

Version professeur

Physique-chimie – Terminale Bac Pro

Cahier d'exercices

Chapitre 1

Transporter l'énergie sous forme électrique

Édition : 26 septembre 2026 – Naïm Azzouz

Méthode — Mode d'emploi

Ce cahier suit les cinq capacités du chapitre, dans l'ordre du cours. Chaque capacité commence par un rappel, puis les exercices vont de l'application guidée au contrôle d'un résultat. Écrire le calcul, puis une phrase de réponse **avec son unité**. Calculatrice autorisée. Les corrections suivent chaque exercice dans cette version.

Repères et ordre de travail

Capacité et intitulé complet	Exercices	Pages
C1 – Représenter le schéma simplifié d'un réseau de distribution d'énergie électrique à l'échelle d'un pays et d'une installation domestique	1 à 5	2
C2 – Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans un conducteur à partir de sa résistance et de la valeur efficace de l'intensité ou de la tension	6 à 11	7
C3 – Justifier l'intérêt du transport d'énergie électrique à grande distance sous haute tension	12 à 17	11
C4 – Mettre en évidence expérimentalement le rôle d'abaisseur ou d'élévateur de tension d'un transformateur	18 à 21	16
C5 – Connaître le rôle des transformateurs dans les réseaux de distribution et dans les appareils électriques d'utilisation courante	22 à 25	20
Synthèse – croiser les capacités sur une situation complète	26 à 28	23

Prérequis rappelés au fil du cahier : $U = R \times I$; $P = U \times I$; valeur efficace en alternatif ; puissances de dix, préfixes k et M ; $E = P \times t$.

Indication

Cadre de travail. Documents et calculs, sans manipulation. Les scénarios et relevés d'entraînement sont des données fournies, non des mesures réalisées en classe. C4 prépare l'étude expérimentale du transformateur : sa réalisation reste à faire ultérieurement. Pour les lignes, on utilise un modèle monophasé résistif : $P = UI$ au départ, R constante pour l'aller-retour, puis $P_{\text{reçue}} = P - RI^2$. Les vérifications de seuils ne constituent pas un dimensionnement d'installation.

C1 – Représenter le schéma simplifié d'un réseau de distribution d'énergie électrique à l'échelle d'un pays et d'une installation domestique

Capacité du programme. Cours §1.

Rappel de cours

À l'échelle du pays. L'alternateur d'une centrale produit une tension d'environ 20 kV. Un **transformateur élévateur** la porte à 400 kV (ou 225 kV) pour le **transport très haute tension** sur de grandes distances. Des **postes** abaissent ensuite la tension : répartition régionale en 90 kV ou 63 kV ; le **poste source** donne la moyenne tension 20 kV de la distribution ; le **poste HTA/BT** (de quartier) donne la basse tension 230 V / 400 V. Un poste source peut aussi recevoir directement du 225 kV : tous les niveaux ne sont pas toujours traversés.

À l'échelle du logement. Réseau basse tension → **compteur** → **disjoncteur de branchement** (différentiel 500 mA) → tableau de répartition : **interrupteurs différentiels** 30 mA → **disjoncteurs divisionnaires**, un par circuit → circuits (éclairage, prises, circuits spécialisés).

Le compteur et le disjoncteur de branchement forment le panneau de contrôle. La **limite** entre le réseau public et l'installation du client, le point de livraison, se trouve à la sortie du disjoncteur de branchement.

Exercice 1 — Compléter le schéma du réseau national

Le schéma décrit le chemin de l'électricité, de la centrale jusqu'au compteur d'un logement.

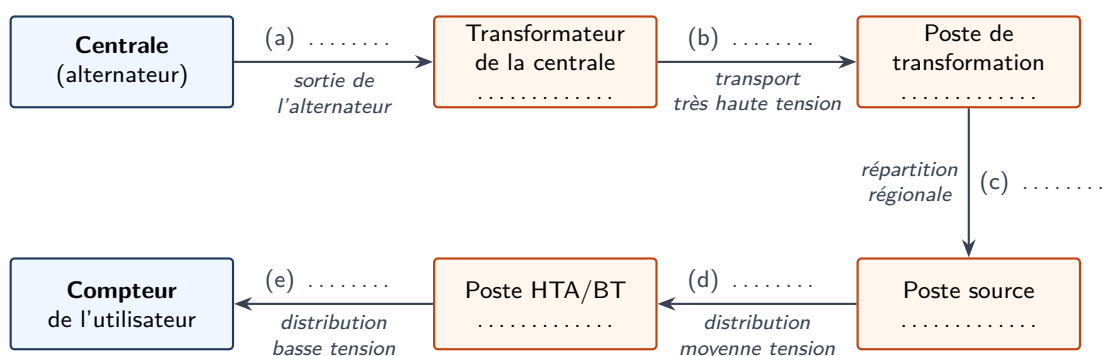


Schéma simplifié du réseau national : les blocs orange sont des transformateurs, les flèches portent le niveau de tension de chaque tronçon et le nom du réseau.

Valeurs à placer : 20 kV (deux fois) ; 400 kV ; 63 kV ou 90 kV ; 230 V / 400 V.

- Écrire sur chaque flèche, de (a) à (e), le niveau de tension du tronçon.
- Écrire dans chaque bloc orange « élévateur » ou « abaisseur ».
- Un seul transformateur du schéma est élévateur. Lequel ? Pourquoi est-il placé juste après la centrale ?

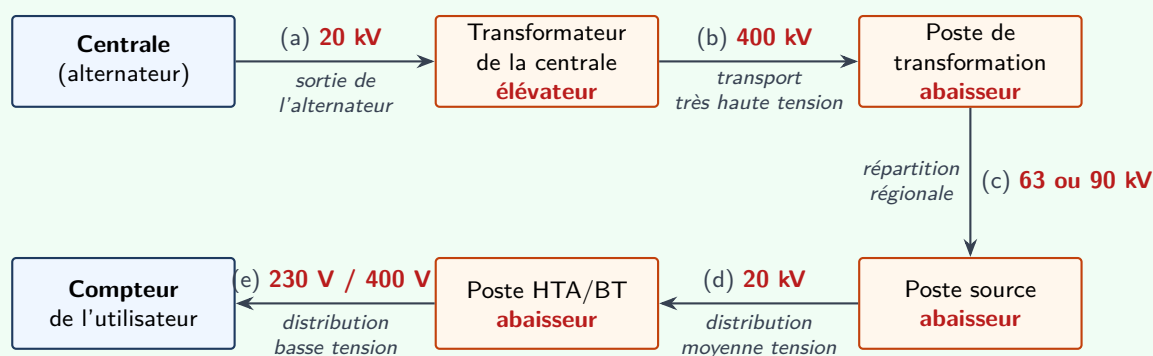
Correction de l'exercice 1**a. et b.** Schéma complété :

Schéma simplifié du réseau national : les blocs orange sont des transformateurs, les flèches portent le niveau de tension de chaque tronçon et le nom du réseau. Réponses en rouge.

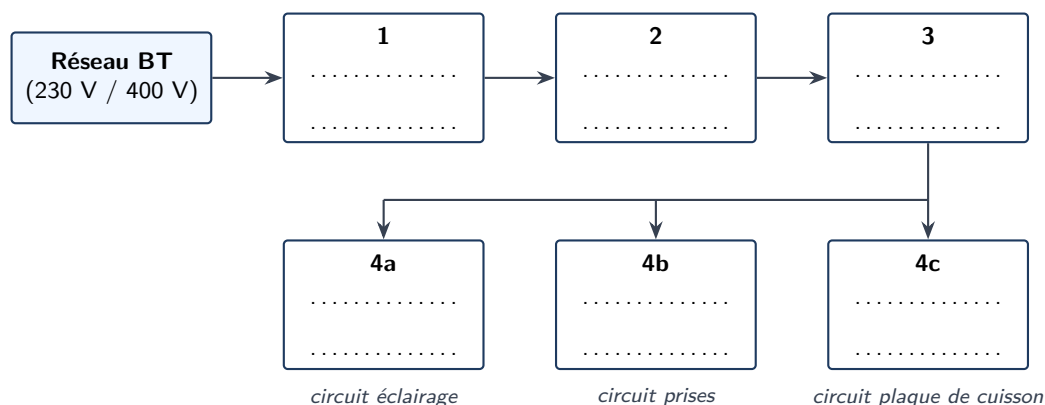
c. Le transformateur **de la centrale** est le seul élévateur : il porte la tension de l'alternateur (environ 20 kV) à 400 kV. Il est placé avant le transport parce que c'est sur les grandes distances qu'il faut limiter les pertes par effet Joule : sous une tension élevée, l'intensité est faible (capacité C3). Tous les postes suivants **abaissent** la tension, jusqu'aux 230 V / 400 V de l'utilisateur.

