

Le transport de l'énergie électrique

1. Problématique

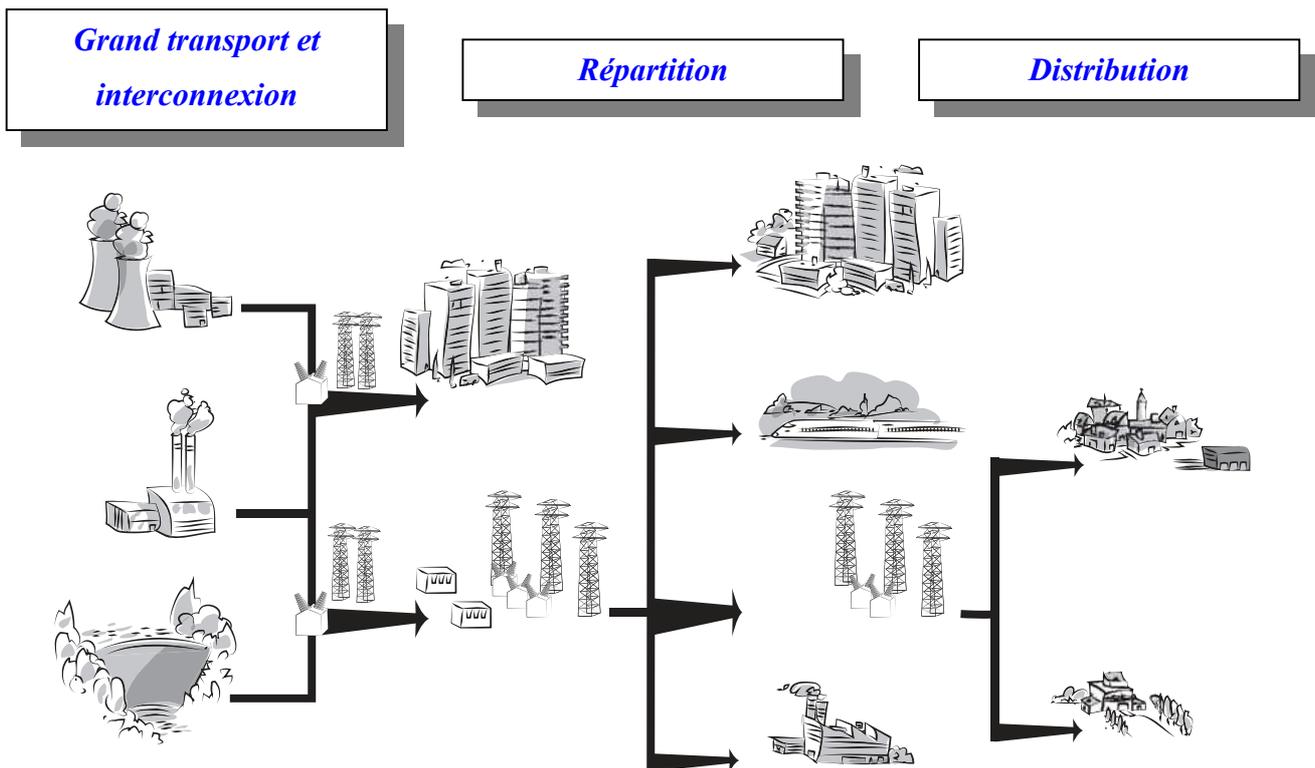
L'énergie électrique est produite par de grosses unités industrielles appelées centrales électriques. Ces centrales se situent en général près des lieux de production des énergies primaires (charbon, gaz...), à proximité des axes de transport par lesquels circulent ces mêmes énergies primaires ou auprès de cours d'eau qui servent au refroidissement des circuits du générateur de vapeur.

La consommation de l'énergie électrique produite par les centrales est, en général, éloignée des lieux de production.

L'énergie doit donc être transportée sur de grandes distances entre lieux de production et de consommation, c'est le rôle du réseau de transport de l'énergie électrique.

2. Organisation du réseau de transport

Le réseau de transport est illustré ci-dessous :



Constitution du réseau de transport de l'énergie électrique.

