une moyenne de 100 à 150 creux de tension par an. La durée d'indisponibilité est, par an (non compris celle engendrée par les mouvements sociaux) :

- sur les réseaux urbains HT, de 1 h ;
- sur les réseaux aériens HT, de 6 h ;
- sur les réseaux BT urbains, de 2 h ;
- sur les réseaux BT aériens, de 12 h.

Il faut toutefois ne pas perdre de vue que ces valeurs sont des moyennes autour desquelles les écarts sont très importants.

## 1.2 Postes de livraison HT

Le schéma des postes va dépendre :

- de la nature des canalisations HT ;
- de la nature du raccordement ;
- du type de comptage (BT ou HT) ;
- des installations électriques de l'abonné ;
- des règles et usages des distributeurs.

Nous donnons, ci-après, quelques indications pour la France.

a) Dans le cas de **raccordement en simple dérivation** sur une ligne aérienne, lorsque la puissance n'excède pas 160 kVA et qu'elle est transformée en basse tension au point même de livraison, le poste pourra être du type sur poteau, conforme à la norme NF C 13-103 suivant figure 3.

b) Lorsque le **poste ne comporte qu'un transformateur de puissance** inférieure ou égale à 1 250 kVA situé dans le local même, le comptage peut être effectué en BT. Le poste relève alors des schémas de la figure 1 suivant norme NF C 13-100.

c) Dans les **autres cas**, le comptage doit être effectué en HT, ce qui conduit au dernier groupe de schémas de la norme NF C 13-100 (figure 2).

Pour l'édification des postes sur poteau, on se reportera à la norme NF C 13-103 qui fournit tous les éléments constructifs. Nous nous contentons de donner (figure 4) un plan de ce genre d'ouvrage extrait de la norme.

Pour les autres ouvrages qui doivent être établis à l'intérieur de bâtiments préfabriqués ou non, il convient de se reporter à la norme NF C 13-100.

Tous les constructeurs français présentent des modèles en cellule métallique isolés dans l'air, agréés par les distributeurs français (figure 5).

Il existe également, pour les ouvrages à comptage BT, des modèles en cabine transportable (figure 6).

## 1.3 Sources autonomes locales et du type centrale

Il arrive que, soit pour des questions de sécurité, soit pour des questions d'exploitation, le taux de disponibilité ou la fréquence des défaillances de l'alimentation par le distributeur soient intolérables.

Force est alors de recourir à d'autres sources d'énergie.

Il s'agit en premier lieu des groupes électrogènes (cf. article spécialisé *Groupes électrogènes de secours* [D 5 180] dans le traité Génie électrique) constitués par un moteur thermique (moteur à essence, moteur Diesel, turbine à gaz) et un alternateur électrique.

Nous verrons au paragraphe 2 que la distribution de l'énergie dans le chantier peut nécessiter des réseaux électriques importants. Il peut paraître intéressant, pour pallier aussi les défaillances des réseaux internes, d'implanter les groupes électrogènes au plus près des utilisations prioritaires.

Il faut toutefois savoir que le taux de disponibilité des groupes électrogènes n'est pas très bon. Un taux de disponibilité supérieur et un coût moindre peuvent souvent être obtenus en rassemblant plusieurs groupes dans une centrale et en améliorant la fiabilité de la distribution.

Mentionnons, pour terminer, les alimentations dites sans coupure, constituées par un ensemble chargeur-batterie d'accumulateurs-onduleur. Ces ensembles sont surtout utilisés pour les éclairages de sécurité mais, pour des chantiers où l'informatique revêt une grande importance, on peut aussi leur confier l'alimentation des ordinateurs, d'autant que cela met ces machines sensibles à l'abri de perturbations électromagnétiques, fréquentes sur les grands chantiers.

## 1.4 Exemple

Devant le coût du raccordement facturé par le distributeur, la question peut se poser de savoir s'il ne serait pas plus économique, pour des chantiers de courte durée, de produire l'énergie uniquement avec une centrale électrogène.

Calculons les coûts pour un chantier nécessitant une puissance maximale de 1 250 kVA pour une consommation moyenne de 6 000 kWh par jour ouvré.

### ■ Alimentation par EDF

#### ● Frais fixes

Raccordement EDF : 65 000 F

#### ● Frais proportionnels par jour

Location cabine préfabriquée : 2 000 F

Prime fixe EDF, tarif vert : 1 875 F

Consommation (0,40 F/kWh) : 2 400 F

Total des frais proportionnels : 6 275 F

### ■ Centrale autonome

#### ● Frais proportionnels

Location et maintenance du groupe : 6 500 F

Consommation (0,50 F/kWh) : 3 000 F

Total des frais proportionnels : 9 500 F

On conclut de ces calculs que la durée du chantier ne devrait pas dépasser :  $65\,000 / (9\,500 - 6\,275) = 20$  jours.

Bien entendu, il pourrait en être tout autrement dans une contrée lointaine et désertique.

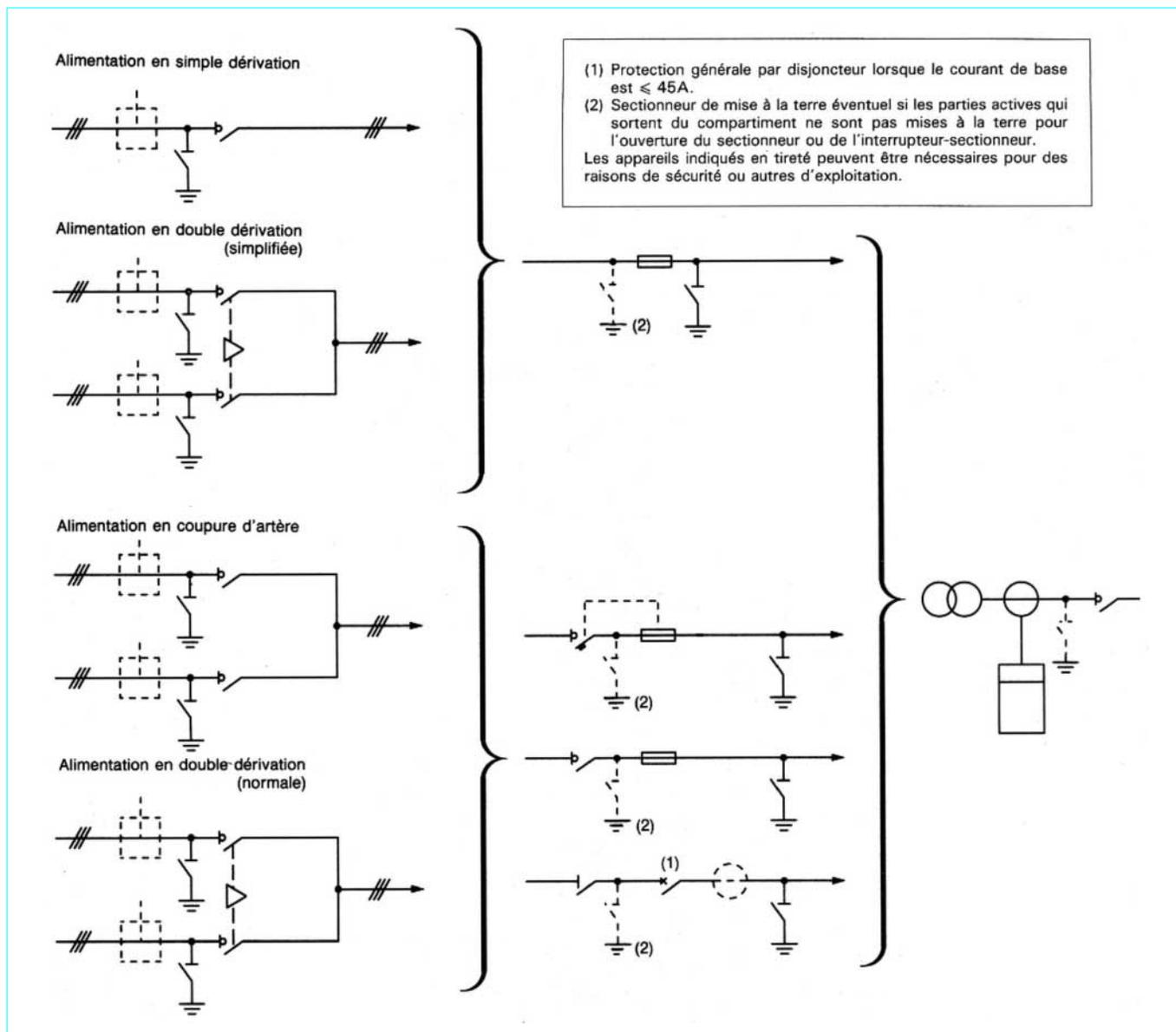


Figure 1 - Postes équipés d'appareillage HT sous enveloppe métallique : comptage en BT (d'après NF C 13-100)

## 2. Réseaux de distribution interne

### 2.1 Critères de définitions

Suivant la nature des travaux à réaliser, du choix des matériels nécessaires à leurs exécutions et de la durée de leur utilisation, la complexité et l'importance du réseau interne est très variable.

Un réseau est caractérisé par **trois facteurs techniques** :

- la ou les tensions utilisées ;
- le régime du neutre ;
- le schéma de distribution.

On ne peut les déterminer qu'après avoir :

- défini la puissance totale à installer ;
- établi le diagramme des puissances ;
- défini le coefficient de simultanéité du matériel ;
- noté les tensions d'alimentation des machines ;
- établi les contraintes liées aux équipements d'automatisme et d'électronique ;
- étudié les conditions géographiques et climatiques ;
- défini les différentes zones d'activités ;
- déterminé les probabilités et la durée admissible des interruptions d'alimentation.

Enfin, quel que soit le chantier, les installations se divisent en **trois catégories** :

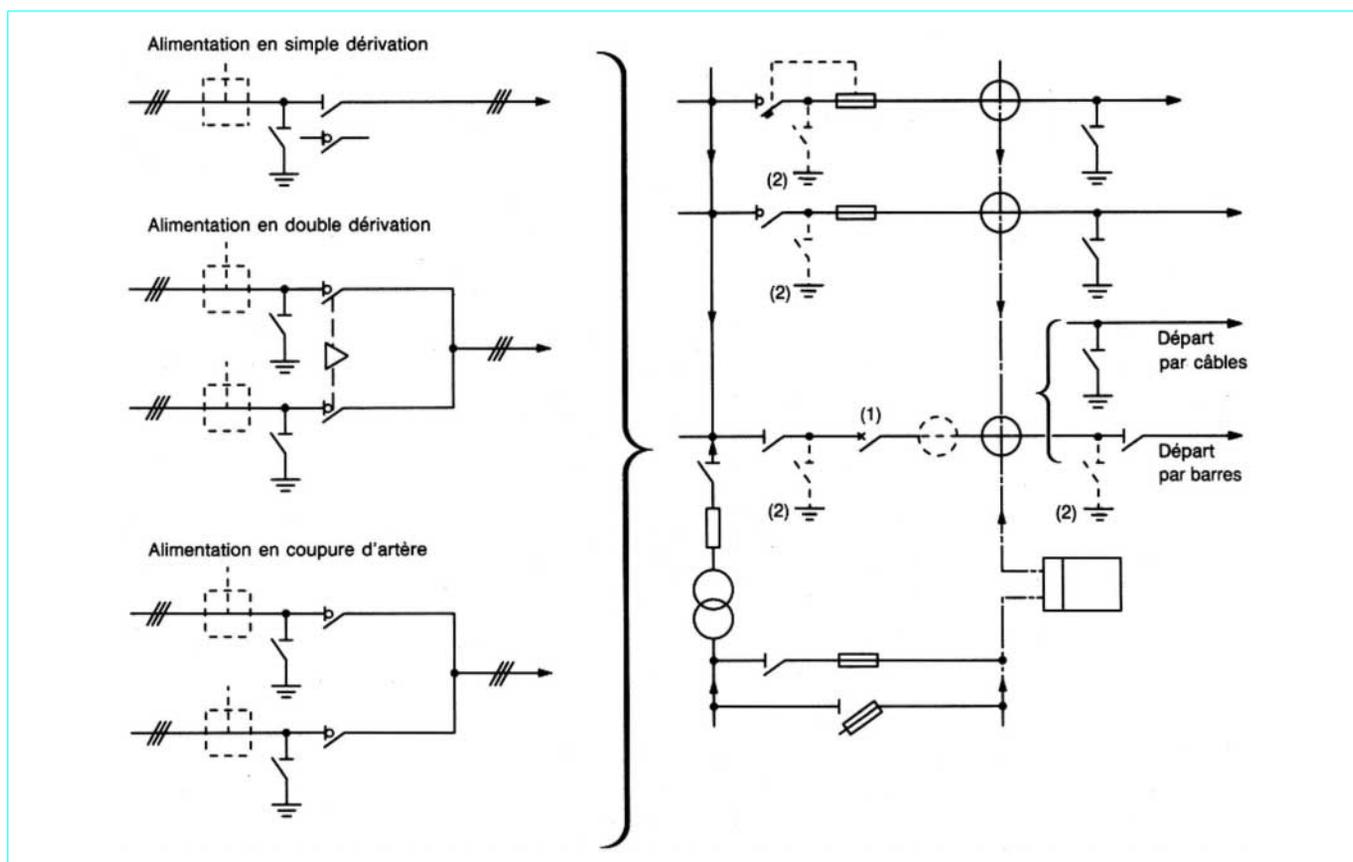


Figure 2 – Postes équipés d'appareillage HT sous enveloppe métallique : comptage en HT (d'après NF C 13-100)