Réponses recevables : (b) 225 kV est aussi une tension de transport ; un poste source peut être alimenté directement en 225 kV, sans passer par 63 kV ou 90 kV.

Erreurs fréquentes : écrire « haute tension » pour le transport (c'est la **très** haute tension) ; croire qu'un seul transformateur passe de 400 kV à 230 V.

Exercice 2 — Ordonner l'installation d'un logement

Le schéma représente l'installation électrique d'un logement, du réseau basse tension jusqu'à trois circuits.



Installation électrique d'un logement : les éléments 1 à 4 sont traversés dans l'ordre des flèches ; chaque élément 4 protège un seul circuit.

Éléments à placer : compteur ; disjoncteur de branchement ; interrupteur différentiel 30 mA ; disjoncteur divisionnaire (trois fois).

a. Écrire le nom de chaque élément dans les cases 1, 2, 3, 4a, 4b et 4c.

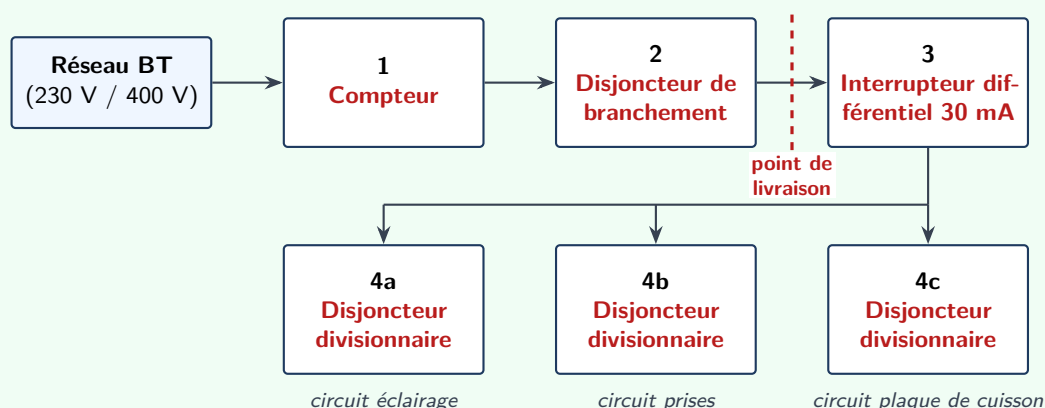
b. Quels éléments forment le panneau de contrôle ?

c. Tracer sur le schéma, par un trait, la limite entre le réseau public et l'installation du client (point de livraison).

d. Pourquoi chaque circuit a-t-il son propre disjoncteur divisionnaire ?

Correction de l'exercice 2

a. et c. Schéma complété :



Installation électrique d'un logement : les éléments 1 à 4 sont traversés dans l'ordre des flèches ; chaque élément 4 protège un seul circuit. Réponses en rouge ; le trait rouge tireté marque la limite entre réseau public et installation du client.

b. Le **compteur** et le **disjoncteur de branchement** (différentiel 500 mA).

c. Le point de livraison est à la **sortie du disjoncteur de branchement** : en amont, c'est le réseau public ; en aval, c'est l'installation du client, qui doit respecter la norme NF C 15-100.

d. Un défaut sur un circuit ne coupe que ce circuit : le reste du logement reste alimenté. De plus, chaque disjoncteur divisionnaire est choisi pour protéger les conducteurs de **son** circuit.

À faire remarquer : un vrai logement a au moins deux interrupteurs différentiels 30 mA ; le schéma n'en montre qu'un pour rester lisible.

Exercice 3 — L'électricité de l'atelier de menuiserie

Voici comment est alimenté l'atelier de menuiserie où travaille Karim.

Indication

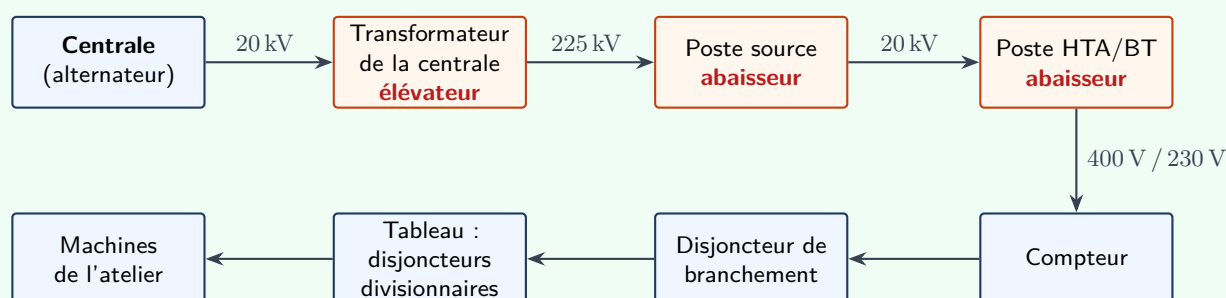
L'alternateur d'une centrale produit une tension d'environ 20 kV, portée à 225 kV par le transformateur de la centrale. Une ligne très haute tension de 225 kV arrive directement à un poste source, qui abaisse la tension à 20 kV. Le réseau de distribution à 20 kV conduit à un poste HTA/BT, qui donne 400 V / 230 V. Dans l'atelier, le courant traverse le compteur, le disjoncteur de branchement, puis le tableau, où chaque machine a son disjoncteur divisionnaire.

a. Représenter dans le cadre le schéma simplifié en blocs, de la centrale jusqu'aux machines. Indiquer la tension de chaque tronçon et le rôle de chaque transformateur (élévateur ou abaisseur).

b. Combien de transformateurs l'énergie traverse-t-elle avant l'atelier ? Quel niveau de tension, présent sur le schéma de l'exercice 1, n'apparaît pas ici ?

Correction de l'exercice 3

a. Un schéma attendu (la disposition peut varier) :



Chemin de l'énergie jusqu'à l'atelier : un élévateur, puis deux abaisseurs, puis l'installation de l'atelier.

b. **Trois** transformateurs : un élévateur (centrale) et deux abaisseurs (poste source, poste HTA/BT). Le niveau de répartition 63 kV ou 90 kV n'apparaît pas : le poste source est alimenté directement en 225 kV.

Critères de réussite : blocs dans le bon ordre, tension écrite sur chaque tronçon, rôle de chaque transformateur. *Erreur fréquente* : placer le compteur après le tableau.

Exercice 4 — Trois erreurs dans un exposé

Pour un exposé, Inès a représenté le chemin de l'électricité jusqu'à son logement.

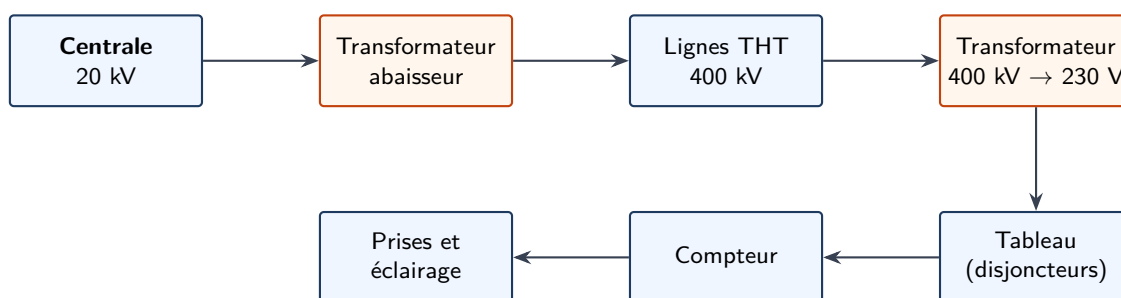


Schéma présenté par Inès pour son exposé : il se lit dans le sens des flèches, de la centrale jusqu'aux circuits du logement.

a. Son schéma contient **trois** erreurs. Les repérer et expliquer chacune.

b. Écrire la chaîne corrigée, de la centrale aux prises, sous la forme de blocs séparés par des flèches, avec les tensions.

Correction de l'exercice 4

a. **Erreur 1.** Le transformateur placé après la centrale est **élévateur**, pas abaisseur : il porte la tension d'environ 20 kV à 400 kV.

Erreur 2. Aucun transformateur ne passe de 400 kV à 230 V d'un seul coup : la tension est abaissée dans plusieurs postes (poste de transformation vers 90 kV ou 63 kV, poste source vers 20 kV, poste HTA/BT vers 230 V / 400 V).

Erreur 3. Dans le logement, le **compteur** vient **avant** le tableau : réseau → compteur → disjoncteur de branchement → tableau → circuits.

b. Centrale (20 kV) → transformateur élévateur → lignes THT (400 kV) → poste abaisseur → répartition (63 kV ou 90 kV) → poste source → distribution (20 kV) → poste HTA/BT → basse tension (230 V / 400 V) → compteur → disjoncteur de branchement → tableau → prises et éclairage.

