



NIVEAU 3 SUR 3

Approfondi

Corriger, comparer, démontrer, construire : le chapitre sans aide.

Sans aucune aide · 60 minutes · sur 20

Conversion et transport de l'énergie électrique

Corrigé du contrôle **niveau 3 · Approfondi**, avec le barème au point près.

📖 RAPPEL

La règle du cours que l'exercice met à l'épreuve, en tête de chaque exercice.

✓ RÉPONSE

Dans le cadre bordé : ce qui rapporte les points.

→ POURQUOI

Sous chaque réponse : la raison, pour comprendre et non recopier.

1

La copie de Lucas

🕒 Repérer une erreur et la corriger

🕒 12 min

5 pts

RAPPEL DE COURS



Des mégawatts divisés par des kilovolts donnent des kiloampères. Le transformateur conserve à peu près la puissance et ne fonctionne qu'en alternatif. Le rendement d'une machine thermique reste inférieur à 1 par principe, et l'énergie non convertie n'est jamais détruite.

LA COPIE ANNOTÉE

- 1 Intensité : $I = P \div U = 30 \div 60 = 0,5 \text{ A}$.
- 2 Pertes : $P = R \times I^2 = 6 \times 0,5^2 = 1,5 \text{ W}$, ce qui est négligeable.
- 3 Pour réduire encore ces pertes, on pourrait choisir un transformateur qui élève à la fois la tension et l'intensité.
- 4 De toute façon, la centrale qui alimente la ligne n'a qu'un rendement de 0,38 : avec de meilleurs matériaux, on atteindrait 1.
- 5 Les 62 % restants sont détruits à l'intérieur de la centrale.
- 6 Enfin, le réseau gagnerait à fonctionner en courant continu : les transformateurs y marcheraient tout aussi bien.

⚠ erreur 1

⚠ erreur 1

⚠ erreur 2

⚠ erreur 3

⚠ erreur 4

⚠ erreur 5

CRITÈRE	CE QUI EST ATTENDU	POINTS
Lignes 1 et 2 — des unités mélangées, et une conclusion qui en découle.	$MW \div kV$ donne des kA : $I = 0,5 \text{ kA}$; pertes $6 \times 0,5 \times 0,5 = 1,5 \text{ MW}$, et $1,5 \div 30 = 0,05$, soit 5 % : pas négligeable. → Une erreur d'unité d'un facteur mille fausse la conclusion ; rapporter les pertes à la puissance transportée l'aurait révélée.	1 pt
Ligne 3 — un transformateur qui élèverait la tension et l'intensité.	Impossible : la puissance étant à peu près conservée, élever la tension abaisse l'intensité, et c'est justement ce qui réduit les pertes. → Ce que le transformateur gagne en tension, il le perd en intensité ; élever les deux à la fois créerait de la puissance.	1 pt
Ligne 4 — un rendement promis à 1 grâce aux matériaux.	Aucun matériau n'y mènera : une machine thermique ne peut pas convertir toute la chaleur reçue en travail. → La limite tient au principe même de la conversion de chaleur en travail, et non à la qualité de la fabrication.	1 pt
Ligne 5 — une énergie « détruite ».	Rien n'est détruit : ces 62 % quittent la centrale en chaleur, trop peu chaude pour servir encore. → L'énergie se conserve ; ce qui manque au rendement est évacué, par exemple vers l'air ou un cours d'eau.	1 pt
Ligne 6 — des transformateurs en courant continu.	Faux : sans courant alternatif, plus de transformateur, donc plus de haute tension praticable. → C'est précisément parce que le transformateur exige l'alternatif que le réseau a été construit ainsi.	1 pt

⚠ CE QUI COÛTE DES POINTS

Une erreur repérée mais non corrigée : 0,5 sur 1.

Barème : 5 points — 1 par erreur : 0,5 pour la repérer, 0,5 pour la corriger.

🔍 ERREURS FRÉQUENTES

- Refaire le calcul de la ligne 1 sans dire que l'erreur vient des unités.
- Accepter « négligeable » sans rapporter les pertes aux 30 MW transportés.
- Corriger la ligne 4 en annonçant un rendement « presque égal à 1 » : il reste nettement inférieur à 1 par principe.