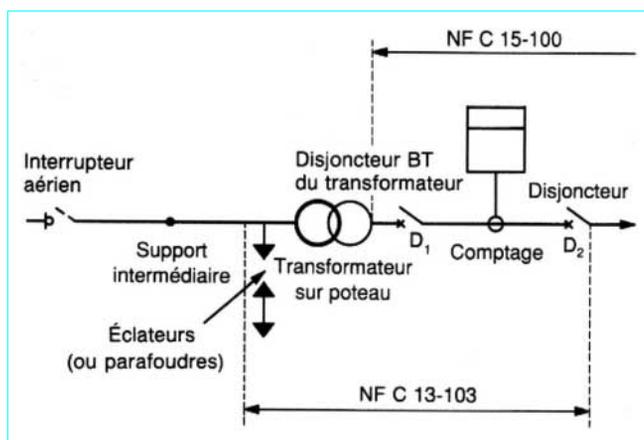


Figure 3 – Poste de livraison HT. Raccordement en simple dérivation

— les installations fixes nécessaires pendant toute la durée du chantier (bâtiment administratif, ateliers, magasins, vestiaires, réfectoires, centrale à béton, etc.) ;

— les installations semi-fixes spécifiques à certaines phases d'exécution, souvent importantes ; leur durée de vie est liée aux travaux qui ont nécessité leur mise en place ;

— les installations mobiles qui se déplacent au fur et à mesure de l'avancement du chantier (exemples : route, ouvrage d'art, chantier souterrain) ; ces alimentations peuvent être réalisées en HT.

## 2.2 Tensions d'utilisation, de livraison et de distribution

### 2.2.1 Tension d'utilisation

La tension d'utilisation dépend naturellement du type de récepteur.

#### ■ Éclairage

Les différents types de sources lumineuses présentés au paragraphe 5, doivent ou peuvent être alimentés en 220-230 V.

#### ■ Éclairage et outils portatifs

La législation du travail impose, dans certaines conditions, le recours à la très basse tension (50 V maximum en courant alternatif). Cette tension est produite et utilisée localement. Elle n'entre donc pas en compte à ce stade où nous nous préoccupons des réseaux.

#### ■ Applications thermiques

Les éléments chauffant par résistance sont le plus souvent prévus pour être alimentés sous 220-230 V. Les éléments excédant quelques kilowatts sont groupés en triphasé 380-400 V. Une exception cependant, les chaudières électriques de grande puissance à électrodes, qui sont alimentées en haute tension mais nécessitent alors un transformateur d'isolement par rapport au réseau.

L'alimentation des motocompresseurs des groupes frigorifiques est traitée avec la force motrice.

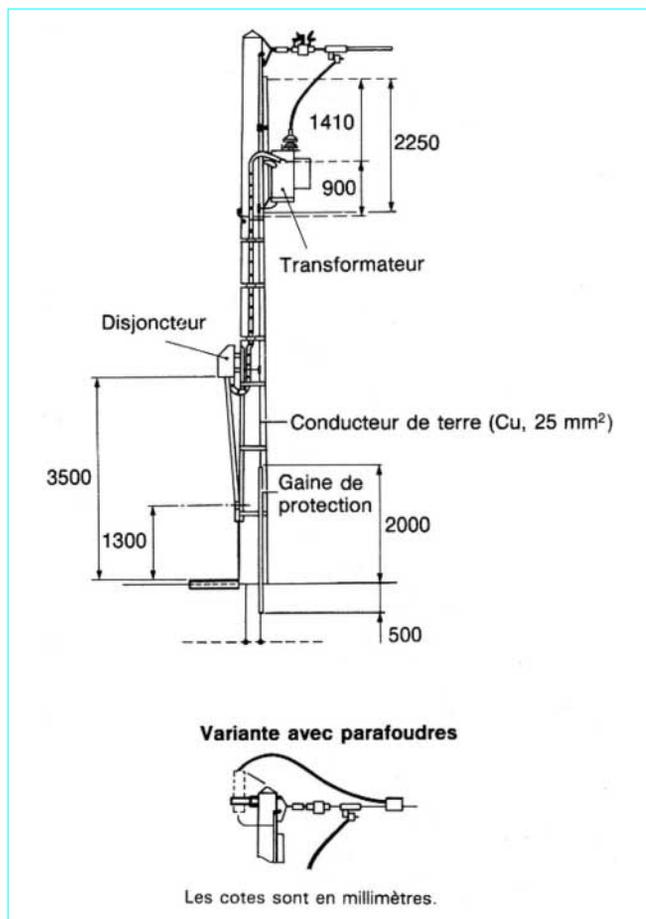
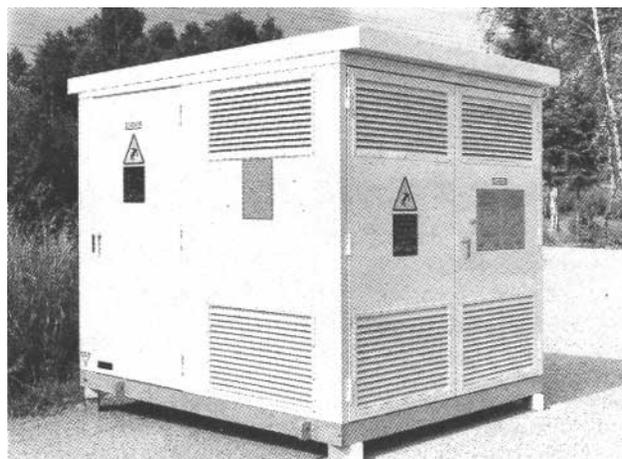


Figure 4 – Poste sur poteau avec coffret BT extérieur (d'après NF C 13-103)



Figure 5 – Cellule disjoncteur MT *Fluair* débrochable à coupure et isolement dans le SF<sub>6</sub> (doc. Merlin Gerin)



Encombrement :  $L = 2,20$  m,  $l = 1,85$  m,  $h = 1,95$  m

Figure 6 – Poste en cabine transportable (doc. Spie Batignolles)

### ■ Force motrice

La tension courante d'alimentation des moteurs industriels est la suivante :

	$P < 200$ kVA	$P \geq 200$ kVA
Moteurs à vitesse constante :		
— moteur asynchrone à cage	} 400-380 V	} HT
— moteur asynchrone à rotor bobiné		
— moteur synchrone		
Moteurs à vitesse variable :		
— cascade hyposynchrone	} 400-380 V	} 400-380 V
— alimentation en fréquence variable		
— courant continu		

Lorsque les moteurs doivent être alimentés en BT sur des distances importantes, on peut être amené, pour des raisons économiques, à choisir des tensions allant jusqu'à 1 000 V, limite de la basse tension au sens de la norme NF C 15-100.

### 2.2.2 Tension de livraison

La tension de livraison de l'énergie par les distributeurs publics varie suivant la puissance souscrite et les pays. Un examen exhaustif est impossible. En dehors de la France métropolitaine, il faut se renseigner auprès du distributeur.

Pour la France et en général :

- jusqu'à 250 kVA : livraison en BT (400-230 V) ;
- au-delà et jusqu'à 10 MVA : livraison en HT (20-15 ou 30 kV) ;
- au-delà de 10 MVA : livraison en THT (63-90 ou 230 kV).

### 2.2.3 Tension de distribution

Sauf dans le cas de livraison BT et de récepteurs BT, une ou plusieurs transformations de la tension sont indispensables entre la tension de livraison et la ou les tensions d'utilisation. La localisation de ces transformations définit la nature des réseaux de distribution. Nous en examinons les différents cas possibles.

### ■ Livraison en THT, récepteurs HT et BT

La distribution ne peut s'effectuer en THT. La puissance est telle, en principe, que la distribution BT est exclue. Il faut donc disposer de réseaux HT et BT. Il faut comparer les coûts d'une distribution HT à la tension des moteurs (figure 7a) et à une HT plus élevée (20 kV) (figure 7b).

Il n'y a pas de réponse *a priori*, il faut faire l'étude.

### ■ Livraison en THT et récepteur uniquement BT

Il n'y a évidemment qu'une solution du type de la figure 7c.

### ■ Livraison en HT et récepteur HT et BT

*A priori*, seul le schéma de la figure 7d présentera un intérêt.

### ■ Livraison en HT et récepteur BT

Il faut étudier l'intérêt économique des solutions données figures 7e et 7f. Il n'y a pas *a priori*, tout dépend des puissances et des distances à parcourir.

## 2.3 Régime du neutre

**Nota :** on se reportera à la rubrique *Protection et automatisation des réseaux* du traité Génie électrique.

### 2.3.1 En distribution HT

Le schéma des liaisons à la terre des installations alimentées directement par le réseau de distribution publique est déterminé par le distributeur. En France, le neutre est raccordé à la terre par

une faible impédance limitant le courant de défaut à 300 A dans les réseaux aériens et à 1 000 A dans les réseaux souterrains.

Dans les réseaux de distribution interne à des tensions différentes de la tension de livraison, l'utilisateur est libre du choix des schémas de liaison à la terre dans le cadre de la norme NF C 13-200 dont est extrait le tableau 1.