Recevable : un poste source alimenté directement en 225 kV. *À faire remarquer* : l'erreur 2 est très répandue, y compris dans des schémas publiés ; on la repère en se demandant quel poste produit le 20 kV.

Exercice 5 — Un nouveau circuit pour une cuisine

Une entreprise d'agencement pose une cuisine dans un logement. Il faut créer un nouveau circuit pour la plaque de cuisson.

Circuit	Section des conducteurs	Disjoncteur divisionnaire
Éclairage	1,5 mm ²	16 A au plus (10 A usuel)
Prises 16 A	1,5 mm ²	16 A
Prises 16 A	2,5 mm ²	20 A
Plaque de cuisson (circuit spécialisé)	6 mm ²	32 A

Document : circuits usuels d'un logement selon la norme NF C 15-100.

- Sur le schéma de l'installation (exercice 2), après quel élément se branche le nouveau disjoncteur divisionnaire ?
- D'après le document, quelle section de conducteurs et quel disjoncteur divisionnaire faut-il pour ce circuit ?
- Le poseur propose de changer lui-même le disjoncteur de branchement. Pourquoi n'est-ce pas à lui d'intervenir sur cet élément ?

Correction de l'exercice 5

- Le nouveau disjoncteur divisionnaire se place dans le **tableau de répartition**, en aval d'un **interrupteur différentiel** 30 mA : il forme une case 4 de plus, qui alimente un seul circuit, celui de la plaque.
- Conducteurs de 6 mm² et disjoncteur divisionnaire de 32 A : c'est un **circuit spécialisé**, réservé à la plaque.
- Le disjoncteur de branchement est **en amont du point de livraison** : il appartient au réseau public, avec le compteur. L'installateur n'intervient qu'en aval, dans l'installation du client.

Erreur fréquente : brancher la plaque sur une prise du circuit prises. Le document montre qu'elle a son propre circuit, de section et de calibre différents.

C2 – Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans un conducteur à partir de sa résistance et de la valeur efficace de l'intensité ou de la tension

Objectif de calcul issu des connaissances du programme. Cours §2 et §3. Prérequis : $U = R \times I$, $P = U \times I$, $E = P \times t$.

Rappel de cours

Un conducteur parcouru par un courant **s'échauffe** : c'est l'**effet Joule**. La puissance dissipée en chaleur vaut

$$P_J = R \times I^2 \quad \text{ou} \quad P_J = \frac{U_R^2}{R}$$

avec P_J en watts (W), R en ohms (Ω), I l'intensité efficace en ampères (A) et U_R la tension efficace **aux bornes du conducteur** en volts (V).

$U_R = R \times I$ est la **chute de tension** dans le conducteur. Pour une rallonge, c'est la différence entre la tension à la prise murale et la tension au bout du câble. Ce n'est **jamais** la tension du réseau.

L'intensité est **au carré** : si I double, P_J est multipliée par $2^2 = 4$.

Énergie dissipée pendant une durée t : $E = P_J \times t$ (W et h donnent des Wh).

Exercice 6 — Une résistance chauffe

Dans un modèle, un conducteur ohmique de résistance $R = 10 \Omega$ est traversé par un courant d'intensité efficace $I = 0,50 \text{ A}$.

- Recopier la relation qui donne la puissance dissipée par effet Joule à partir de R et de I .
- Compléter le calcul : $P_J = \dots \times \dots^2 = \dots \times \dots = \dots \text{ W}$.
- Que devient cette puissance ? Quel effet thermique peut-on en attendre ? Aucune manipulation n'est demandée.
- Sans refaire tout le calcul, prévoir la valeur de P_J si l'intensité passe à $1,0 \text{ A}$, puis vérifier par le calcul.

Correction de l'exercice 6

- $P_J = R \times I^2$.
- $P_J = 10 \times 0,50^2 = 10 \times 0,25 = 2,5 \text{ W}$. Le conducteur dissipe $2,5 \text{ W}$ par effet Joule.
- Elle est transformée en **chaleur** : le conducteur chauffe, sans qu'il soit nécessaire de le toucher.
- L'intensité double, donc P_J est multipliée par $2^2 = 4$: $4 \times 2,5 = 10 \text{ W}$. Vérification : $10 \times 1,0^2 = 10 \text{ W}$. ✓

Erreurs fréquentes : $10 \times 0,50 = 5$ (oubli du carré : on a calculé une tension en volts, pas une puissance) ; $(10 \times 0,50)^2 = 25$ (le carré porte sur I seulement).

Exercice 7 — La rallonge de la scie circulaire

Sur un chantier, un menuisier alimente sa scie circulaire par un enrouleur de 25 m en câble 3G1,5, complètement déroulé. Les deux conducteurs parcourus par le courant (aller et retour, soit 50 m) ont une résistance totale $R = 0,67 \Omega$.

Intensité I (A)	4	8	16
Puissance P_J dissipée dans le câble (W)			

- Compléter le tableau (résultats arrondis au dixième).
- Quand l'intensité double, par combien P_J est-elle multipliée ? Expliquer à partir de la relation.
- Pourquoi une rallonge peut-elle devenir dangereuse quand on y branche plusieurs machines à la fois ?

Correction de l'exercice 7

a. $P_J = R \times I^2 : 0,67 \times 4^2 \approx 10,7 \text{ W} ; 0,67 \times 8^2 \approx 42,9 \text{ W} ; 0,67 \times 16^2 \approx 171,5 \text{ W}.$

b. De 4 à 8 A : $42,9/10,7 \approx 4$; de 8 à 16 A : $171,5/42,9 \approx 4$. L'intensité est **au carré** dans $P_J = R \times I^2$: doubler I multiplie P_J par $2^2 = 4$.

c. Les intensités des machines s'additionnent dans la rallonge, et la puissance dissipée croît comme le **carré** de l'intensité : le câble s'échauffe beaucoup plus vite que l'intensité n'augmente. L'isolant peut se dégrader et provoquer un court-circuit ou un incendie.

Repère : à 16 A, la limite d'une prise, le câble dissipe environ 170 W, la puissance d'un petit radiateur, répartie sur 25 m.

Exercice 8 — Exploiter une chute de tension

Dans un atelier de métallerie, une meuleuse et un aspirateur fonctionnent ensemble au bout d'une rallonge de 25 m en câble 3G2,5. Les deux conducteurs parcourus ont une résistance totale $R = 0,40 \Omega$. Dans un modèle purement résistif, on fournit les tensions efficaces suivantes :

Tension à la prise murale	230,0 V
Tension au bout de la rallonge	223,6 V

a. Calculer la tension U_R aux bornes des conducteurs de la rallonge.

b. Calculer la puissance dissipée par effet Joule avec $P_J = \frac{U_R^2}{R}$.

c. Calculer l'intensité $I = \frac{U_R}{R}$, puis vérifier P_J avec $R \times I^2$.

d. Un camarade écrit : « $P_J = \frac{230^2}{0,40} = 132\,250 \text{ W}$ ». Montrer que ce résultat est impossible et expliquer son erreur.

Correction de l'exercice 8

a. $U_R = 230,0 - 223,6 = 6,4 \text{ V}$: c'est la chute de tension dans la rallonge.

b. $P_J = \frac{6,4^2}{0,40} = \frac{40,96}{0,40} \approx 102 \text{ W} (102,4 \text{ W}).$

c. $I = \frac{6,4}{0,40} = 16 \text{ A}$, puis $P_J = 0,40 \times 16^2 = 0,40 \times 256 = 102,4 \text{ W}$. ✓ Les deux relations donnent le même résultat.

d. 132 kW, c'est plus de 35 fois la puissance maximale d'une prise 16 A (3 680 W) : la rallonge ne peut pas dissiper plus que ce qui la traverse. Le camarade a pris 230 V, la tension du réseau, qui est la tension à la prise murale (les appareils reçoivent ici 223,6 V). Dans U_R^2/R , il faut la tension aux bornes du **conducteur**, ici 6,4 V.

À retenir : avant d'écrire U^2/R , se demander « aux bornes de quoi ? ».

Exercice 9 — Le circuit d'un radiateur

Dans un logement, un radiateur électrique de 2 000 W fonctionne sous 230 V ; il appelle un courant d'intensité efficace $I = 8,7 \text{ A}$. Les conducteurs du circuit qui l'alimente ont une résistance totale $R = 0,30 \Omega$ (aller et retour). Le radiateur fonctionne 6 h par jour.

a. Calculer la puissance P_J dissipée dans les conducteurs du circuit.

b. Calculer l'énergie dissipée dans ces conducteurs en 6 h, en Wh.

c. Calculer l'énergie consommée par le radiateur en 6 h. Quel pourcentage de cette énergie est dissipé dans les conducteurs ?