2 Gros câble ou haute tension ?

🕒 Comparer des solutions par le calcul · Démontrer et généraliser

🕒 14 min

5 pts

RAPPEL DE COURS

- 📖 Les pertes valent $R \times I^2$ avec $I = P \div U$. Elles sont proportionnelles à la résistance, mais au carré de l'intensité : agir sur la tension divise les pertes par le carré du facteur choisi.

- a** Chiffre la situation de départ : intensité, échauffement de la ligne en mégawatts, et pourcentage des 40 MW ainsi perdus.

1 pt

✓ $40 \div 20 = 2$: **2 kA** ; $3 \times 2 \times 2 = 12$: **12 MW** ; $12 \div 40 = 0,3$ (**30 %**).

→ **Pourquoi.** Près d'un tiers de la puissance est perdue : la situation de départ appelle une solution.

- b** Que deviennent ces pertes avec la solution A ? avec la solution B ?

1,5 pt

✓ **A** : $1,5 \times 2 \times 2 = 6$: **6 MW**. **B** : $40 \div 40 = 1$: **1 kA**, et $3 \times 1 \times 1 = 3$: **3 MW**.

→ **Pourquoi.** A divise les pertes par 2, comme la résistance ; B divise l'intensité par 2, donc les pertes par 4. 0,5 point pour A, 1 pour B.

- c Sous 20 kV, quelle résistance faudrait-il pour obtenir les mêmes pertes qu'avec la solution B ? Commente. (1 pt)

✓ $3 \div 4 = 0,75$: **0,75 Ω , quatre fois moins que la ligne actuelle. Doubler la tension vaut autant que diviser la résistance par quatre.**

→ **Pourquoi.** À intensité inchangée (2 kA), il faut $R \times 4 = 3$: un simple doublement de la tension équivaut à une résistance divisée par quatre.

- d La ligne est finalement exploitée sous 400 kV. Calcule ses pertes, puis explique, à partir de l'ensemble de tes résultats, pourquoi le paysage est traversé de lignes à très haute tension plutôt que de gros câbles. (1,5 pt)

✓ $40 \div 400 = 0,1$: **0,1 kA ; $3 \times 0,1 \times 0,1 = 0,03$: 0,03 MW (30 kW). Tension $\times 20$, pertes $\div 400$: aucun câble ne fait gagner autant.**

→ **Pourquoi.** Réduire la résistance ne divise les pertes que dans la proportion choisie ; élever la tension les divise par le carré du facteur. 0,5 point pour le calcul, 1 pour l'argument.

⚠ CE QUI COÛTE DES POINTS

La solution B traitée comme la solution A, sans recalculer l'intensité : 0,5 sur 1,5.

Barème : 5 points — 1 + 1,5 + 1 + 1,5.

🔍 ERREURS FRÉQUENTES

- Traiter la solution B en divisant les pertes par 2, comme pour la solution A.
- Oublier de recalculer l'intensité quand la tension change.
- Conclure « B est meilleure » sans expliquer d'où vient l'écart.

3 Le prix d'un aller-retour

🕒 Comparer des solutions par le calcul · Démontrer et généraliser

🕒 10 min

3 pts

RAPPEL DE COURS

- 📖 Stocker de l'électricité impose deux conversions : vers une autre forme d'énergie, puis retour. Chacune a un rendement inférieur à 1, et le rendement de l'ensemble se déduit des deux.

- a Montre que le rendement de l'aller-retour, $E_3 \div E_1$, est égal au produit $\eta_1 \times \eta_2$. Que peut-on en déduire en le comparant à chacun des deux rendements ? (1 pt)

✓ $\frac{E_3}{E_1} = \frac{E_2}{E_1} \times \frac{E_3}{E_2} = \eta_1 \times \eta_2$; **deux facteurs inférieurs à 1 donnent un produit plus petit que chacun d'eux.**

→ **Pourquoi.** L'aller-retour perd donc davantage que la plus mauvaise des deux conversions prise seule.