#### 2.3.1.1 Schéma TNR, TTN, TTS

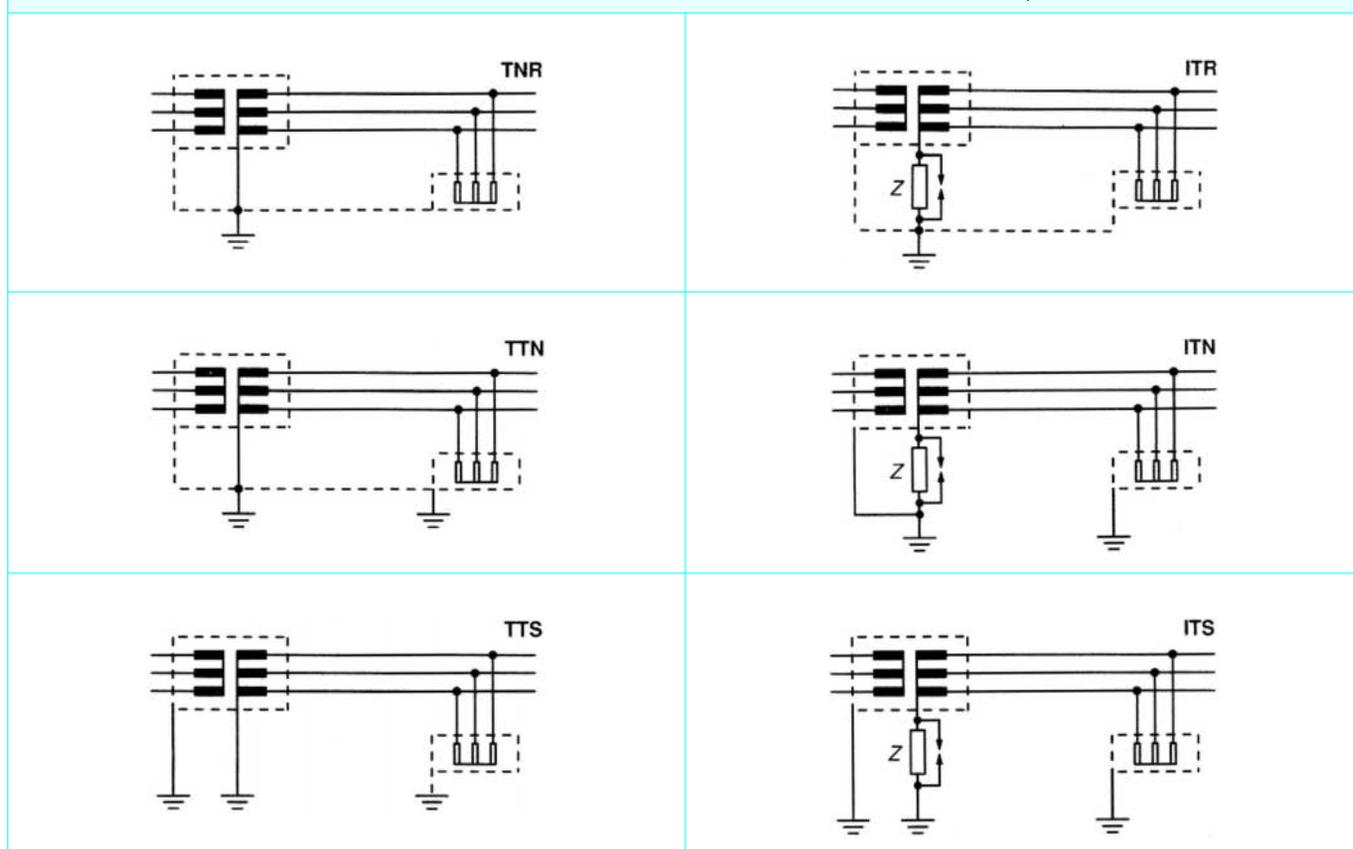
Ces schémas sont en pratique conçus de telle manière qu'ils répondent aux conditions suivantes. ■ Le courant de premier défaut est relativement élevé et provoque le fonctionnement du dispositif de protection du circuit ou du matériel affecté par de défaut.

Cela ne s'oppose pas à la présence d'une résistance entre le neutre et la terre limitant le courant de premier défaut à la terre, mais sa valeur doit être telle que ce courant de défaut ait une intensité suffisante pour assurer le fonctionnement du dispositif de coupure automatique correspondant.

Du point de vue de la protection contre les contacts indirects, la coupure n'est pas nécessaire lors d'un défaut d'isolement du fait que la protection est assurée par des liaisons équipotentielles réalisées entre éléments simultanément accessibles et évitant l'apparition de toute tension de contact dangereuse.

Dans les schémas TTN ou TTS, la circulation de courants de défaut peut provoquer des échauffements dans les liaisons, les connexions et les structures et assécher les prises de terre ; ils peuvent également créer des dégradations dans les matériels électriques, notamment dans les moteurs, par suite des efforts électrodynamiques qu'ils engendrent.

Tableau 1 – Différents schémas de liaison à la terre, en distribution HT (d'après NF C 13-200)



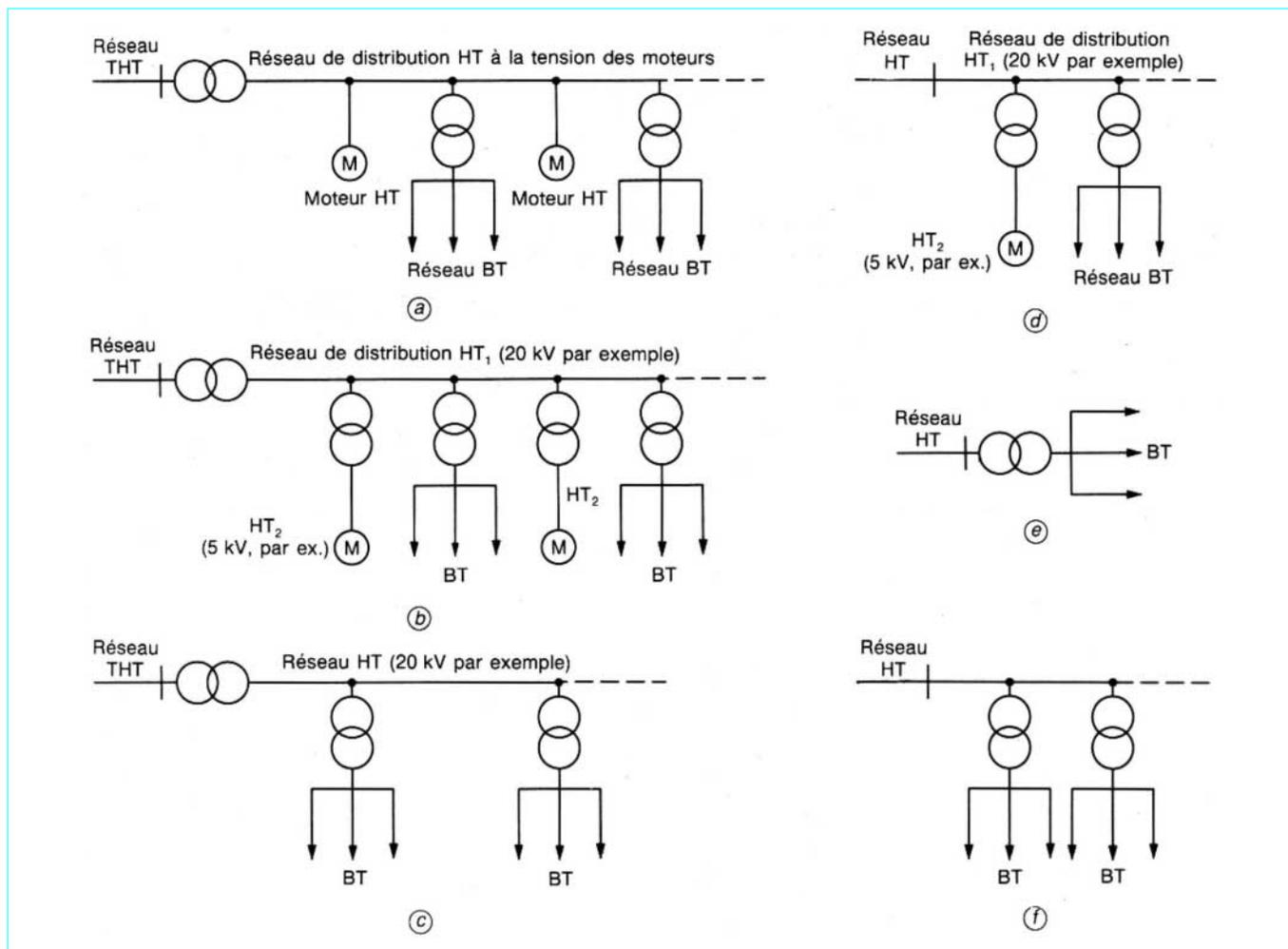


Figure 7 - Nature des réseaux de distribution

C'est pourquoi il importe d'assurer la coupure dès le premier défaut, lorsque le courant de défaut est important et peut créer de telles dégradations ou des échauffements excessifs. Il est difficile d'évaluer la valeur limite du courant qui doit être coupé, cette valeur dépendant de la nature de l'installation et des récepteurs. La norme NF C 13-200 définit une méthode de calcul des sections pour la tenue des courants de défaut.

■ La partie du courant de défaut  $I_r$ , qui se referme directement au neutre est au moins égale au double du courant capacitif de l'installation  $I_c$  afin de limiter l'importance des surtensions transitoires. Cette condition est implicitement satisfaite si la neutre est directement relié à la terre.

Si le neutre est relié à la terre par l'intermédiaire d'une résistance destinée à limiter le courant de défaut, la condition b) est vérifiée si cette résistance est inférieure à :

$$R \leq \frac{1}{6LC\omega}$$

avec  $C$  capacité linéique des canalisations,

$L$  longueur totale des canalisations de l'installation,

$$\omega = 2\pi f$$

soit pour la fréquence  $f$  de 50 Hz :  $R \leq \frac{530}{LC}$

avec  $R$  en  $\Omega$ ,  $L$  en km et  $C$  en  $\mu\text{F}/\text{km}$ .

### 2.3.1.2 Schémas ITR, ITN, ITS

Ces schémas sont conçus de telle manière que le courant de premier défaut soit limité à une valeur telle que la coupure de ce courant ne soit pas nécessaire, tant pour la protection contre les contacts indirects que pour la tenue des matériels aux contraintes thermiques et électrodynamiques.

Le courant de premier défaut est limité par :

- l'impédance naturelle, généralement capacitive, de l'installation par rapport à la terre ;
- l'impédance  $Z$  insérée entre un point de l'alimentation, généralement le neutre, et la terre.

Les installations de sécurité ou la nécessité d'assurer la continuité de service de certains procédés justifient ces schémas pour ne pas déclencher au premier défaut d'isolement. La sélectivité des déclen-

chements sur défauts, quand elle est nécessaire, impose l'emploi de relais particuliers de protection (système de protection dirigée, par exemple).

### 2.3.1.3 Choix des schémas eu égard à la mise à la terre des masses

Les schémas TNR et ITR sont utilisés dans les installations situées dans le même bâtiment, ou dans des bâtiments voisins reliés par des canalisations souterraines.

Les schémas TTN et ITN sont utilisés dans les installations éloignées du poste d'alimentation.

Les schémas ITS et TTS sont utilisés dans des installations desservant des équipements très éloignés et reliés par des lignes aériennes (par exemple, installations de carrières éloignées).

## 2.3.2 En distribution BT

**Nota** : on se reportera aux articles *Installations électriques* [D 5 030] [D 5 032] [D 5 034] [D 5 036] [D 5 038] du traité Génie électrique.

Dans les réseaux BT, il existe trois types de liaison à la terre, ce qui donne naissance aux quatre schémas du tableau 2.

Le courant de défaut à la terre et les tensions auxquelles peuvent être portées les masses métalliques sont très différentes suivant les schémas. Le choix du régime de neutre va donc avoir une influence importante sur le dimensionnement des conducteurs, de leur protection et sur le mode d'exploitation.

### 2.3.2.1 Schéma IT

L'avantage du schéma IT est qu'un défaut à la terre ne provoque pratiquement pas de courant de défaut, du fait de la liaison du neutre à la terre à travers une très forte impédance. Ainsi, il est possible de continuer à exploiter un réseau, sièges d'un premier défaut, tant qu'un deuxième ne se produit pas. C'est un avantage pour alimenter des installations très prioritaires, si la fréquence des incidents est faible. Il faut toutefois surveiller en permanence le niveau d'isolation de l'installation pour connaître l'existence du premier défaut, qui n'est pas mis en évidence par une surintensité significative. De ce fait, la recherche du défaut peut s'avérer délicate et onéreuse. Enfin, comme un double défaut conduit à une surintensité, il convient d'en protéger les conducteurs, ce qui conduit fréquemment à les surdimensionner.

Comme les installations de chantier ne se caractérisent pas par une faible fréquence des défauts d'isolement, ce schéma est vivement déconseillé.

### 2.3.2.2 Schéma TNC

Dans les installations industrielles classiques, ce schéma est fréquemment utilisé, il permet d'économiser un conducteur. Les défauts à la terre engendrent une surintensité que l'on peut prédéterminer par le calcul. Il est alors possible de régler les protections pour qu'elles assurent l'élimination du premier défaut.