Correction de l'exercice 9

a. $P_J = R \times I^2 = 0,30 \times 8,7^2 = 0,30 \times 75,69 \approx 22,7 \text{ W}$.

b. $E = P_J \times t = 22,7 \times 6 \approx 136 \text{ Wh}$, soit environ 0,14 kWh.

c. $E_{\text{radiateur}} = 2\,000 \times 6 = 12\,000 \text{ Wh}$ (12 kWh). Part dissipée dans les conducteurs : $\frac{136}{12\,000} \times 100 \approx 1,1 \%$.

À faire remarquer : ces pertes sont faibles mais pas nulles ; elles chauffent les conducteurs dans les gaines.
 Erreur fréquente : mélanger W et kW, ou oublier de multiplier par la durée.

Exercice 10 — Choisir la bonne relation

Trois conducteurs, trois jeux de données.

Cas	Conducteur	Données
A	Conducteurs d'une rallonge	$R = 0,20 \, \Omega$; $I = 12 \text{ A}$
B	Élément chauffant d'un radiateur	$R = 23 \, \Omega$; tension à ses bornes 230 V
C	Conducteurs du câble d'une machine	$U_R = 3,0 \text{ V}$; $I = 15 \text{ A}$

a. Pour chaque cas, choisir une relation adaptée et calculer la puissance dissipée par effet Joule.

b. Dans le cas B, pourquoi a-t-on le droit d'utiliser 230 V dans $\frac{U^2}{R}$?

c. Dans le cas C, calculer R , puis vérifier le résultat du a. avec une autre relation.

Correction de l'exercice 10

a. **A** : on connaît R et I , donc $P_J = R \times I^2 = 0,20 \times 12^2 = 28,8 \text{ W}$. **B** : on connaît R et la tension aux bornes du conducteur, donc $P_J = \frac{230^2}{23} = \frac{52\,900}{23} = 2\,300 \text{ W}$. **C** : on connaît U_R et I , donc $P_J = U_R \times I = 3,0 \times 15 = 45 \text{ W}$.

b. Parce que l'élément chauffant **est** le conducteur étudié : il est branché directement sur 230 V, donc la tension à ses bornes vaut bien 230 V.

c. $R = \frac{U_R}{I} = \frac{3,0}{15} = 0,20 \, \Omega$. Vérification : $R \times I^2 = 0,20 \times 15^2 = 45 \text{ W}$ et $\frac{U_R^2}{R} = \frac{9,0}{0,20} = 45 \text{ W}$. ✓

À faire remarquer : l'effet Joule est **utile** dans un radiateur (cas B) et **nuisible** dans un câble (cas A et C) : c'est la même loi.

Exercice 11 — L'enrouleur resté enroulé

Pour chauffer son garage, Léa branche un radiateur soufflant de 2 000 W ($I = 8,7 \text{ A}$ sous 230 V) sur un enrouleur de 25 m en câble 3G1,5, qu'elle laisse enroulé. Les deux conducteurs parcourus ont une résistance totale $R = 0,67 \, \Omega$. L'étiquette de l'enrouleur indique :

Câble enroulé : 1 000 W maximum
 Câble déroulé : 3 500 W maximum

a. Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans le câble.

b. Son voisin écrit : « $P_J = R \times I = 0,67 \times 8,7 = 5,8 \text{ W}$ ». Quelle grandeur a-t-il réellement calculée ? Avec quelle unité ?

c. À résistance et intensité fixées, la puissance dissipée est la même, câble enroulé ou déroulé. Pourquoi le fabricant autorise-t-il moins de puissance quand il est enroulé ?

d. Que doit faire Léa ?

Correction de l'exercice 11

a. $P_J = R \times I^2 = 0,67 \times 8,7^2 = 0,67 \times 75,69 \approx 50,7 \text{ W}$.

b. $R \times I$ est la **chute de tension** U_R aux bornes des conducteurs : 5,8 V, en **volts**. Ce n'est pas une puissance : il manque un facteur I .

c. Enroulé, le câble forme des spires serrées qui se chauffent les unes les autres et évacuent mal la chaleur : la même puissance fait monter la température bien plus haut, jusqu'à faire fondre l'isolant. Déroulé, la chaleur se répartit sur 25 m et s'évacue dans l'air.

d. 2 000 W dépasse la limite de 1 000 W du câble enroulé : Léa doit **dérouler complètement** l'enrouleur ; déroulé, la limite de 3 500 W est respectée.

Erreur fréquente : croire qu'une chaleur « normale » ne présente pas de danger. Ce qui compte est la température atteinte, donc la façon dont la chaleur s'évacue.

C3 – Justifier l'intérêt du transport d'énergie électrique à grande distance sous haute tension

Capacité du programme. Cours §4 et §5. Prérequis : C2.

Rappel de cours

On modélise une ligne par deux conducteurs, aller et retour, de résistance totale R . Pour transporter une puissance P sous la tension U :

$$I = \frac{P}{U} ; \quad P_J = R \times I^2 ; \quad P_{\text{reçue}} = P - P_J ; \quad \text{pertes en \%} = \frac{P_J}{P} \times 100$$

À puissance transportée égale, si la tension est **multipliée par k** , l'intensité est **divisée par k** et les pertes par effet Joule sont **divisées par k^2** .

On ne peut pas élever la tension sans limite : isolement des câbles, taille des pylônes et sécurité. C'est pourquoi la tension est abaissée avant d'arriver chez l'utilisateur.

Exercice 12 — Une ligne à 400 kV, étape par étape

Une ligne très haute tension d'environ 100 km transporte une puissance $P = 400$ MW sous la tension $U = 400$ kV. La résistance totale de ses conducteurs, aller et retour, vaut $R = 5,0 \Omega$.

- Convertir P en watts et U en volts.
- Calculer l'intensité I du courant dans la ligne.
- Calculer la puissance P_J perdue par effet Joule, en W puis en MW.
- Calculer la puissance reçue au bout de la ligne, puis le pourcentage de pertes.
- Calculer la chute de tension $U_R = R \times I$ le long de la ligne. Pourquoi est-elle bien plus petite que 400 kV ?

Correction de l'exercice 12

a. $P = 400 \times 10^6 = 400\,000\,000$ W ; $U = 400 \times 10^3 = 400\,000$ V.

b. $I = \frac{P}{U} = \frac{400 \times 10^6}{400 \times 10^3} = 1\,000$ A.

c. $P_J = R \times I^2 = 5,0 \times 1\,000^2 = 5\,000\,000$ W = 5 MW.

d. $P_{\text{reçue}} = 400 - 5 = 395$ MW. Pertes : $\frac{5}{400} \times 100 = 1,25$ %.

e. $U_R = 5,0 \times 1\,000 = 5\,000$ V = 5 kV. C'est la tension perdue **le long des conducteurs**, pas la tension entre les conducteurs. Elle ne représente que 1,25 % de 400 kV, comme les pertes.

Contrôle : $\frac{U_R^2}{R} = \frac{5\,000^2}{5,0} = 5$ MW. ✓ *Ordre de grandeur* : les pertes réelles du transport sont d'environ 2,5 % ; le résultat est plausible.

Exercice 13 — *Même ligne, deux tensions*

Pour comparer, on imagine qu'une même ligne, de résistance totale $R = 5,0\,\Omega$, transporte la même puissance $P = 5,0\,\text{MW}$ sous deux tensions différentes.

Tension de transport U	20 kV	400 kV
Intensité $I = P/U$ (A)		
Pertes $P_J = R \times I^2$ (W)		
Pertes en % de P		

- Compléter le tableau.
- Par combien la tension est-elle multipliée ? Par combien les pertes sont-elles divisées ? Vérifier la règle du cours.
- Conclure en une phrase.

Correction de l'exercice 13

a.

Tension de transport U	20 kV	400 kV
Intensité I	$\frac{5 \times 10^6}{20 \times 10^3} = 250\,\text{A}$	$\frac{5 \times 10^6}{400 \times 10^3} = 12,5\,\text{A}$
Pertes P_J	$5 \times 250^2 = 312\,500\,\text{W}$	$5 \times 12,5^2 \approx 781\,\text{W}$
Pertes en %	6,25 %	0,016 %

- b.** La tension est multipliée par $\frac{400}{20} = 20$. Les pertes sont divisées par $\frac{312\,500}{781,25} = 400 = 20^2$. ✓ Tension $\times k$ donne pertes $\div k^2$.
- c.** À puissance égale, transporter sous 400 kV plutôt que sous 20 kV divise l'intensité par 20 et les pertes par effet Joule par 400.

Erreur fréquente : diviser les pertes par 20 seulement, en oubliant le carré.

Exercice 14 — *Raisonnement sans calculer*

On transporte toujours la même puissance, sur la même ligne.