On distingue :

- **le grand transport et l'interconnexion** : c'est le raccordement des centrales entre elles. Si une centrale vient à être en défaut, les autres continuent à fournir l'énergie. En l'absence d'interconnexion, la défaillance d'une centrale entraînerait la disparition d'énergie électrique pour tous ses « clients ». Le grand transport véhicule l'énergie entre les lieux de production et les grandes régions de consommation,

- *la répartition : elle a pour rôle « d'aiguiller » l'énergie des lieux de production vers les gros clients (grosses industries...),*
- *la distribution : c'est la fourniture d'énergie électrique aux « petits » utilisateurs terminaux (particuliers, petites et moyennes entreprises, centres commerciaux...).*

3. Domaines de tension

Les tensions sont classées en fonction de leur valeur. A l'aide des documents ressource complétez le tableau suivant (U_n est la tension nominale considérée) :

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale U_n	
		En courant alternatif	En courant continu
Très Basse Tension	<i>TBT</i>	$U_n \leq 50 \text{ V}$	$U_n \leq 120 \text{ V}$
Basse Tension	<i>BTA</i>	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	<i>BTB</i>	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension	<i>HTA</i>	$1000 < U_n \leq 50000$	$1500 < U_n \leq 75000$
	<i>HTB</i>	$U_n > 50000$	$U_n > 75000$

La tension retenue pour déterminer la classe de tension à laquelle elle appartient est la valeur la plus élevée pour le réseau considéré.

4. Applications

Déterminez le domaine de tension du réseau de distribution publique d'énergie français 230 / 400 V alternatif (Vac).

La tension la plus élevée est de 400 V, le domaine de tension est donc : BTA.

Déterminez la classe de tension d'un réseau de distribution électrique 400 / 690 Vac.

La tension la plus élevée est de 690 V, le domaine de tension est donc : BTB.

Même question pour un réseau de distribution 400 kVac.

La tension la plus élevée est de 400 kV, le domaine de tension est donc : HTB.

Déterminez la classe de tension d'un réseau de distribution d'énergie électrique 11,5 / 20 kVac.

La tension la plus élevée est de 20 kV, le domaine de tension est donc : HTA.

5. Tension et rendement liés au transport de l'énergie

Monsieur Sisbisse souhaite éclairer un petit plan d'eau au fond de son jardin. Il a entendu dire qu'une tension faible est beaucoup moins dangereuse que le 230 V du réseau de distribution publique. Il fait donc le choix d'utiliser une tension de 24 V pour alimenter ses projecteurs autour du plan d'eau. Il dispose de 5 projecteurs de 50 watts chacun. Il vous demande conseil pour déterminer le matériel dont il va avoir besoin.

Pour l'aider, vous allez avoir besoin de calculer la puissance totale P_{totale} et le courant I absorbé par les 5 projecteurs (détaillez les calculs, valeurs et unités).

La puissance totale consommée par les 5 projecteurs P_{totale} est égale à la somme des puissances de chaque projecteur :

$$P_{totale} = \sum P_{projecteur} \quad P_{totale} = 50 + 50 + 50 + 50 + 50 \quad P_{totale} = 250$$

La puissance totale P_{totale} consommée par les 5 projecteurs est de 250 W.

Calcul du courant I absorbé par ces 5 projecteurs :

$$I = \frac{P_{totale}}{U} \quad I = \frac{250}{24} \quad I = 10,4$$

Le courant I consommé par les 5 projecteurs est de 10,4 A.

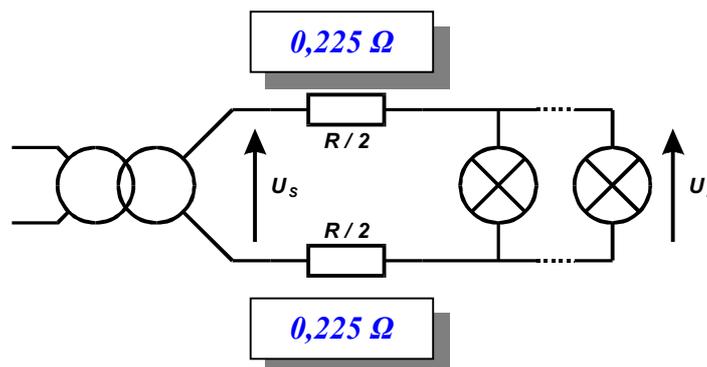
La longueur du câble qui relie le transformateur aux projecteurs est d'environ 25 m, sa section de 2,5 mm². Calculez la valeur de la résistance R des conducteurs qui relient le transformateur aux projecteurs (nous utiliserons une valeur de résistivité ρ de 22,5 10⁻³ Ω mm² / m à la température de fonctionnement). Détaillez le calcul.

La longueur des conducteurs est de 50 m (le câble est constitué des 2 conducteurs de 25 m).

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad R = \frac{22,5 \times 10^{-3} \times (2 \times 25)}{2,5} \quad R = 0,45$$

La résistance R des conducteurs est de 0,45 Ω.

Complétez le schéma suivant.