L'inconvénient de ce schéma, dans les installations de chantier, par définition très évolutives, est que le personnel ne recalcule pas, à chaque fois, les courants de défaut présumés et que les protections sont très vite mal réglées, faisant courir un gros risque aux installations et surtout au personnel.

### 2.3.2.3 Schéma TNS

Dans ce schéma, le neutre et le conducteur de protection étant séparés, il est possible de constater l'apparition d'un défaut en mesurant le courant homopolaire de chaque départ (somme vectorielle des 3 courants de phase et du courant de neutre), grâce à des

relais dits à courant résiduel (cf. article *Appareillage électrique à basse tension. Appareils de commande* [D 4 862] dans le traité Génie électrique). Ces relais très sensibles (300 mA, voire 30 mA) permettent de constater et de localiser les défauts, et de commander l'ouverture du départ incriminé, ce qui obvie à l'inconvénient précédent.

Il reste que rien ne permet de déceler la coupure d'un conducteur de protection sur lequel repose la sécurité du système, si ce n'est des vérifications fréquentes. C'est pourquoi les exploitants de chantier préfèrent le schéma TT.

### 2.3.2.4 Schéma TT

Il est assez voisin du schéma TNS, mais les masses métalliques peuvent être reliées à des prises de terre multiples, ce qui remédie à l'inconvénient signalé ci-avant.

C'est le schéma le plus utilisé sur les chantiers.

Il est obligatoire lorsque le chantier est alimenté en BT par le distributeur.

Le seul inconvénient est le manque de sélectivité fréquent entre les protections générales et les protections divisionnaires. C'est le prix à payer pour assurer la sécurité des personnes. À la limite, si ce point s'avère extrêmement gênant pour certaines portions d'installations, il est possible d'interposer des transformateurs d'isolement qui circonscrivent les aires de protection des relais à courant résiduel  $I_{\Delta}$  (figure 8).

D'une façon générale, les valeurs maximales des résistances des prises de terre doivent être déterminées pour que la tension qui apparaît lorsque s'écoule un courant égal au courant de réglage des relais à courant résiduel n'excède pas la tension limite de contact définie par la norme NF C 15-100, c'est-à-dire, pour les installations de chantier, 25 V.

## 2.4 Schéma de distribution et fiabilité des installations

**Nota** : on se reportera aux articles *Installations électriques* [D 5 030] [D 5 032] [D 5 034] [D 5 036] [D 5 038] et à la rubrique *Protection et automatisation des réseaux* du traité Génie électrique.

### 2.4.1 Considérations générales

Tous les éléments d'une installation électrique (sources diverses ; tableaux THT, HT, BT ; transformateurs ; canalisations ; récepteurs) sont sujets à défaillance.

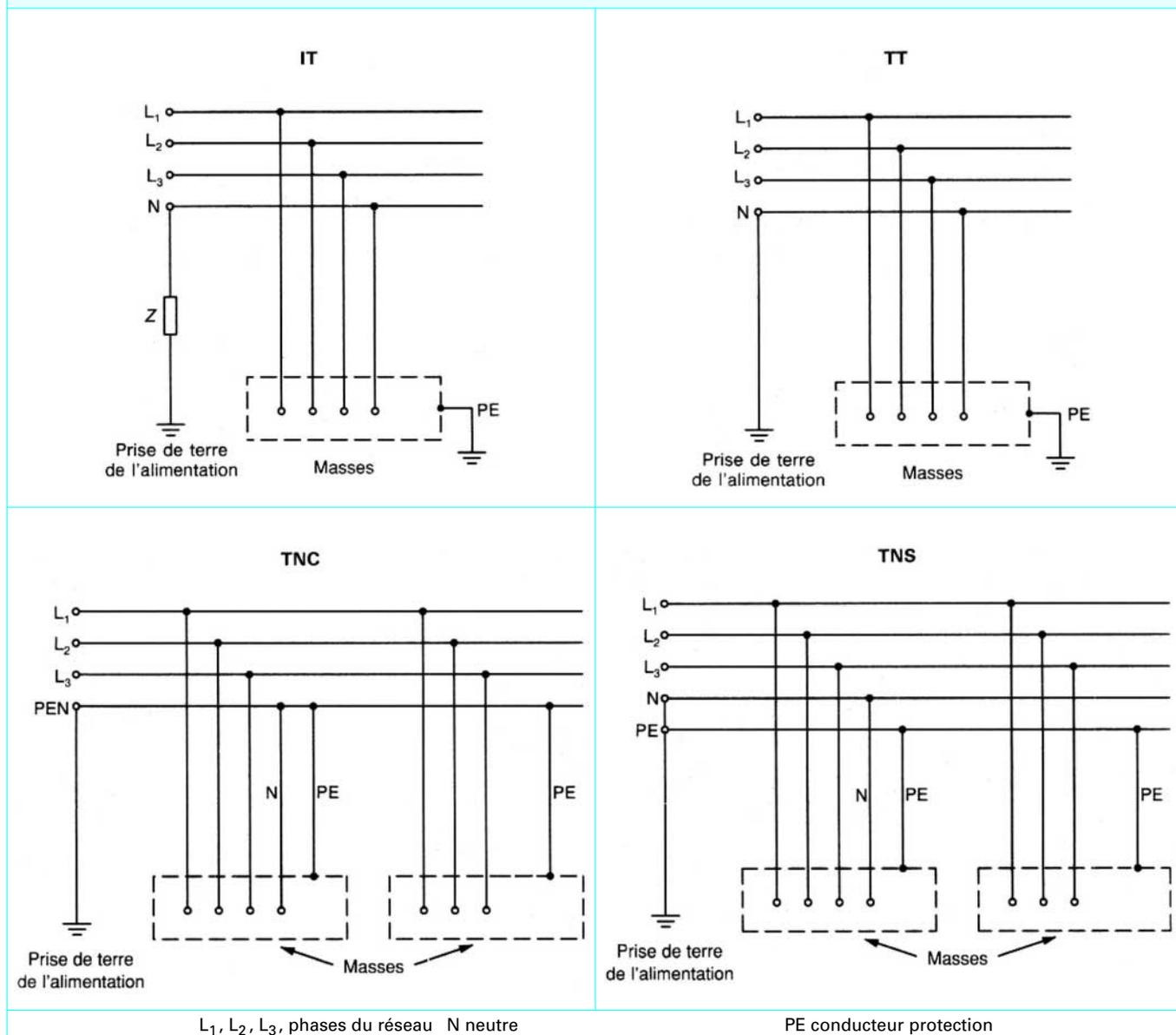
De tout temps et le plus souvent empiriquement, on a cherché à se prémunir contre les risques résultant de ces défaillances, en introduisant des redondances dans les différents organes. Il en résulte, en principe, une diminution des temps d'indisponibilité au prix du surenchérissement des installations.

Des calculs de fiabilité, basés sur des statistiques de défaillance, permettent de définir le schéma des installations électriques d'une façon moins subjective en prenant en compte les aspects technico-économiques. Cela est particulièrement important sur des installations très exposées et où certaines défaillances peuvent avoir des conséquences sur la sécurité des personnes ainsi que des conséquences financières non négligeables.

Nous allons illustrer ces propos par un exemple.

Soit à alimenter un transformateur T à partir d'un tableau A au moyen d'une canalisation C (figure 9a) ou, en variante, à l'aide de deux canalisations redondantes C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et un tableau B (figure 9b).

Tableau 2 – Différents schémas de liaison à la terre, en distribution BT



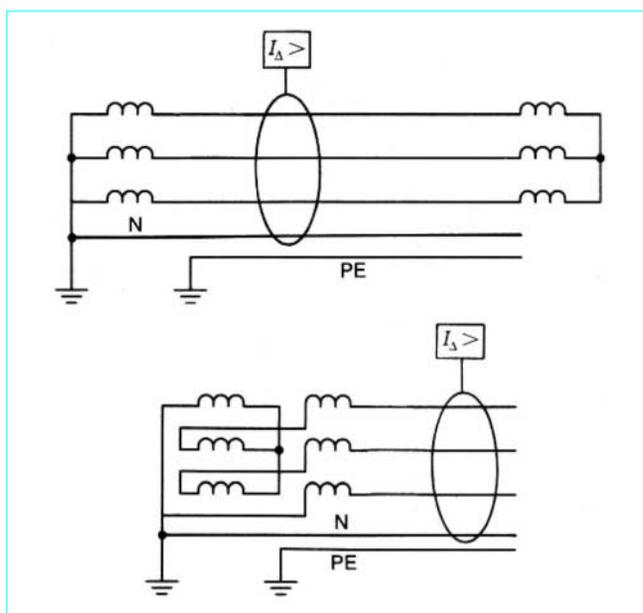


Figure 8 - Interposition d'un transformateur d'isolement

Les données fiabilistes sont les suivantes :

	MTBF (1/λ)	MTTR (1/μ)	Taux d'indisponibilité λ/μ
Tableau électrique A	$1 \times 10^7$	100	$1 \times 10^{-5}$
Canalisation C	$2 \times 10^4$	50	$2,5 \times 10^{-3}$
Transformateur T	$6,06 \times 10^4$	50	$8,25 \times 10^{-4}$

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement.  
 MTTR : moyenne des temps techniques de réparation.  
 λ : taux de défaillance.  
 μ : taux de réparation.

Le coût horaire de l'interruption de fourniture électrique aux installations desservies par T est de 4 000 F.

La durée estimée du chantier est de 3 ans ( $D_t = 26\,280$  h).

Dans le premier cas, la durée d'indisponibilité probable sera de :

$$D_i = D_t \left[ \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_A + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_C + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_T \right] = 87,7 \text{ h}$$

Dans le second cas, la durée d'indisponibilité probable sera de :

$$D_i = D_t \left[ 2 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_A + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_C + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_T \right] = 22,4 \text{ h}$$

Il en résultera une économie probable de :

$$4\,000 \times (87,7 - 22,4) = 261\,200 \text{ F}$$

due à une meilleure disponibilité.

En contrepartie, si le coût de location du tableau B est de 25 000 F par an et le coût d'installation de la seconde canalisation supposée non récupérable de 45 000 F, il faudra dépenser :

$$(3 \times 25\,000) + 45\,000 = 120\,000 \text{ F}$$

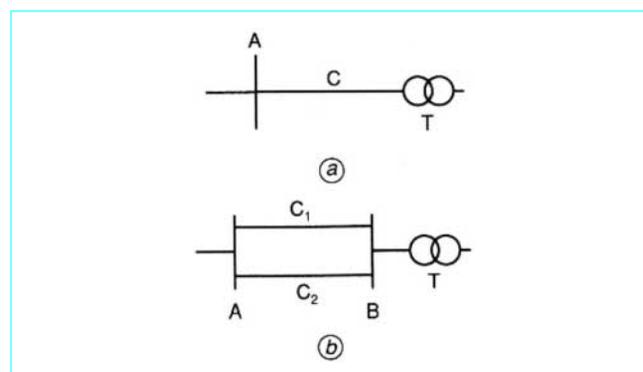


Figure 9 - Variantes d'un schéma de distribution d'une installation

La seconde solution présente donc une économie résultante probable de :

$$261\,200 - 120\,000 = 141\,200 \text{ F}$$

Si le coût horaire de l'interruption s'élevait à 1 500 F, la deuxième solution n'aurait pas d'intérêt.

De même, si une protection mécanique efficace de la canalisation, coûtant 40 000 F, permettait de porter la MTBF à  $2 \times 10^5$ , nous aurions dans la première solution :

$$(\lambda/\mu)_C = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

et

$$D_i = 29 \text{ h}$$

Cette solution est évidemment la plus avantageuse.

Pour conclure, on peut dire qu'aucun schéma ne s'impose *a priori* et que la solution raisonnable est de conduire des calculs technico-économiques avant d'arrêter les décisions importantes. Il existe cependant quelques habitudes que nous allons exposer.