Changement de tension	Intensité	Pertes par effet Joule
U multipliée par 2		
U multipliée par 4		
U divisée par 2		
U multipliée par 10		

- Compléter le tableau par « multipliée par ... » ou « divisée par ... ».
- Vrai ou faux ? Justifier chaque réponse.
 - « Doubler la tension divise les pertes par deux. »
 - « Transporter en basse tension limite les pertes. »
 - « Diviser l'intensité par 3 divise les pertes par 9. »
- Expliquer en trois phrases à un apprenti pourquoi l'électricité voyage sous très haute tension.

Correction de l'exercice 14

a. $U \times 2$: intensité divisée par 2, pertes divisées par 4. $U \times 4$: intensité divisée par 4, pertes divisées par 16. $U \div 2$: intensité multipliée par 2, pertes **multipliées** par 4. $U \times 10$: intensité divisée par 10, pertes divisées par 100.

b. **1. Faux** : l'intensité est divisée par 2, donc les pertes par $2^2 = 4$. **2. Faux** : en basse tension, l'intensité est forte, donc les pertes sont grandes. **3. Vrai** : $P_J = R \times I^2$, donc $I \div 3$ donne $P_J \div 3^2 = 9$.

c. Exemple : « Pour une même puissance, plus la tension est élevée, plus l'intensité est faible, puisque $I = P/U$. Or les pertes par effet Joule dépendent du carré de l'intensité. En multipliant la tension par 10, on divise donc les pertes par 100 : c'est pour cela qu'on transporte sous 400 kV. »

Critères : lien tension–intensité, rôle du carré, conclusion sur les pertes.

Exercice 15 — Choisir la tension de raccordement

Un gros site industriel est alimenté par une ligne dont la puissance de départ vaut $P = 100$ MW par une ligne de résistance totale $R = 5,0 \Omega$. On veut que les pertes par effet Joule ne dépassent pas 2 % de la puissance transportée. Tensions possibles : 63 kV ; 90 kV ; 225 kV ; 400 kV.

a. Calculer la puissance perdue maximale autorisée, en MW.

b. Déterminer par le calcul la plus petite des tensions possibles qui respecte cette limite. Présenter les calculs dans un tableau.

c. Pourquoi ne pas choisir systématiquement 400 kV ?

Correction de l'exercice 15

a. $\frac{2}{100} \times 100 = 2$ MW au plus.

b. Pour chaque tension, $I = P/U$ puis $P_J = R \times I^2$:

U	63 kV	90 kV	225 kV	400 kV
I (A)	1 587	1 111	444	250
P_J (MW)	12,6	6,2	0,99	0,31
Limite de 2 MW	non	non	oui	oui

La plus petite tension qui convient est 225 kV : environ 1 MW de pertes, soit 1 %.

c. Plus la tension est élevée, plus il faut isoler : pylônes plus hauts, câbles plus éloignés les uns des autres, postes plus grands, donc plus coûteux. Si 225 kV suffit, il n'est pas utile d'aller plus haut.

Méthode recevable : commencer par une tension et monter jusqu'à respecter la limite. *Erreur fréquente* : calculer avec des kV et des MW mélangés sans convertir.

Exercice 16 — Les pertes réelles du réseau de transport**Indication**

Document. En 2025, les pertes du réseau français de transport (63 kV à 400 kV) ont atteint environ 11,92 TWh, (valeur provisoire de la CRE), pour une consommation corrigée des effets météo et calendaires d'environ 451 TWh. Répartition indicative publiée par RTE, appliquée ici pour une estimation (elle n'est pas un relevé annuel 2025) : effet Joule dans les conducteurs 78 % ; passage dans les transformateurs des postes 11 % ; effet couronne 8 % ; consommation propre des postes 3 %.

- Calculer le rapport pertes / consommation corrigée en pourcentage. Ce rapport n'est pas le taux de pertes sur l'énergie injectée.
- Calculer l'énergie perdue par effet Joule dans les conducteurs, en TWh.
- Quel pourcentage des pertes ne vient pas de l'effet Joule dans les conducteurs ?
- Pourquoi ces pertes ne peuvent-elles pas être nulles, même sous 400 kV ?
- Pour une même puissance et une même résistance de ligne, expliquer pourquoi une tension plus basse augmente les pertes par effet Joule.

Sources : CRE, délibération 2026-104, p. 24 (pertes provisoires) ; RTE, bilan 2025 (consommation corrigée) et page « Déperditions d'énergie ».

Correction de l'exercice 16

- $\frac{11,92}{451} \times 100 \approx 2,6 \%$.
 - $0,78 \times 11,92 \approx 9,3$ TWh.
 - $100 - 78 = 22 \%$ (transformateurs, effet couronne, consommation des postes : $11 + 8 + 3 = 22$).
 - Les conducteurs ont toujours une résistance R , et l'intensité n'est jamais nulle : $P_J = R \times I^2$ reste positive. La haute tension **réduit** les pertes, elle ne les supprime pas.
 - À puissance fixée, $I = P/U$ augmente quand U diminue ; à résistance fixée, $P_J = RI^2$ augmente alors. Il faut garder ces deux conditions pour comparer.
- Précision :* a) le rapport porte sur une consommation corrigée, pas sur l'énergie injectée ; b) 9,3 TWh est une estimation conditionnelle, pas une ventilation annuelle mesurée.

Exercice 17 — Une copie à corriger

Énoncé donné à Tom : « Une ligne transporte $P = 600$ MW sous $U = 400$ kV. Sa résistance totale vaut $R = 4,0 \Omega$. Calculer les pertes par effet Joule. »

Copie de Tom.

$$P_J = \frac{U^2}{R} = \frac{400\,000^2}{4} = 4 \times 10^{10} \text{ W}$$

Les pertes sont énormes : il faudrait transporter en 225 kV pour les réduire.

- Sans refaire le calcul, montrer que le résultat de Tom est impossible.
- Expliquer son erreur.
- Faire le calcul juste de deux façons : avec $R \times I^2$, puis en calculant U_R et $\frac{U_R^2}{R}$.
- La conclusion de Tom sur 225 kV est-elle juste ? Justifier.

Correction de l'exercice 17

a. 4×10^{10} W, c'est 40 000 MW : plus de 60 fois la puissance transportée (600 MW). Une ligne ne peut pas perdre plus que ce qu'elle reçoit.

b. Tom a utilisé 400 kV, la **tension de transport**. Dans $\frac{U^2}{R}$, il faut la tension **aux bornes des conducteurs**, c'est-à-dire la chute de tension U_R le long de la ligne.

c. $I = \frac{600 \times 10^6}{400 \times 10^3} = 1\,500$ A, puis $P_J = 4,0 \times 1\,500^2 = 9\,000\,000$ W = 9 MW, soit 1,5 %. Autre voie :

$U_R = R \times I = 4,0 \times 1\,500 = 6\,000$ V, puis $P_J = \frac{6\,000^2}{4,0} = 9$ MW. ✓

d. **Non**, c'est l'inverse : sous 225 kV, l'intensité serait plus forte ($\approx 2\,667$ A) et les pertes plus grandes (≈ 28 MW, environ $(400/225)^2 \approx 3,2$ fois plus).

À retenir : un contrôle d'ordre de grandeur (les pertes doivent rester une petite part de P) suffit à détecter l'erreur.

C4 – Mettre en évidence expérimentalement le rôle d'abaisseur ou d'éleveur de tension d'un transformateur

Capacité expérimentale du programme : préparation documentaire uniquement. Cours §6.

Rappel de cours

Un **transformateur** est formé de deux bobines sur un même noyau de fer feuilleté. Il fonctionne **uniquement en alternatif**.

Élévateur : $U_2 > U_1$. **Abaisseur** : $U_2 < U_1$.

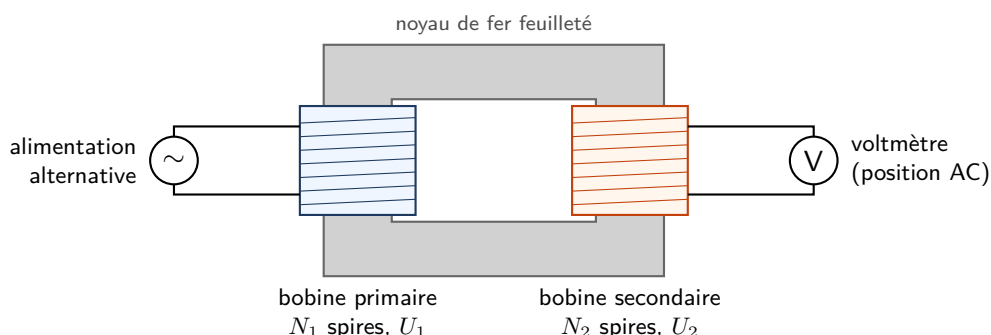
Mesures : voltmètre branché en dérivation, en position **alternatif** (AC, $\sim$) ; calibre juste au-dessus de la valeur attendue.