Calculez la chute de tension ΔU dans les conducteurs pour le courant calculé précédemment.

$$\Delta U = R \times I \quad \Delta U = 0,45 \times 10,4 \quad \Delta U = 4,68$$

La chute de tension ΔU est de 4,68 V pour un courant de 10,4 A.

Calculez la tension U_s au secondaire du transformateur afin de garantir la tension nominale U_L de 24 V aux bornes des projecteurs.

$$U_s = U_p + \Delta U \quad U_s = 24 + 4,68 \quad U_s = 28,7$$

La tension U_s au secondaire du transformateur doit être de 28,7 V.

Calculez le rendement η de l'ensemble conducteurs et projecteurs (afin de simplifier, nous ne tiendrons pas compte du rendement du transformateur que nous supposons parfait).

$$\eta = \frac{P_{\text{totale}}}{P_{\text{transformateur}}} \quad \eta = \frac{P_{\text{totale}}}{U_s \times I} \quad \eta = \frac{250}{28,7 \times 10,4} \quad \eta = 0,838$$

Le rendement η est de 0,838 soit 83,8 %.

En ayant le même raisonnement, calculez le rendement de l'ensemble conducteurs et projecteurs si M. Sisbisse avait utilisé un câble en 4 mm². Conclure sur l'intérêt d'augmenter la section.

La puissance absorbée n'a pas changé, elle est toujours de 250 W (5 projecteurs de 50 W), la tension d'alimentation des projecteurs n'a pas changé non plus, le courant en ligne est donc toujours de 10,4 A.

Calcul de la résistance des conducteurs :

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad R = \frac{22,5 \times 10^{-3} \times (2 \times 25)}{4} \quad R = 0,281$$

La résistance R des conducteurs est 0,281 Ω .

Calcul de la chute de tension ΔU :

$$\Delta U = R \times I \quad \Delta U = 0,281 \times 10,4 \quad \Delta U = 2,92$$

La chute de tension ΔU est de 2,92 V pour un courant de 10,4 A.

Calcul du rendement :

$$\eta = \frac{P_{\text{totale}}}{P_{\text{transformateur}}} \quad \eta = \frac{P_{\text{totale}}}{U_s \times I} \quad \eta = \frac{250}{(24 + 2,92) \times 10,4} \quad \eta = 0,893$$

Le rendement est de 89,3 % si on câble en 4 mm².

L'augmentation de la section des conducteurs permet de diminuer la chute de tension en ligne ΔU et d'augmenter le rendement (89,3 contre 83,8 %) grâce à la diminution des pertes en ligne.

En ayant le même raisonnement, calculez le rendement de l'ensemble conducteurs et projecteurs si la tension d'alimentation est de 230 V pour une section de conducteurs de 1,5 mm².

La puissance totale n'a pas changé, elle est toujours de 250 W.

Calcul du courant absorbé :

$$I = \frac{P_{\text{totale}}}{U} \quad I = \frac{250}{230} \quad I = 1,09$$

Le courant absorbé est de 1,09 A.

Calcul de la résistance R des conducteurs :

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad R = \frac{22,5 \times 10^{-3} \times 50}{1,5} \quad R = 0,75$$

La résistance R des conducteurs est de 0,75 Ω.

Calcul de la chute de tension :

$$\Delta U = R \times I \quad \Delta U = 0,75 \times 1,09 \quad \Delta U = 0,818$$

La chute de tension est de 0,818 V pour un courant de 1,09 A.

Calcul du rendement :

$$\eta = \frac{P_{\text{totale}}}{P_{\text{fournie}}} \quad \eta = \frac{P_{\text{totale}}}{(U_L + \Delta U) \times I} \quad \eta = \frac{250}{(230 + 0,818) \times 1,09} \quad \eta = 0,994$$

Le rendement est de 99,4 % si on alimente les projecteurs en 230 V pour un câblage en 1,5 mm².

Conclure sur l'intérêt d'utiliser une tension plus élevée pour transporter l'énergie électrique.

Plus la tension utilisée est élevée, meilleur est le rendement. Nous avons donc intérêt à utiliser une tension la plus élevée possible afin de réduire les pertes en ligne.