## 2.4.2 Réseau en antenne

C'est le plus simple. Les postes divisionnaires sont alimentés par un seul câble, à partir du poste de répartition. Pour ce type d'installation, les protections électriques sont simples. Toutefois il est à noter que ce schéma conduit à un taux de disponibilité souvent insuffisant.

## 2.4.3 Réseau en boucle

À partir du poste de distribution, il s'agit de passer en coupure d'artère dans les différentes sous-stations (figure 10). Ce type d'installation est plus économique que le précédent pour des projets nécessitant la mise en œuvre de puissances importantes ou couvrant de grandes surfaces. De plus, il améliore en général le taux de disponibilité, puisque chaque sous-station peut être alimentée d'un côté ou de l'autre. Un tel réseau entraîne des contraintes d'exploitation et, selon qu'il fonctionne en boucle « ouverte » ou « fermée », des dispositifs de surveillance et de protection très différents (le fonctionnement en boucle ouverte est le plus utilisé).

## 2.4.4 Double alimentation ou double dérivation

L'alimentation en double dérivation (figure 11) consiste à alimenter chaque poste divisionnaire par des dérivations effectuées sur deux câbles distincts. Elle permet, par rapport à la solution précé-

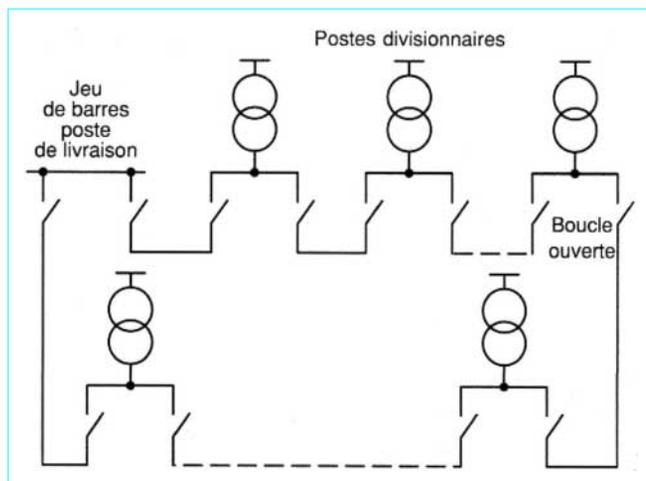


Figure 10 - Réseau de distribution en boucle

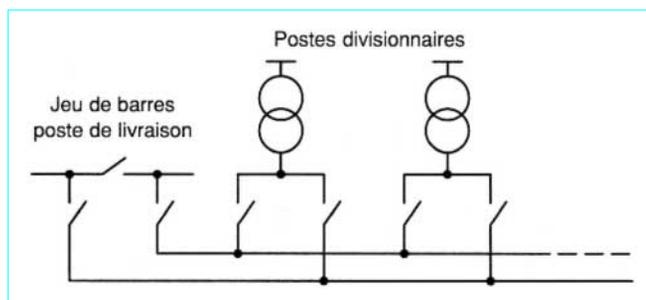


Figure 11 - Double alimentation ou double dérivation

dente, des sections de câble plus faibles et se prête mieux à une permutation automatique. Par contre, elle exige des boîtes de dérivation qui constituent des points faibles. C'est la seule solution quand le taux de disponibilité nécessite de prévoir un raccordement sur une seconde source d'alimentation telle qu'une centrale autonome.

En cas de défaillance d'une alimentation, le passage sur le second câble, même automatique, occasionnera une microcoupure.

## 2.5 Courants de court-circuit

Les valeurs des courants de court-circuit qui prennent naissance en cas de défaut entre phases, ou entre une phase et la terre, ont une importance considérable sur le dimensionnement des réseaux.

Des valeurs trop élevées obligent à surdimensionner les canalisations et l'appareillage pour leur permettre de résister :

- aux efforts électrodynamiques ;
- aux échauffements ;
- aux contraintes de coupure (pour les appareils de protection).

Des valeurs trop faibles rendent malaisées leur détection et, par conséquent, l'intervention des appareils de protection.

Ces notions revêtent une importance particulière dans les installations de chantier où le nombre de défauts est plus élevé que dans les installations industrielles.

Sous 20 kV, les valeurs convenables sont :

- pour les courts-circuits entre phases : 5 à 12,5 kA ;
- pour les courants de défaut entre phase et terre : 100 à 1 000 A.

En basse tension et au niveau des jeux de barres, il n'est pas recommandé d'excéder 40 kA.

Les normes NF C 15-100 pour la BT et NF C 13-200 pour la HT définissent les méthodes de calcul des courants de court-circuit. Des logiciels existent dans le commerce qui permettent ces calculs.

Une attention particulière doit être portée au contexte résultant du fonctionnement sur source autonome. Les courants de court-circuit de ces machines tombent, en quelques périodes, à des valeurs très basses rendant délicats la détermination et le réglage de protection.

Les courants de défauts doivent être éliminés par les protections dans un délai prédéterminé et pris en compte dans les calculs de dimensionnement des canalisations.

Pour les coupe-circuit, les normes NF C 63-210 (BT) et NF C 64-210 (HT) définissent ces temps de fonctionnement.

En ce qui concerne les disjoncteurs, l'ordre d'ouverture leur est donné par des relais fonctionnant soit à temps constant, soit d'autant plus vite que le courant est plus élevé. Au temps de fonctionnement des relais il faut ajouter le temps propre du disjoncteur.

Lors d'un court-circuit, plusieurs appareils de protection en série voient le défaut. Dans une installation convenable, c'est l'appareil le plus proche du défaut qui doit fonctionner (principe de la sélectivité). Le choix des fusibles et des relais doit être fait en conséquence.

## 2.6 Prises et réseaux de terre

Nous avons vu au paragraphe 2.3 que les conducteurs de protection devaient être mis à la terre. Il en va de même dans la majorité des cas des neutres des réseaux internes. Il existe différents modes de réalisation de mises à la terre : soit à partir de prises de terre ponctuelles, soit à partir de réseaux interconnectés.

Nous nous limiterons à quelques rappels. On pourra utilement se reporter à la brochure EDF n° 115 pour plus de détails.

La mise à la terre doit assurer l'écoulement vers le sol de courants de défaut ayant pour origine, soit les chocs de foudre, soit les défauts d'isolement. Les caractéristiques de la mise à la terre doivent être déterminées de telle façon que, pendant ces écoulements, soient assurées :

- la sécurité des personnes ;
- la protection des installations électriques ;
- la limitation des nuisances électromagnétiques.

Toutes ces conditions se traduisent par la nécessité de limiter les gradients de potentiels à la surface du sol (tension de pas) et d'obtenir les impédances de terre définies au paragraphe 2.3.

Ces conditions sont d'autant plus difficiles à réaliser que la résistivité du sol est élevée. Or, cette résistivité varie avec les conditions climatiques. Elle diminue aux saisons pluvieuses et croît avec la sécheresse et le froid. Il est nécessaire d'en tenir compte.

Trois méthodes sont utilisées pour réaliser les mises à la terre :

- l'enfouissage de plaques ou grilles en cuivre ;
- le forage de piquets en cuivre ou en acier galvanisé ;
- l'enfouissage de conducteurs en cuivre formant un réseau maillé.

Cette dernière solution, qui est la meilleure, est rarement réalisable sur les chantiers, sauf si les installations à construire doivent disposer d'un tel réseau qui peut être mis en place dès le début du chantier.

Après la mise en place, la valeur de l'impédance de terre doit être vérifiée au telluromètre. La vérification périodique est obligatoire au titre de l'arrêté du 20.12.1988.

Si les valeurs d'impédance s'avèrent trop élevées, il est possible de les réduire en imprégnant le sol avec un produit colloïdal à base de sels métalliques.

## 2.7 Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique

**Nota :** on se reportera à l'article *Foudre et protection des bâtiments* [C 3 307] dans ce traité.

Les surtensions d'origine atmosphérique se présentent sous deux formes :

- les **surtensions statiques** dues au passage des nuées orageuses, alors même qu'il n'y a pas de décharge ;
- les **surtensions dynamiques** générées par les décharges.

Les premières, qui apparaissent entre des zones éloignées reliées par des canalisations électriques, téléphoniques, informatiques, etc., peuvent créer des détériorations aux circuits électroniques par claquage diélectrique.

Les secondes comprennent, bien entendu, les coups directs, mais également et surtout les phénomènes induits par les coups directs (induction électromagnétique, onde d'écoulement spatio-temporelle).

La première des précautions à prendre est de réunir toutes les superstructures métalliques au réseau de terre par des canalisations en cuivre d'au moins 25 mm<sup>2</sup>. Il ne faut envisager la mise en place de paratonnerres aux sommets de mâts métalliques que dans les régions particulièrement exposées (niveau céramique supérieur à 30). En effet, s'ils réduisent les risques de coups directs sur les installations à protéger, ils accroissent les risques indirects en provoquant des amorçages pour décharger les nuées.

Il faut protéger les lignes électriques HT et BT par des éclateurs, ou mieux, par des parasurtenseurs qui présentent l'avantage de ne pas provoquer de défauts à la terre à la suite d'une décharge.

En téléphonie, informatique, vidéo, etc., les canalisations doivent être blindées, les alimentations découplées par transformateur, les circuits électroniques protégés dans des enceintes formant cage de Faraday. Les arrivées et départs de canalisation doivent être protégés par des parasurtenseurs appropriés (figure 12).

## 2.8 Facteur de puissance

Certains types de contrats de fourniture d'énergie électrique prévoient une facturation de l'énergie réactive consommée dans des tranches horaires prédéfinies. Toutefois, cette facturation n'intervient que lorsque l'énergie réactive absorbée dépasse un certain pourcentage, par exemple 40 % de l'énergie active ( $\cos \varphi = 0,928$ ) en tarif vert EDF.

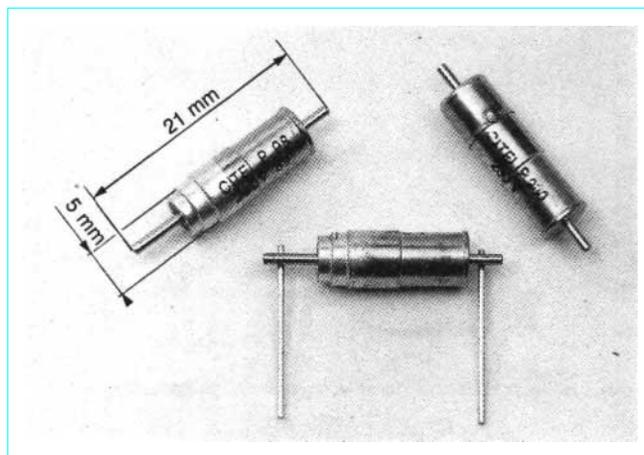


Figure 12 - Parasurtenseurs P 98, P 80 et P 980 (doc. CITEL)

Cette énergie réactive est essentiellement consommée par les moteurs pour magnétiser leur circuit ainsi que pour les inductances de stabilisation des lampes à décharge.

L'énergie réactive consommée varie peu avec la charge du moteur. Elle est en principe, pour les moteurs courants, égale à 60 % de la puissance nominale du moteur, quelle que soit sa charge. Par contre, l'énergie réactive consommée croît très vite en cas de surtension.

Il résulte de tout cela qu'il n'est pas rare de voir l'énergie réactive représenter 160 % de l'énergie active ( $\cos \varphi = 0,53$ ).

De telles valeurs justifient généralement l'installation de batteries de condensateurs.

Supposons que, dans une période tarifaire de 2 mois, pour une tranche horaire de 4 h par jour, pendant 43 j, les compteurs indiquent :

- énergie active : 147 963 kWh
- énergie réactive : 240 001 kvarh

Nous aurons :

- énergie réactive en franchise :  
 $147\,963 \times 0,4 = 59\,185$  kvarh
- énergie capacitive nécessaire :  
 $240\,001 - 59\,185 = 180\,816$  kvarh
- puissance capacitive à installer :  
 $180\,816 / (43 \times 4) = 1\,051$  kvar

### ■ Installation des batteries de condensateurs

Il est généralement plus économique d'installer les batteries de condensateurs dans les postes de livraison ou de transformation.