Limite du scénario étudié : 25 V au plus en alternatif ; cordons et douilles de sécurité ; une bobine ordinaire ne se branche **jamais** sur le secteur.

Complément, toujours fourni : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$ donne une prédiction idéale ; un relevé réel peut s'en écarter et demande une analyse des conditions et des incertitudes.

Exercice 18 — Quatre montages, quatre conclusions

Étude sur papier : relevés simulés pour cet exercice, sans expérience réalisée. Au laboratoire, on dispose d'un transformateur démontable, de bobines de 250, 500 et 1 000 spires et d'une alimentation alternative 6 V ou 12 V.



Transformateur démontable : deux bobines sur un même noyau de fer. Le primaire (bleu) reçoit la tension alternative U_1 ; le voltmètre mesure la tension U_2 aux bornes du secondaire (orange).

Montage	N_1 (spires)	N_2 (spires)	U_1 mesurée (V)	U_2 mesurée (V)
A	500	1 000	6,0	11,5
B	1 000	500	12,0	5,8
C	1 000	250	12,0	2,9
D	500	500	6,0	6,0

- Pour chaque montage, conclure à partir des **mesures** : élévateur, abaisseur, ou ni l'un ni l'autre.
- Relation fournie : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$. Calculer la tension U_2 attendue pour chaque montage, puis la comparer à la mesure.
- Compléter : « Un transformateur est élévateur quand son secondaire compte de spires que son primaire. »

Correction de l'exercice 18

- A : $U_2 = 11,5 \text{ V} > U_1 = 6,0 \text{ V}$, **élévateur**. B : $5,8 \text{ V} < 12,0 \text{ V}$, **abaisseur**. C : $2,9 \text{ V} < 12,0 \text{ V}$, **abaisseur** (davantage que B). D : $6,0 \text{ V} = 6,0 \text{ V}$, **ni l'un ni l'autre** : même nombre de spires.
- $U_2 = U_1 \times \frac{N_2}{N_1}$: A : $6,0 \times 2 = 12 \text{ V}$; B : $12,0 \times 0,5 = 6 \text{ V}$; C : $12,0 \times 0,25 = 3 \text{ V}$; D : 6 V . Les valeurs simulées A, B et C sont légèrement inférieures aux résultats idéaux ; D coïncide avec le modèle. Ces données ne permettent pas de valider expérimentalement la relation ni d'expliquer un écart par les seules pertes.
- « ... compte **plus** de spires que son primaire. »

Erreur fréquente : conclure avec les nombres de spires seulement. La capacité demande de conclure avec les **mesures** ; la relation sert de contrôle.

Exercice 19 — *Le voltmètre affiche zéro*

Étude sur papier : relevés simulés pour cet exercice, sans expérience réalisée. Nora réalise le montage A de l'exercice 18 : primaire de 500 spires, secondaire de 1 000 spires ; elle attend environ 12 V au secondaire.

Situation 1. Elle branche le primaire sur la sortie *continue* 6 V de l'alimentation. Son voltmètre, en position alternatif, affiche 0,00 V au secondaire.

Situation 2. Elle passe l'alimentation en *alternatif* 6 V, mais son voltmètre est en position *continu* (DC) : il affiche une valeur proche de 0 V.

- Situation 1 : pourquoi n'y a-t-il aucune tension au secondaire ?
- Situation 2 : quel réglage faut-il corriger ? Pourquoi ?
- Calibres disponibles : 200 mV ; 2 V ; 20 V ; 200 V ; 600 V. Lequel choisir pour mesurer U_2 ?
- Comment le voltmètre est-il branché par rapport au secondaire ?

Correction de l'exercice 19

- Un transformateur ne fonctionne **qu'en alternatif**. En continu, le courant du primaire ne varie pas et aucune tension n'est induite au secondaire en régime établi.
- Mettre le voltmètre en position **alternatif** (AC, $\sim$). La tension du secondaire est alternative ; en position continu, l'appareil affiche sa valeur moyenne, proche de zéro.
- Le calibre 20 V : c'est le plus petit calibre supérieur à la valeur attendue (environ 12 V).
- En **dérivation**, directement aux bornes de la bobine secondaire.

Conduite pour le professeur : en continu, seule la résistance de la bobine (quelques ohms) limite le courant : la bobine chauffe. Faire couper l'alimentation avant tout changement de branchement.

Exercice 20 — *Choisir les bobines en sécurité*

Pour montrer au groupe un élévateur et un abaisseur, quatre propositions sont faites. Matériel : bobines de 250, 500 et 1 000 spires ; alimentation alternative 6 V ou 12 V. Règle du laboratoire : 25 V au plus en alternatif.

Proposition	Alimentation du primaire	N_1	N_2
P1	alternatif 6 V	500	1 000
P2	alternatif 12 V	250	1 000
P3	alternatif 12 V	1 000	500
P4	prise 230 V de la salle	500	250

- Pour P1, P2 et P3, calculer la tension U_2 attendue (relation fournie : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$) et indiquer s'il s'agit d'un élévateur ou d'un abaisseur.
- Quelles propositions sont interdites ? Justifier chacune.
- Proposer un autre montage élévateur autorisé, avec l'alimentation 6 V.

Correction de l'exercice 20

a. P1 : $6 \times \frac{1\,000}{500} = 12\text{ V}$, élévateur. P2 : $12 \times \frac{1\,000}{250} = 48\text{ V}$, élévateur. P3 : $12 \times \frac{500}{1\,000} = 6\text{ V}$, abaisseur.

b. P2 est interdite : environ 48 V au secondaire, au-delà de la limite de 25 V. **P4 est interdite :** une bobine ordinaire ne se branche jamais sur le secteur ; 230 V est une tension dangereuse (le branchement sur le secteur exige une bobine spéciale, qui n'est pas utilisée en TP élève). P1 et P3 sont autorisées.

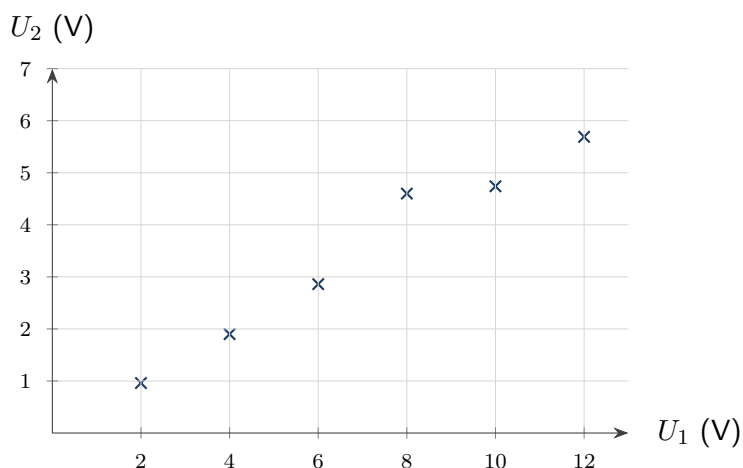
c. Par exemple 6 V avec 250 spires au primaire et 500 au secondaire : environ 12 V. (250 $\rightarrow$ 1 000 spires donne environ 24 V, juste sous la limite : accepté, mais sans marge.)

À retenir : on **calcule la tension attendue avant** de brancher, pour vérifier la sécurité du montage.

Exercice 21 — Tracer et exploiter U_2 en fonction de U_1

Étude sur papier : relevés simulés pour cet exercice, sans expérience réalisée. Montage : primaire de 1 000 spires, secondaire de 500 spires. On fait varier U_1 et on mesure U_2 .

U_1 (V)	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
U_2 (V)	0,96	1,90	2,86	4,60	4,74	5,69

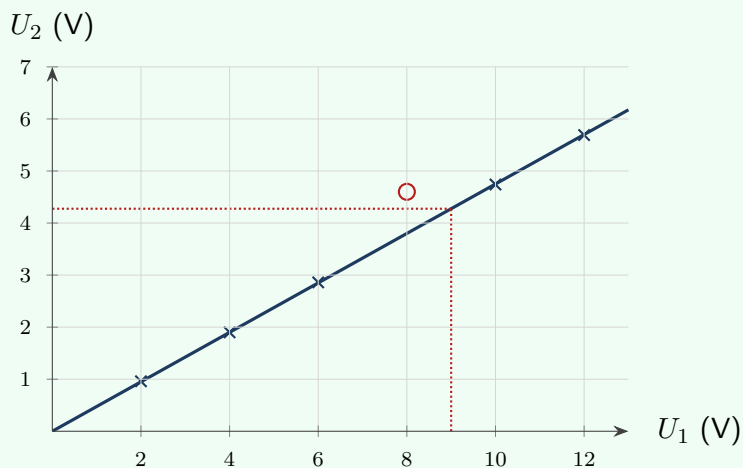


Mesures : chaque croix donne la tension U_2 mesurée au secondaire pour une tension U_1 appliquée au primaire.