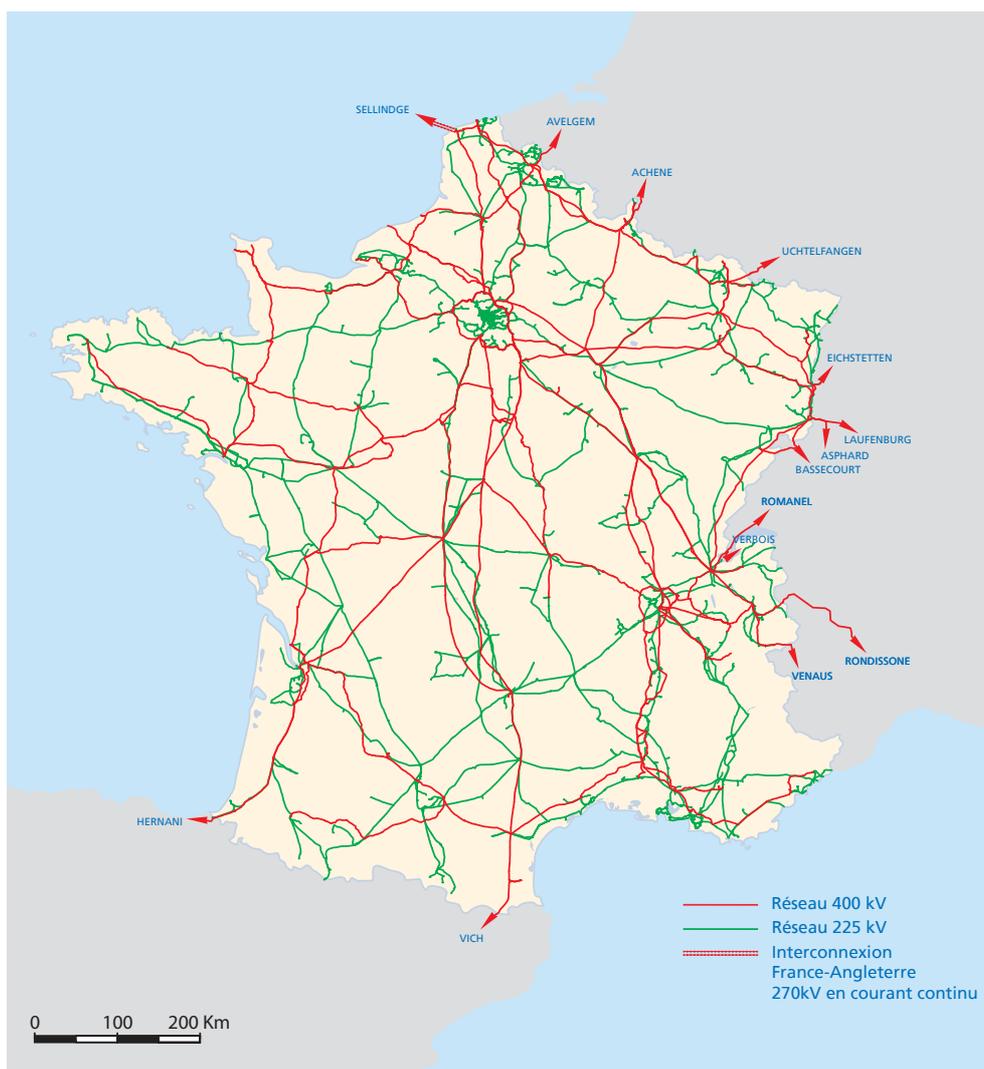
6. Le réseau de transport - distribution français

En France, le réseau de grand transport et d'interconnexion se fait habituellement en 225 ou 400 kV, la répartition en 15, 20, 36, 63 ou 90 kV, la distribution finale en 230 / 400 V ou 400 / 690 V suivant les usages de l'énergie (l'industrie utilise des tensions triphasées de 400 / 690 V pour les gros moteurs par exemple, les applications domestiques utilisent le 230 V monophasé pour tous les usages).

L'utilisation de tensions élevées a pour avantage de permettre d'utiliser des conducteurs de section moindre, mais elle a pour principal inconvénient la nécessité d'utiliser des isolants adaptés à ces tensions. Dans le cas de lignes aériennes, il suffit d'écartier les conducteurs à des potentiels différents d'une distance suffisante. Pour les lignes enterrées, l'utilisation d'épaisseurs d'isolants beaucoup plus importantes permet de garantir la tenue aux hautes tensions.



Photo de la plaque apposée sur un pylône HTB.



Le réseau de transport d'électricité et d'interconnexions THT en France métropolitaine en février 2008. Illustration RTE.

Remarque : les techniciens des distributeurs d'énergie électrique utilisent d'autres domaines de tension que ceux évoqués au paragraphe 3. Ils parlent de basse tension (BT), moyenne tension (MT), haute tension (HT) et très haute tension (THT). Ceux qui nous intéressent (paragraphe 3) sont ceux utilisés dans les installations sur lesquelles les électriciens sont habituellement amenés à travailler et soumis à la **NF C 15-100** (qui ne concerne que les installations du domaine basse tension c'est-à-dire inférieure à 1 000 Vac).