Cette méthode a, par contre, l'inconvénient de ne pas faire bénéficier les canalisations électriques des réductions de section résultant d'une diminution de l'intensité et de l'accroissement du facteur de puissance. On peut avoir intérêt, dans ce cas, à compenser localement les gros consommateurs d'énergie réactive.

Les constructeurs fournissent des armoires de protection et de contrôle des batteries de condensateurs incorporant, ou non, les batteries. Il est prudent de les utiliser, si l'on n'est pas habitué aux particularités de ces installations.

### ■ Ferro-résonance

En cas de fonctionnement de sources autonomes, il est fortement recommandé de couper toutes les batteries de condensateurs pour éviter des phénomènes de ferro-résonance. Ces phénomènes se manifestent sous forme de surtensions cycliques extrêmement impressionnantes et très dangereuses. Ils résultent d'états d'équilibre instables entre les tensions aux bornes des circuits magnétiques et aux bornes des condensateurs liés à la non-linéarité des courbes de magnétisme.

## 3. Canalisations électriques

### 3.1 Généralités

Les canalisations électriques peuvent être réalisées sous 5 formes :

- a) ligne aérienne en conducteurs nus ;
- b) conducteurs isolés sur support aérien ;
- c) câbles enterrés sous fourreaux ;
- d) câbles enterrés à même le sol ;
- e) câbles souples.

Les lignes aériennes sont généralement les plus économiques. Elles permettent une récupération aisée à la fin du chantier. Par

contre, elles peuvent présenter des gênes importantes et des risques électriques lors de contact accidentel au cours de manutentions.

Les conducteurs isolés sur support aérien constituent une solution plus onéreuse, mais qui diminue les risques en cas de contact accidentel.

Les câbles enterrés suppriment les risques de contact lors de manutention, mais sont vulnérables aux engins de terrassement. Ces câbles peuvent, en outre, être détériorés lors de tassement de terrain.

Le choix entre les différentes solutions doit donc être fait en fonction des servitudes du chantier et après analyse des coûts.

À titre d'exemple, nous avons comparé le coût d'un transport dans les trois solutions *a*, *b*, *d*.

Les caractéristiques électriques retenues étaient les suivantes :

- puissance : 60 kW
- $\cos \varphi = 0,69$
- distribution : triphasé + neutre 400/230 V
- schéma : TT
- courant de court-circuit à l'origine : 25 kA
- protection : disjoncteur
- chute de tension maximale : 5 %
- distance : 150 m
- résistivité thermique du sol :  $1 \text{ K} \cdot \text{m/W}$
- température ambiante : 45 °C.

Les résultats sont les suivants :

Solution	Conducteur	Sections	Critère (1)	Coût (en F)	
				fourniture	pose
Ligne aérienne	Al	Aster 75,5 (2)	Chute de tension	19 000	5 000
Conducteurs isolés	Al	70 mm <sup>2</sup>	Échauffement	20 000	5 000
Câbles enterrés	Al	35 mm <sup>2</sup>	Échauffement	12 000	76 000 (3)

(1) Critère ayant conditionné le choix de la section.

(2) Voir articles *Lignes aériennes* (D 4421) [D 4 429] [D4 430] par exemple) dans le traité Génie électrique.

(3) Y compris la tranchée comptée à 50 F/m.

### 3.2 Dimensionnement des canalisations électriques

Les canalisations HT doivent être dimensionnées, du point de vue électrique, conformément à la norme NF C 13-200, les canalisations BT conformément à la norme NF C 15-100. Il faut veiller à tenir compte, notamment, du chapitre 704 de cette norme relatif aux installations de chantier.

L'application des normes vise à la sécurité des personnes et des biens, en limitant les échauffements des conducteurs et les tensions indirectes apparaissant lors de défaut d'isolement. Elles permettent également d'assurer une qualité convenable de l'énergie électrique aux récepteurs. Les calculs qui en découlent sont longs et fastidieux. C'est ce qui a donné naissance à des programmes informatiques. Certains disposent d'un agrément UTE, leurs résultats sont de ce fait opposables aux organismes de sécurité. Leur emploi est donc éminemment conseillé.

Parallèlement au dimensionnement électrique, les conducteurs doivent être dimensionnés du point de vue mécanique. C'est évident pour les lignes aériennes ; pour les câbles enterrés, on veillera, pour les sections, à ne pas descendre en dessous de 6 mm<sup>2</sup>.

### 3.3 Lignes aériennes à conducteurs nus ou isolés

**Nota** : on se reportera aux articles *Régimes transitoires dans les réseaux électriques* [D 4 410] et *Câbles aériens isolés* [D 4 500] du traité Génie électrique.

Les lignes aériennes haute tension et basse tension sont réalisées conformément à la norme NF C 11-201.

Les calculs mécaniques des lignes sont définis dans cette norme et ses annexes ; ils ont pour but d'assurer la stabilité de la ligne, compte tenu des surcharges courantes dues aux circonstances climatiques et atmosphériques du site, qu'il importe de faire préciser par les organismes compétents. Il s'agit, là encore, de calculs complexes et longs, mais on trouve des logiciels pour les effectuer.

Les hauteurs minimales au-dessus du sol, définies dans la norme NF C 13-200, sont celles du tableau 3 (pour les câbles isolés sur support aérien, ces distances peuvent être réduites de 2 m). Il importe donc de déterminer, avant d'implanter une ligne aérienne, les hauteurs maximales des engins qui pourront être présents sur le chantier.

Il est généralement fait usage, pour les supports, de poteaux en bois ou de poteaux en béton de réemploi.

Sous réserve de respecter des dispositions précisées dans la norme NF C 11-201, il peut être fait usage de supports communs pour les lignes HT et BT, ainsi que pour les lignes BT et les réseaux d'éclairage ou de télécommunication.

### 3.4 Canalisations souterraines

**Nota** : on se reportera à l'article *Câbles aériens isolés* [D 4 500] du traité Génie électrique.

#### 3.4.1 Canalisations BT

Les types de câbles pouvant être enterrés sont définis dans la norme NF C 15-100 qui définit également les conditions de pose.

**Tableau 3 – Hauteurs minimales (en m) des lignes aériennes au-dessus du sol** (d'après NF C 13-200)

Situation de la ligne	Tension $U$ (en kV)				
	$U \leq 20$	$20 < U \leq 30$	$30 < U \leq 45$	$45 < U \leq 57$	$57 < U \leq 63$
Au-dessus des terrains de toutes natures.....	6	6	6,1	6,2	6,2
Au-dessus des cours d'usines et lieux de passage des engins de manutention.....	$h + 3$	$h + 3$	$h + 3$	$h + 3,3$	$h + 5$
Au-dessus des bâtiments et des installations extérieures accessibles, telles que portiques.....	3,2	3,2	3,3	3,5	3,5

$h$  : hauteur maximale des engins de manutention mobiles de grande hauteur, avec un minimum de 6 m.

Les câbles doivent être protégés contre les détériorations causées par le tassement des terres, le contact des corps durs, le choc des outils à main en cas de fouilles, ainsi que contre les actions chimiques causées par les éléments du sol.

Pour parer aux effets du tassement des terres, les câbles doivent être enfouis, en terrain normal, au moins à 80 cm de la surface du sol. Cette profondeur est portée à 1 m à la traversée des voies accessibles aux engins, et dans une zone de 50 cm de part et d'autre des voies accessibles. Ces profondeurs peuvent être diminuées en terrain rocheux. Elles peuvent ne pas être respectées si des dispositions sont prises pour que les câbles ne supportent pas directement les effets du tassement des terres, par exemple à l'aide de fourreaux.

Lorsqu'une canalisation enterrée croise une autre canalisation électrique enterrée, elles doivent, en principe, se trouver à une distance minimale de 0,20 m.

Lorsqu'une canalisation électrique enterrée longe ou croise des conduites d'eau, d'hydrocarbure, de gaz, d'air comprimé ou de vapeur également enterrées, une distance minimale de 0,20 m doit, en principe, exister entre leurs points les plus rapprochés.

Cette distance peut être réduite à condition que les installations soient séparées par un dispositif de protection donnant une sécurité équivalente.

Toute canalisation enterrée doit être signalée par un dispositif avertisseur non corrodable placé au moins à 10 cm au-dessus d'elle.

### 3.4.2 Canalisations HT

Les câbles HT pouvant être enterrés sont définis dans la norme NF C 33-220 et les conditions de pose dans la norme NF C 13-200. Ces dernières ne diffèrent pas des conditions imposées aux canalisations BT (§ 3.4.1).

### 3.5 Câbles souples

Des câbles souples peuvent être fabriqués jusqu'à des tensions de 20 kV. En BT, la série de câbles multiconducteurs N 07 RN-F s'étend jusqu'à des sections de 95 mm<sup>2</sup>. Les câbles souples peuvent être associés à des enrouleurs pour alimenter des engins mobiles.

Pour de petits volumes à enrouler, les enrouleurs peuvent être à rappel manuel ou à ressort. Pour de grands volumes, le rappel est effectué par moteur électrique et coupleur magnétique (figure 13).

## 4. Matériel de distribution

### 4.1 Postes de transformation et de répartition

#### 4.1.1 Généralités

On retrouve ici, comme pour les postes de livraison, deux types d'ouvrages très différents :

- les postes extérieurs sur poteaux, qui ne comportent qu'un seul transformateur de puissance au plus égale à 160 kVA et une seule arrivée ;
- les postes en bâtiment, dans les autres cas.

Le schéma des postes va dépendre :

- du nombre d'arrivées ou départs réseau ;
- de la nécessité ou non d'établir des sous-comptages ;
- des dispositifs de sectionnement des jeux de barres pour des motifs de disponibilité ;
- du nombre de départs moteurs HT ;
- du nombre de transformateurs.

Le nombre d'arrivées dépend du schéma de distribution retenu.

Les tableaux HT à double jeu de barres ne se justifient pas dans les installations de chantier ; par contre, une amélioration de la dis-



**Figure 13 – Enrouleur de câble avec moteur électrique et coupleur magnétique** (doc. Delachaux)

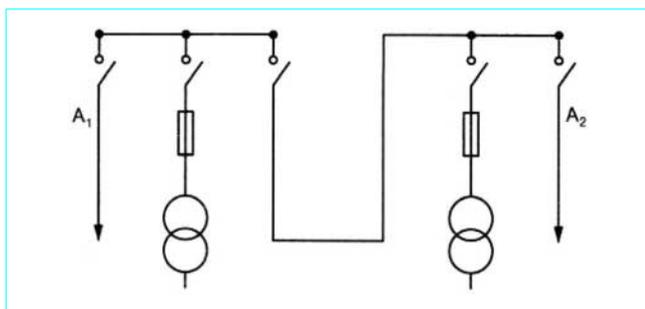


Figure 14 – Sectionnement de barres

ponibilité peut être obtenue par un sectionnement de barres (figure 14).

Les sous-comptages en HT sont onéreux ; il est préférable de les réaliser en BT, même avec plusieurs transformateurs.

Le nombre de transformateurs doit faire l'objet d'une attention particulière.

#### 4.1.2 Choix du nombre de transformateurs

Pour une puissance déterminée, la solution la plus économique consiste à n'utiliser qu'un transformateur de puissance de la gamme normalisée, immédiatement supérieure à la puissance nécessaire.

Toutefois, le fractionnement de la puissance peut être nécessaire dans les situations suivantes :

- si l'on veut diminuer l'unité de panne ;
- si l'on veut diminuer la puissance de court-circuit ;
- si l'on veut diminuer le taux d'indisponibilité.

En ce qui concerne ce dernier point, on peut hésiter entre deux solutions :

- disposer de 2 transformateurs identiques d'une puissance nominale égale ou supérieure à la puissance appelée ;
- disposer de 3 transformateurs identiques d'une puissance nominale égale ou supérieure à la moitié de la puissance appelée.

Nous allons montrer, sur deux exemples, que l'économie de projet doit être examinée à chaque fois.