- Un point semble aberrant. Lequel ? Que faut-il faire ?
- Tracer la droite qui passe au plus près des autres points. Que peut-on dire de U_2 et U_1 ?
- Ce transformateur est-il élévateur ou abaisseur ?
- Lire sur la droite la tension U_2 pour $U_1 = 9,0$ V.

Correction de l'exercice 21

- a.** Le point (8,0 V; 4,60 V) : il est nettement au-dessus de l'alignement (on attendrait environ 3,8 V). Dans une expérience réelle, il faudrait contrôler le relevé et les conditions, puis **refaire la mesure** ; ici, on signale le point suspect sans le prendre en compte pour tracer la droite.
- b.** Les autres points sont alignés sur une droite qui passe par l'origine : U_2 est **proportionnelle** à U_1 , avec $U_2 \approx 0,475 \times U_1$.



Droite d'ajustement (bleu) passant par l'origine ; point aberrant entouré en rouge ; lecture en pointillés pour $U_1 = 9$ V.

c. Abaisseur : U_2 est environ deux fois plus petite que U_1 .

d. $U_2 \approx 4,3$ V (calcul : $0,475 \times 9,0 \approx 4,3$).

Prolongement : $N_2/N_1 = 0,5$; le coefficient mesuré, 0,475, est un peu plus faible, comme dans l'exercice 18.

C5 – Connaître le rôle des transformateurs dans les réseaux de distribution et dans les appareils électriques d'utilisation courante

Connaissance du programme. Cours §7.

Rappel de cours

Dans le réseau : un transformateur **élevateur** en sortie de centrale ; des transformateurs **abaisseurs** dans les postes, jusqu'au poste HTA/BT du quartier.

Dans les appareils : chargeur de téléphone (transformateur abaisseur et électronique qui redresse, pour sortir 5 V continu) ; éclairage très basse tension ($230\text{ V} \rightarrow 12\text{ V}$) ; sonnette ($230\text{ V} \rightarrow 8\text{ V}$ ou 12 V) ; transformateur de sécurité de chantier ($230\text{ V} \rightarrow 24\text{ V}$) ; poste à souder ($230\text{ V} \rightarrow$ environ 50 V à vide, forte intensité).

Plaque signalétique : tension du primaire U_1 , tension du secondaire U_2 , puissance en voltampères (VA) ; le produit $U_2 \times I_2$ ne doit pas dépasser cette puissance.

Un transformateur parfait conserve la puissance : $U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$. Abaisser la tension augmente l'intensité ; élever la tension la diminue.

Exercice 22 — Lire trois plaques signalétiques

Plaques d'entraînement reconstituées. Un électricien relève les plaques signalétiques de trois appareils utilisés dans le bâtiment.

Transformateur pour sonnerie

Primaire : $230\text{ V} \sim 50\text{ Hz}$

Secondaire : $8\text{ V} \sim$ ou $12\text{ V} \sim$

Puissance : 8 VA

Transformateur de sécurité

Entrée : $230\text{ V} \sim 50\text{ Hz}$

Sortie : $24\text{ V} \sim$

Puissance : $1\,000\text{ VA}$

Poste de soudage à l'arc

Alimentation : $230\text{ V} \sim 50\text{ Hz}$

Tension à vide : $50\text{ V} \sim$

Soudage : 50 à 150 A

- Pour chaque appareil, relever U_1 et U_2 . Le transformateur est-il élévateur ou abaisseur ?
- Sonnette : calculer l'intensité maximale au secondaire sous 8 V , puis sous 12 V .
- Transformateur de sécurité : calculer l'intensité maximale I_2 au secondaire. Le supposant parfait, calculer l'intensité I_1 au primaire à pleine puissance. Comparer.
- Le poste à souder a besoin d'une forte intensité au secondaire. Expliquer pourquoi un transformateur abaisseur convient.

Complément fourni : $S = UI$ en VA, donc $I = S/U$. Pour le transformateur idéal, on utilise $U_1 I_1 = U_2 I_2$.

Correction de l'exercice 22

a. Sonnette : $U_1 = 230\text{ V}$, $U_2 = 8\text{ V}$ ou 12 V . Sécurité : $U_1 = 230\text{ V}$, $U_2 = 24\text{ V}$. Poste à souder : $U_1 = 230\text{ V}$, $U_2 \approx 50\text{ V}$ à vide. Les trois sont des **abaisseurs**.

b. $U_2 \times I_2$ ne dépasse pas 8 VA : $I_2 = \frac{8}{8} = 1\text{ A}$ sous 8 V ; $I_2 = \frac{8}{12} \approx 0,67\text{ A}$ sous 12 V .

c. $I_2 = \frac{1\,000}{24} \approx 41,7\text{ A}$; $I_1 = \frac{1\,000}{230} \approx 4,35\text{ A}$. L'intensité est environ dix fois plus forte du côté 24 V : le côté basse tension a la plus forte intensité.

d. Un transformateur parfait conserve la puissance : $U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$. En abaissant la tension, il augmente l'intensité disponible au secondaire, sans que l'intensité appelée sur la prise devienne aussi forte.

Erreur fréquente : croire que l'intensité est la même des deux côtés.

Exercice 23 — Le transformateur de la centrale

L'alternateur d'un réacteur nucléaire de 900 MW fournit sa puissance sous $U_1 = 20 \text{ kV}$. Le transformateur de la centrale porte la tension à $U_2 = 400 \text{ kV}$. On le suppose parfait et on utilise $I = P/U$.

- Ce transformateur est-il élévateur ou abaisseur ?
- Calculer l'intensité I_1 au primaire et l'intensité I_2 au secondaire.
- Par combien l'intensité est-elle divisée ? Par combien seraient divisées les pertes par effet Joule dans une même ligne ?
- Compléter le tableau des autres transformateurs du réseau.

Poste	Tension d'entrée	Tension de sortie	Rôle
Poste source	63 kV		
Poste HTA/BT	20 kV		

- Pourquoi ne livre-t-on pas directement 400 kV aux utilisateurs ?

Correction de l'exercice 23

- Élévateur** : $U_2 = 400 \text{ kV} > U_1 = 20 \text{ kV}$.
- $I_1 = \frac{900 \times 10^6}{20 \times 10^3} = 45\,000 \text{ A}$; $I_2 = \frac{900 \times 10^6}{400 \times 10^3} = 2\,250 \text{ A}$.
- L'intensité est divisée par $\frac{45\,000}{2\,250} = 20$, comme la tension est multipliée par 20. Dans une même ligne, les pertes seraient divisées par $20^2 = 400$.
- Poste source : $63 \text{ kV} \rightarrow 20 \text{ kV}$, abaisseur. Poste HTA/BT : $20 \text{ kV} \rightarrow 400 \text{ V} / 230 \text{ V}$, abaisseur.
- Une telle tension est mortelle à distance et exigerait des isolements énormes : aucun appareil courant ne peut la recevoir. Les appareils sont prévus pour 230 V. On transporte sous très haute tension, puis on abaisse en plusieurs étapes.

Pour le professeur : le calcul réel se fait en triphasé (hors programme) et donne des intensités plus faibles ; le rapport 20 entre les deux intensités reste le même.

Exercice 24 — Que fait le transformateur d'un chargeur ?

Plaques d'entraînement reconstituées. Sur le chargeur d'un téléphone, on lit :

Entrée : 230 V ~ 50 Hz Sortie : 5 V continu, 2 A

- La tension d'entrée est-elle alternative ou continue ? Et la tension de sortie ?
- Le chargeur contient un petit transformateur. Est-il élévateur ou abaisseur ?
- Pourquoi faut-il, en plus du transformateur, une partie électronique ?
- Calculer la puissance maximale fournie au téléphone.
- Pourrait-on se servir d'un transformateur seul pour obtenir 5 V à partir d'une batterie de voiture de 12 V continu ? Justifier.

Correction de l'exercice 24

- a. Entrée **alternative** (symbole $\sim$, 50 Hz) ; sortie **continue**.
- b. **Abaisseur** : de 230 V à quelques volts.
- c. Un transformateur donne une tension **alternative**. La batterie du téléphone a besoin d'une tension continue : l'électronique **redresse** la tension (et la lisse) pour obtenir le 5 V continu.
- d. $P = U \times I = 5 \times 2 = 10 \text{ W}$.
- e. **Non** : un transformateur ne fonctionne qu'en alternatif ; avec une tension continue, il ne donne pas de tension au secondaire en régime établi.

Pour le professeur : les chargeurs actuels découpent la tension à haute fréquence avant le transformateur, ce qui permet un transformateur très petit ; ce détail n'est pas exigible.