##### ■ Premier exemple

Puissance appelée 1 100 kVA, durée du chantier : 3 ans.

Solution	Coût de location sur 3 ans (kF)	Indisponibilité probable de l'énergie (kWh)
2 transformateurs 1 250 kVA	300	4,5
3 transformateurs 630 kVA	261	2,0

##### ■ Deuxième exemple

Puissance appelée 550 kVA.

Solution	Coût de location sur 3 ans (kF)	Indisponibilité probable de l'énergie (kWh)
2 transformateurs de 630 kVA	171	2,3
3 transformateurs de 315 kVA	200	1

Les coûts de location pour 3 ans ont été estimés à la moitié de la valeur à neuf, la valeur à neuf comprenant la fourniture des cellules HT, des transformateurs, des câbles de liaisons HT transformateur/cellule, des tableaux BT.

L'indisponibilité probable de l'énergie a été calculée en multipliant la durée probable des indisponibilités par la puissance appelée. La durée probable des indisponibilités a été calculée à partir de la MTBF et de la MTTR des transformateurs (§ 2.4.1).

On voit que, pour des indisponibilités probables comparables et d'ailleurs totalement négligeables, dans le premier exemple la seconde solution est meilleure, tandis que c'est l'inverse pour le second exemple.

Notons que l'indisponibilité probable de l'énergie d'un seul transformateur de 1 250 kVA aurait représenté 23 850 kWh.

#### 4.1.3 Caractéristiques des transformateurs

Les transformateurs HT/BT sont, en France, conformes aux normes NF C 52-100 et NF C 52-112.

Cette dernière norme définit les caractéristiques des transformateurs normalisés dans la gamme de puissance : 50, 100, 160, (315), 400, (500), 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150 kVA.

Il n'est pas recommandé de dépasser 1 250 kVA. Les transformateurs deviennent lourds et encombrants, les puissances de court-circuit sont très élevées.

Il est intéressant de prévoir le raccordement des transformateurs, côté HT, par des bornes embrochables ainsi que des transformateurs à remplissage intégral dont l'huile n'a pas de contact avec l'air et ses pollutions.

Sur le transformateur, prévoir des protections par relais combiné gaz/température, dit DGPT2, qui commande le fonctionnement automatique des protections. En effet, les puissances ne sont pas toujours bien surveillées sur un chantier. Les aérations sont parfois obstruées par des amoncellements de poussières, créant des échauffements anormaux pouvant entraîner la destruction du transformateur.

Si le transformateur est raccordé sur le réseau de distribution, il importe de se renseigner auprès du distributeur avant de déterminer la valeur des prises de réglage et la tension normale primaire.

Enfin, dans certains cas particuliers, tels que des travaux souterrains, des transformateurs à isolement sec peuvent être nécessaires.

#### 4.1.4 Tableaux HT

Les tableaux HT sont réalisés par assemblage de cellules modulaires qui figurent aux catalogues des constructeurs.

Il existe deux grandes classes de cellules :

- les cellules dites débouchables où le matériel susceptible d'entretien peut être extrait sans démontage de la cellule ;
- les cellules à matériel fixe sectionnable.

Ces dernières sont, en général, moins onéreuses et conviennent aux installations de chantier.

Les principaux types de cellules et leur utilisation sont donnés dans le tableau 4.

Il existe actuellement trois technologies pour les appareils de coupure (cf. article *Appareillage électrique d'interruption à haute tension* [D 4 700] dans le traité Génie électrique) :

- coupure dans l'air (interrupteur) ;
- coupure dans le SF<sub>6</sub> (disjoncteur, interrupteur) ;
- coupure dans le vide (disjoncteur, interrupteur).

Les deux dernières sont préférables et équivalentes pour les installations de chantier poussiéreuses ou humides.

De même, il existe deux technologies d'isolation :

Tableau 4 – Utilisation des principaux types de cellules

Type de cellule	Utilisation					
	Armoire départ réseau	Comptage	Contrôle de tension	Protection transformateur	Protection moteur	Sectionnement de barre
Cellule interrupteur à coupure en charge	x					x
Cellule interrupteur + fusibles				x		
Cellule interrupteur + fusibles, mais à ouverture automatique				x	x	
Cellule disjoncteur	x					
Cellule de mesure de tension		x	x			
Cellule contacteur + fusibles					x	

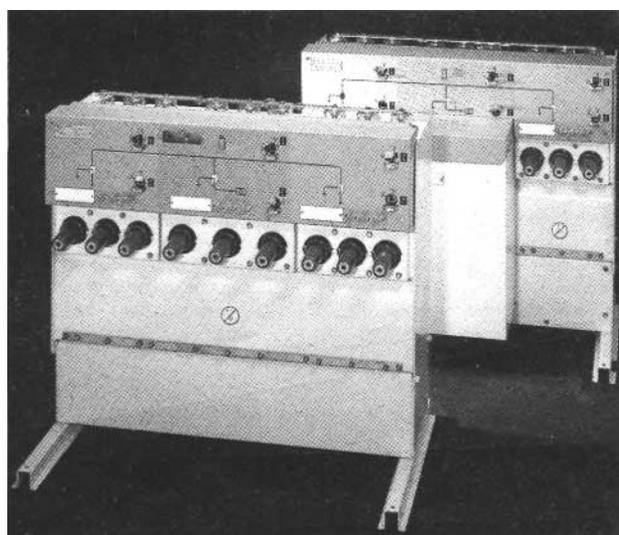


Figure 15 – Ensembles monoblocs HT RM6 à isolement intégral dans le SF<sub>6</sub> (doc. Merlin Gerin)

- dans l'air ;
- sans air (SF<sub>6</sub> + isolant solide) (figure 15).

La dernière n'est pas toujours plus onéreuse et est plus sûre dans les installations de chantier.

Les bâtiments abritant les cellules HT du premier type doivent être conçus pour éviter que la poussière ne pénètre. Les cellules abritant les transformateurs doivent être séparées du reste de l'ouvrage pour en permettre l'aération.

Enfin, bien qu'il n'existe pas, à notre connaissance, de modèle standard, on peut faire fabriquer des modèles sur skis pouvant être tirés par des engins pour suivre des chantiers mobiles. Les câbles d'alimentation sont alors prolongés au fur et à mesure, au moyen de prises HT.

## 4.2 Tableaux de distribution BT

### 4.2.1 Tableaux généraux basse tension

À la sortie des transformateurs, l'énergie est répartie vers les utilisations dans des ensembles dénommés tableaux généraux basse tension (TGBT).

Les TGBT comprennent les arrivées en provenance des transformateurs, les jeux de barre de répartition, la protection des départs, ainsi que tout l'appareillage de mesure, de surveillance et de commande.

Les principaux appareils de manœuvre et de protection, ainsi que leur utilisation, sont consignés dans le tableau 5.

Comme pour les tableaux HT, il existe deux technologies pour la réalisation de ces tableaux :

- en tiroir débrochable ;
- en matériel fixe.

Les premiers sont beaucoup plus onéreux, mais permettent une maintenance plus aisée. On peut limiter généralement le débrochage aux disjoncteurs d'arrivée.

Du point de vue de l'isolation, il existe une seule technologie : l'isolation dans l'air. Il faut veiller à installer ces tableaux dans des locaux étanches ou faire appel à des tableaux en armoire étanche.

### 4.2.2 Tableaux au armoires divisionnaires

Il faut éviter d'alimenter tous les récepteurs à partir du TGBT, comme on a tendance à le faire trop souvent dans l'industrie. Des tableaux divisionnaires doivent être prévus pour les petits consommateurs d'une zone. Les moyens et technologies à mettre en œuvre sont les mêmes que pour les TGBT.

## 4.3 Prises de courant

### 4.3.1 Prises BT

Les prises de courant, prolongateurs et connecteurs utilisés sur les chantiers doivent être interruptibles.

On trouve :

- 3 tensions nominales : 50 V, 380-440 V, 700 V ;
- 5 courants nominaux : 16, 32, 63, 125, 200 A ;

3 degrés de protection contre les agents extérieurs :

- protégés contre la pluie et les éclaboussures,
- protégés contre les jets d'eau,
- étanches à l'immersion ;

3 degrés de protection contre les chocs :

- à enveloppe ordinaire,
- à enveloppe renforcée,
- à enveloppe blindée ordinaire.

Tableau 5 – Utilisation des principaux appareils de manœuvre et de protection

Type d'appareil	Utilisation				
	Armoire transformateur	Sectionnement de barre	Départ moteur direct	Départ éclairage	Autres départs
Interrupteur		x			
Interrupteur + fusible					x
Disjoncteur	x				x
Contacteur + fusible			x	x	



Figure 16 – Symboles utilisés pour les degrés de protection contre les agents extérieurs

Ces caractéristiques doivent figurer sur les boîtiers. La figure 16 donne les symboles utilisés pour les degrés de protection contre les agents extérieurs.

Les prises de tension supérieure à 50 V doivent nécessairement comporter un contact de terre.

De ce fait, du point de vue des contacts, il existe trois modèles de prise :

- 2 pôles + terre ;
- 3 pôles + terre ;
- 3 pôles + neutre + terre.

Les prises de courant sont généralement associées à des coffrets comportant un disjoncteur et un relais à courant résiduel.

#### 4.3.2 Prises HT

On trouve maintenant des prises pour des tensions de 20 kV et des intensités de 50, 400 et 630 A. Leur corps est protégé par une enveloppe en fonte d'aluminium. La prise mâle comporte un isolant en résine époxyde, la prise femelle un isolant élastomère enduit de graisse silicone de façon à bannir la présence de vacuoles d'air.

#### 4.4 Matériel à sécurité renforcée

Lorsqu'il y a risque d'explosion (risque BE3, norme NF C 15-100), il doit être fait usage de matériel à sécurité renforcée.

C'est le cas des dépôts de carburants, des ateliers de peinture, de certains travaux souterrains. Il existe des luminaires, des prises de courant, des coffrets de protection répondant à cette spécification.

#### 4.5 Automation

Les techniques de contrôle-commande par ordinateur et automates programmables se sont largement répandues sur les chantiers.

Citons quelques exemples :

- systèmes anticollision pour les grues ;
- conduite de centrales frigorifiques ;
- télésurveillance de réseaux électriques ;
- télésurveillance anti-intrusion.

### 5. Éclairage des chantiers

L'éclairage des chantiers est devenu une obligation, sans parler bien entendu des travaux souterrains. L'éclairage de sécurité est une obligation au titre de l'arrêté du 10.11.1976 sur les établissements soumis au Code du travail.

Pour établir un projet d'éclairage, on pourra se reporter aux recommandations de l'Association Française de l'Éclairage (AFE) et aux articles *Éclairage* [C 3 315] [C 3 340] [C 3 341] [C 3 342] du présent traité et *Sources de lumière de l'éclairage électrique* [D 5 800] du traité Génie électrique.

Quelques exemples de niveaux usuels d'éclairage sont donnés dans le tableau 6.

Les valeurs limites des puissances et flux lumineux pour les principales sources lumineuses sont indiquées dans le tableau 7 et la figure 17 donne quelques exemples d'appareils d'éclairage. Pour l'éclairage, on pourra, en toute première approximation, utiliser la formule :

$$E = K\Phi / S$$

avec  $E$  (lx) éclairage,  
 $K$  coefficient égal à 0,3,  
 $\Phi$  (lm) flux lumineux de la source,  
 $S$  (m<sup>2</sup>) surface.

La qualité de l'éclairage ne dépend pas seulement du niveau d'éclairage moyen, d'autres éléments sont à prendre en compte dans un projet complet :

- coefficient d'uniformité ;
- luminance ;
- éblouissement.

Les calculs d'éclairage sont relativement complexes, mais des logiciels existent dans le commerce pour les réaliser.