Exercice 25 — Vrai ou faux, avec justification

Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux et justifier en une phrase.

- 1. « Un transformateur peut abaisser la tension d'une pile. »
- 2. « Le transformateur placé à la sortie d'une centrale est un élévateur. »
- 3. « Le poste HTA/BT du quartier élève la tension jusqu'à 230 V. »
- 4. « Un transformateur abaisseur parfait fournit au secondaire une intensité plus grande que celle qu'il reçoit au primaire. »
- 5. « Un transformateur de sécurité de chantier 230 V / 24 V est un abaisseur. »
- 6. « Un transformateur fournit plus d'énergie qu'il n'en reçoit quand il élève la tension. »

Correction de l'exercice 25

- 1. **Faux** : une pile donne une tension continue ; un transformateur ne fonctionne qu'en alternatif.
- 2. **Vrai** : il porte la tension d'environ 20 kV à 400 kV pour le transport.
- 3. **Faux** : il **abaisse** la tension, de 20 kV à 400 V / 230 V.
- 4. **Vrai** : $U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$; si $U_2 < U_1$, alors $I_2 > I_1$.
- 5. **Vrai** : $U_2 = 24 \text{ V} < U_1 = 230 \text{ V}$.
- 6. **Faux** : au mieux il conserve la puissance ; en élevant la tension, il **diminue** l'intensité. Un transformateur réel perd même un peu d'énergie.

Erreur fréquente : confondre « élever la tension » et « augmenter la puissance ».

Synthèse – Croiser les capacités sur une situation complète

Reprise des capacités C1 à C5.

Rappel de cours

Ces trois exercices ne travaillent pas une capacité nouvelle : ils demandent de **choisir** la relation utile et d'enchaîner plusieurs étapes.

Marche à suivre : repérer ce qui est demandé ; lister les données avec leurs unités ; se demander si U est la tension de la ligne ou la tension aux bornes du conducteur ; calculer ; contrôler l'ordre de grandeur ; conclure par une phrase.

Exercice 26 — Du poste de quartier à la scie de l'atelier

L'atelier d'une entreprise de menuiserie est alimenté par un poste HTA/BT (20 kV $\rightarrow$ 400 V / 230 V). Dans l'atelier, une scie à format monophasée, sous 230 V, appelle un courant d'intensité $I = 12$ A. Le câble qui la relie au tableau a une résistance totale $R = 0,25 \Omega$ (aller et retour). Elle fonctionne 7 h par jour.

a. Représenter en blocs le chemin de l'énergie, du poste source jusqu'à la scie, avec la tension de chaque tronçon.

b. Le transformateur du poste HTA/BT est-il élévateur ou abaisseur ? Avec la relation fournie $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$, calculer $\frac{N_1}{N_2}$ pour 20 000 V $\rightarrow$ 400 V.

c. Calculer la chute de tension U_R dans le câble de la scie et l'exprimer en pourcentage de 230 V.

d. Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans ce câble, puis l'énergie dissipée en 7 h.

e. Pour cet exercice, on compare la chute de tension au repère de 5 % pour ce type d'usage. Conclure.

Correction de l'exercice 26

a. Poste source $\rightarrow$ (20 kV) $\rightarrow$ poste HTA/BT $\rightarrow$ (400 V / 230 V) $\rightarrow$ compteur $\rightarrow$ disjoncteur de branchement $\rightarrow$ tableau de l'atelier (différentiel, disjoncteur divisionnaire) $\rightarrow$ câble (230 V) $\rightarrow$ scie à format.

b. **Abaisseur.** $\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{20\,000}{400} = 50$: le primaire compte 50 fois plus de spires que le secondaire.

c. $U_R = R \times I = 0,25 \times 12 = 3,0$ V, soit $\frac{3,0}{230} \times 100 \approx 1,3 \%$.

d. $P_J = R \times I^2 = 0,25 \times 12^2 = 36$ W ; $E = 36 \times 7 = 252$ Wh, environ 0,25 kWh.

e. $1,3 \% < 5 \%$: le seuil de comparaison est respecté pour ce câble seul ; cela ne valide pas toute l'installation ; la scie reçoit environ 227 V.

Autre voie pour d : $U_R \times I = 3,0 \times 12 = 36$ W. ✓

Exercice 27 — Quelle rallonge pour le chantier ?

Sur un chantier de rénovation, la prise la plus proche est à 45 m du poste de travail. On dispose de deux rallonges de 50 m. Les machines branchées au bout appellent ensemble $I = 10 \text{ A}$ sous 230 V.

Rallonge de 50 m	Résistance des deux conducteurs parcourus
Câble 3G1,5	1,33 Ω
Câble 3G2,5	0,80 Ω

Repère retenu par le chef de chantier : une chute de tension d'au plus 5 % de 230 V, (critère de comparaison de cet exercice).

- Calculer la chute de tension maximale admise, en volts.
- Pour chaque rallonge, calculer la chute de tension U_R et la puissance P_J dissipée par effet Joule.
- Quelle rallonge choisir ? Justifier.
- Calculer l'énergie perdue en chaleur dans chaque rallonge pendant 6 h de travail.

Correction de l'exercice 27

- $\frac{5}{100} \times 230 = 11,5 \text{ V}$.
- 3G1,5 : $U_R = 1,33 \times 10 = 13,3 \text{ V}$; $P_J = 1,33 \times 10^2 = 133 \text{ W}$. 3G2,5 : $U_R = 0,80 \times 10 = 8,0 \text{ V}$; $P_J = 0,80 \times 10^2 = 80 \text{ W}$.
- La rallonge **3G2,5** : $8,0 \text{ V} < 11,5 \text{ V}$ (environ 3,5 %), alors que la 3G1,5 donne 13,3 V, environ 5,8 %, au-delà du repère. Sa section plus grande lui donne une résistance plus faible, donc moins de chute de tension et moins d'échauffement.
- 3G1,5 : $133 \times 6 = 798 \text{ Wh} \approx 0,80 \text{ kWh}$. 3G2,5 : $80 \times 6 = 480 \text{ Wh} = 0,48 \text{ kWh}$.

Erreur fréquente : comparer U_R à 5 V au lieu de 5 % de 230 V.

Exercice 28 — Pourquoi pas tout en 24 V ?

Sur un chantier étudié, un transformateur de sécurité 230 V $\rightarrow$ 24 V alimente une baladeuse et un outil portatif prévus pour une puissance nominale totale de 400 W. Un stagiaire demande : « Pourquoi ne pas amener directement du 24 V depuis le tableau, à 25 m, plutôt que du 230 V ? » On compare les deux solutions avec un même câble de résistance totale $R = 0,40 \Omega$, en supposant que la puissance au départ du câble vaut 400 W dans les deux cas.

- Représenter la chaîne en blocs : tableau de chantier, câble, transformateur de sécurité, appareils. Indiquer les tensions et le rôle du transformateur.
- Calculer l'intensité dans le câble s'il est sous 230 V, puis s'il est sous 24 V.
- Dans chaque cas, calculer P_J et la chute de tension U_R dans le câble. Exprimer U_R en pourcentage de la tension transportée.
- Répondre au stagiaire. Quel lien avec le transport sous très haute tension ?
- Pourquoi alimente-t-on quand même les appareils en 24 V sur ce chantier ?

Correction de l'exercice 28

a. Tableau de chantier → câble (230 V) → transformateur de sécurité **abaisseur** (230 V → 24 V) → baladeuse et outil (24 V).

b. Sous 230 V : $I = \frac{400}{230} \approx 1,74 \text{ A}$. Sous 24 V : $I = \frac{400}{24} \approx 16,7 \text{ A}$.

c. Sous 230 V : $P_J = 0,40 \times 1,74^2 \approx 1,2 \text{ W}$; $U_R = 0,40 \times 1,74 \approx 0,70 \text{ V}$, soit 0,3 %. Sous 24 V : $P_J = 0,40 \times 16,7^2 \approx 111 \text{ W}$; $U_R = 0,40 \times 16,7 \approx 6,7 \text{ V}$, soit environ 28 % de 24 V.

d. Sous 24 V, l'intensité est près de 10 fois plus forte et les pertes environ 90 fois plus grandes ($(230/24)^2 \approx 92$) ; les appareils ne recevraient plus qu'environ 17 V. C'est la même raison que pour le réseau : on transporte sous la tension la plus élevée possible et on n'abaisse la tension qu'à la fin.

e. Pour la **sécurité** : dans les conditions prévues par la notice, le risque d'électrisation est grand ; le transformateur de sécurité fournit une tension réduite adaptée aux appareils ; son emploi doit respecter la notice et les conditions du lieu.

Limite du modèle : avec une telle chute de tension, les appareils ne recevraient pas réellement 400 W ; le calcul sert à comparer les deux solutions.