Figure 17 - Appareils d'éclairage (doc. Thorn Europhane)

Tableau 6 - Niveaux d'éclairement

Nature de l'espace à éclairer	Éclairage moyen sur plan utile (lx)	Coefficient d'uniformité	Sources lumineuses préférentielles (tableau 7)	Appareils d'éclairage (figure 16)
Circulations extérieures .....	10 à 15	0,3 à 0,4	③ ④ ⑤	(b)
Aires de manutentions.....	40 à 50	0,6	③ ④ ⑤	(b) (c)
Travaux de terrassement (1).....	10 à 20	0,6	⑥ ⑦	(c)
Gros œuvre ouvrage d'art (éclairage général) (1).....	40 à 50	0,6	⑥ ⑦	(c)
Gros œuvre bâtiment (éclairage général) (1).....	40 à 50	0,6	⑥ ⑦	(c)
Second œuvre bâtiment .....	120 à 150	0,7	① ②	
Bureaux de chantiers .....	200 à 300	0,8	② ①	(a)
Ateliers (éclairage général).....	120 à 200	0,8	② ①	(a)
Sanitaires .....	120	0,6	① ②	(a)

(1) Des éclairages d'appoint sont nécessaires sous forme de postes fixes, mobiles ou sur engin.

Tableau 7 - Caractéristiques des sources lumineuses

Type de source	Puissance mini maxi (W)	Flux mini maxi (lm)	Durée de vie moyenne (h)	Prix de revient annuel ramené à 10 000 lm (F)
① Lampe à incandescence	40	1 000	1 000	500
	1 000	18 000		175
② Tube fluorescent	16	1 450	5 000	120
	58	5 400		60
③ Ballon à vapeur de mercure	50	1 800	8 000	150
	1 000	58 000		55
④ Lampe à sodium BP	18	1 800	8 000	170
	180	32 000		36
⑤ Lampe à sodium HP	50	3 300	7 000	120
	1 000	130 000		31
⑥ Lampe à iodure métallique	250	17 000	4 000	86
	2 000	187 000		44
⑦ Lampe halogène BT	200	3 200	2 000	175
	2 000	44 000		110

## 6. Exemples de puissance mise en œuvre et de consommation

### 6.1 Génie civil. Tranche 1 de la Centrale nucléaire de Civaux

EDF a construit, pour alimenter le site, un poste provisoire 60/20 kV. Une boucle HT 20 kV dessert, sur le chantier, des postes de 20 kV/BT de 630 kVA à partir desquels sont livrées les entreprises. Le tableau 8 donne les puissances installées et l'évolution des consommations.

### 6.2 Barrage de Jebba (Nigeria)

Cette opération comportait un barrage principal en matériaux compactés et ensolement, avec une importante couverture étanche en amont, 4 barrages auxiliaires de même constitution, une centrale

électrique de 6 unités pour un total de 560 MW, un évacuateur de crue, une écluse. Les principales caractéristiques étaient les suivantes :

- volume des évacuations : 3 950 000 m<sup>3</sup>
- volume des matériaux utilisés : 4 050 000 m<sup>3</sup>
- volume des bétons : 485 000 m<sup>3</sup>
- volume des fondations par vibrocompactage : 3 000 000 m<sup>3</sup>

#### ■ Source d'électricité

L'alimentation principale était assurée par une sous-station 33 kV/11 kV de 30 MVA du réseau national nigérian, la sous-station était équipée de 4 départs 11 kV. Le chantier disposait de deux lignes 11 kV fonctionnant en boucle ouverte pour une puissance appelée de 15 MVA maximum.

La *base-vie* était alimentée par une ligne 11 kV en antenne avec un schéma de distribution du type arborescent.

Une centrale de 7 MVA, couplée sur le réseau 11 kV permettait, en cas de défaillance de l'alimentation du 33 kV, de maintenir en activité les installations prioritaires.

Tableau 8 – Centrale nucléaire de Civaux. Puissance installée et consommations

Consommateurs	Puissance installée (kVA)	Consommations mensuelles 1990 (en kWh)						
		mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.
Laboratoire béton	30	1 552	1 418	1 900	1 777	1 582	2 609	3 330
Vestiaires-réfectoire R : 1	25	283	497	416	368	777	2 188	2 664
Bureaux	40	504	661	404	490	889	3 317	4 657
Atelier 1	160	1 744	1 792	2 180	1 648	2 496	3 384	2 104
Atelier 2	160	11 264	10 364	10 400	1 648	26 972	20 324	18 732
Boutillet	30	0	23	0	0	0	0	0
Pompes d'épuisement	30	2 639	2 761	3 321	3 466	3 308	530	1 196
Compresseur	160	13 636	3 708	15 060	23 896	16 644	27 662	25 252
Armoire de grue G 110	80	2 616	2 604	3 532	3 444	2 768	964	2 568
Vestiaires-réfectoire R : 4	25	753	611	403	307	957	658	4 729
Vestiaires-réfectoire R : 3	25	681	786	830	602	787	538	3 542
Armoire de grues G 105-G 109	80	3 328	3 400	5 688	5 444	4 672	1 022	5 268
Armoire de grue G 104	80	1 560	2 320	2 240	1 864	1 864	561	1 612
Départ pompe à béton	120	204	828	516	1 362	894	525	1 152
Départ G 101	40	946	780	1 072	774	1 010	414	1 596
Départ éclairage extérieur	25	367	394	673	734	337	194	1 217
Départ pompe à béton G 102	120	0	0	0	0	0	0	0
Compresseur	80	7 720	9 220	9 236	7 036	6 860	6 788	2 676
Départ G 102 + armoire G 102	80	3 388	3 884	5 632	4 364	3 872	4 848	4 684
Armoire pompes à béton 1	160	4 588	2 936	4 064	4 992	3 324	3 576	2 936
Départ pompe à béton G 103	120	956	520	296	148	248	748	1 204
Armoire de grue G 103	80	5 032	4 152	4 936	3 800	4 264	7 432	5 840
Vestiaires-réfectoire R : 2	25	1 335	918	722	561	890	3 511	4 264
Départ services généraux	80	0	52	96	168	235	61	1
Départ grue G 106	80	308	964	2 224	1 164	2 016	2 352	2 030
Vestiaires-réfectoire R : 5	25	371	1 137	1 287	1 179	1 573	2 969	2 997
Départ pompe béton G 108	120	0	3 684	712	392	772	1 536	1 832
Armoire de grue G 108	80	2 032	2 024	1 244	1 264	2 316	3 180	3 108
Total	2 160	67 807	62 438	79 084	72 892	92 327	101 891	111 991
Puissance souscrite (kVA)		300	350	350	350	400	450	450
Consommation moyenne/jour		3 989	3 297	3 954	3 645	5 127	5 363	5 894

### ■ Inventaire des principales puissances électriques

Bâtiments administratifs :	315 kVA
Ateliers, magasin central :	630 kVA
Éclairage du barrage :	500 kVA
Pompage (rabattement de nappe) :	150 kVA
Pompage (assèchement) :	800 kVA
Pompage (filtrage et traitement des eaux) :	315 kVA
Parc à ferraille :	315 kVA
Carrière :	630 kVA
Station de criblage et stockage des matériaux :	1 200 kVA
Station de concassage :	1 800 kVA
Centrale à béton :	400 kVA
Centrale de réfrigération et de fabrication de glace :	1 200 kVA

Ateliers charge batterie :	315 kVA
Tunneliers (alimentation) :	5,5 kV 1 500 kVA
Machines ponctuelles :	380 V { 110 kW 160 kW
Machines ponctuelles :	500 V { 200 kW 350 kW
Machine ponctuelle :	{ 630 kW
Train à béton :	1 000 V { 150 kW
Pompe à béton :	{ 110 kW
Ventilateurs :	37 kW-55 kW-160 kW
Compresseurs :	75 kW-110 kW
Portiques d'évacuation :	220 kW

Le tableau 9 donne un exemple de consommation et d'évaluation de la puissance d'une des plates-formes.

## 6.3 Travaux souterrains. Chantier du LEP

Le chantier avait pour objet la construction d'un tunnel circulaire de 27 km de diamètre, de salles de travail, de halles d'expériences, de galeries d'équipement. Le diamètre des différentes galeries varie de 4,20 à 5,60 m. Les travaux représentent 1 200 000 m<sup>3</sup> d'excavation et 400 000 m<sup>3</sup> de béton et sont effectués à une profondeur moyenne de 90 m.

### ■ Source d'électricité

Chaque plate-forme chantier (au total 8) était alimentée par le réseau public EDF HT 20 kV. La distribution 20 kV était réalisée en antenne à partir d'un poste de livraison pour deux ou trois postes de transformation 20 kV/400 V. Un poste 2 500 kVA - 20 kV/5,5 kV alimentait le réseau souterrain. Tous les circuits prioritaires disposaient d'une source autonome locale constituée par un groupe électrogène, avec inversion de source automatique. La puissance totale installée était de 14 MVA pour une puissance appelée maximale de 10,5 MVA. Lors des différentes phases de travaux, la puissance nécessaire à chaque plate-forme a varié entre 300 et 2 000 kW. La puissance des circuits prioritaires était comprise entre 200 et 350 kVA.

### ■ Inventaire des principales puissances électriques

Centrale de congélation des sols :	1 200 kVA
Centrale de congélation des sols :	500 kVA

**Tableau 9 – Chantier du LEP. Exemple de consommation et d'évaluation de la puissance**

N° mois	Puissance atteinte (kW)	Consommation totale (kWh)
1	173	31 598
2	173	16 932
3	173	21 598
4	319	33 978
5	506	109 639
6	613	156 800
7	706	215 000
8	706	162 000
9	706	137 328
10	879	265 059
11	1 193	312 658
12	853	197 000
13	405	103 596
14	330	89 196
15	289	67 196
16	289	42 798
17	289	21 598

# Électricité de chantier

par **Pierre PICARD**  
Conseiller Scientifique à la société FORCLUM

## Normalisation

<b>France</b>			NF C 17-200	4.90	Installations d'éclairage public. Règles.
<b>Association Française de Normalisation AFNOR</b>			NF C 33-220	7.88	Câbles isolés ou protégés pour réseaux d'énergie. Câbles isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV.
NF C 11-201	4.83	Travaux d'électrification en zones rurales.			
C 12-330 U	5.80	Mines et atmosphères explosives. Textes officiels relatifs à la protection du personnel dans les mines et les carrières qui mettent en œuvre des courants électriques.			
NF C 13-100	6.83	Installations HT. Postes de livraison établis à l'intérieur d'un bâtiment et alimentés par un réseau de distribution publique de 2 <sup>e</sup> catégorie.	NF C 52-100	8.90	Transformateurs de puissance.
			NF C 52-112	4.68	Transformateurs électriques. Transformateurs triphasés à 2 enroulements en cuivre pour réseaux de distribution publique à 50 Hz. Règles complémentaires. Caractéristiques.
NF C 13-103	12.85	Installations HT. Postes de livraison. Postes sur poteaux alimentés par un réseau de distribution publique de 2 <sup>e</sup> catégorie.	NF C 63-210	12.80	Coupe-circuit à fusibles BT. Règles supplémentaires pour coupe-circuit pour usages industriels.
NF C 13-200	12.89	Installations HT. Règles.	NF C 64-210	6.74	Coupe-circuit à fusibles pour postes de transformation publics ou privés du type intérieur.
NF C 15-100	4.91	Installations électriques BT. Règles.			

## Réglementation

Arrêté du 10.11.1976 sur les établissements soumis au Code du travail.  
Arrêté n° 88-1056 du 14.11.1988 du Ministère du Travail, relatif à la protection des travailleurs.  
Protection des travailleurs contre les courants électriques. Brochure n° 1078. JO.

Arrêté du 20.12.1988 relatif à la vérification périodique de la valeur de l'impédance de terre.  
Spécification EDF H 115 (1.1984). Normalisation : principe de conception et de réalisation des mises à la terre. Éd. EDF Service.

## Organismes français

Électricité de France EDF  
Fédération des Industries Électriques et Électroniques FIEE  
Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies professionnelles INRS

Syndicat National des Entrepreneurs des Réseaux de Centrales et d'Équipements Industriels Électriques SERCE  
Union Technique de l'Électricité UTE