- b Pour stocker, une batterie fictive convertit l'électricité avec un rendement de 0,95 ; pour restituer, avec un rendement de 0,9. Combien de kilowattheures rend-elle pour 40 kWh confiés ? (1 pt)

✓ $40 \times 0,95 \times 0,9 = 34,2$: **34,2 kWh.**

→ **Pourquoi.** On applique le produit des rendements démontré à la question précédente : le rendement de l'aller-retour vaut 0,855.

- c Une publicité vante un stockage qui « rend 42 kWh pour 40 kWh confiés ». Montre que c'est impossible, puis dis ce qu'aucun progrès technique ne permettra d'éviter. (1 pt)

✓ $42 \div 40 = 1,05$: **rendement supérieur à 1, impossible. Une part de l'énergie stockée sera toujours perdue, faute de rendement égal à 1.**

→ **Pourquoi.** Aucune conversion n'atteint 1 : stocker coûte une part de ce qu'on stocke, et cette part est irréductible.

⚠ CE QUI COÛTE DES POINTS

Des rendements additionnés au lieu d'être multipliés : 0 à la question concernée.

Barème : 3 points — 1 par question.

🔍 ERREURS FRÉQUENTES

- Additionner les deux rendements, ou les pertes en pourcentage, au lieu de multiplier les rendements.
- Se contenter de dire que 42 est plus grand que 40, sans parler de rendement.

4

Développement construit ☆ EXERCICE-PHARE

🕒 Démontrer et généraliser · Construire un développement

🕒 24 min

7 pts

RAPPEL DE COURS



Convertir : le rendement reste inférieur à 1, l'énergie manquante part en chaleur. Transporter : les pertes valent $R \times I^2$, d'où la haute tension, rendue praticable par le transformateur, qui exige l'alternatif. Stocker : deux conversions, un coût irréductible, accepté pour disposer de l'énergie au bon moment.

CRITÈRE	CE QUI EST ATTENDU	POINTS
Introduction : la question reformulée, l'idée que l'énergie ne disparaît pas mais se dégrade en chaleur, le plan annoncé.	Exemple : « L'énergie ne disparaît jamais, mais à chaque étape une part devient une chaleur dont on ne fait plus rien. Nous verrons où cela se produit — à la conversion, au transport, au stockage — et comment on le limite. » → L'introduction pose le problème et annonce le parcours : le correcteur sait où va la copie.	1 pt
Convertir : le rendement défini, toujours inférieur à 1 par principe, l'énergie manquante évacuée en chaleur.	Rendement = énergie utile ÷ énergie fournie ; une machine thermique ne convertit pas toute la chaleur reçue en travail ; le reste part en chaleur à basse température. → Il faut dire que cette perte n'est pas un défaut que la technique supprimera : c'est une limite de principe.	1,5 pt
Transporter : l'effet Joule, les deux formules, le rôle décisif du carré, un résultat chiffré.	Échauffement des câbles ; $P_{perdue} = R \times I^2$ et $I = P \div U$; à puissance égale, tension $\times 20 \Rightarrow$ courant $\div 20 \Rightarrow$ pertes $\div 400$ (exercice 2). → C'est le cœur du chapitre : l'argument doit passer par l'intensité et par son carré, chiffre à l'appui. 1 point pour le mécanisme, 1 pour l'exemple chiffré.	2 pts
Le transformateur : son rôle aux deux bouts de la ligne et la contrainte qu'il impose au réseau.	Rapport des tensions égal à celui des spires ; tension montée au départ, redescendue à l'arrivée ; courant alternatif obligatoire, d'où un réseau alternatif. → Sans lui, la haute tension serait impraticable : il relie le constat physique au réseau réel.	1 pt
Stocker : deux conversions, un rendement d'aller-retour plus faible que chacune, un coût irréductible accepté pour disposer de l'énergie au bon moment.	Le stockage passe par une autre forme d'énergie (eau remontée, chimie) ; le rendement de l'aller-retour est le produit de deux rendements inférieurs à 1 ; on l'accepte parce qu'une énergie disponible quand on la demande vaut davantage. → Le stockage ajoute des pertes au lieu d'en retirer : il faut dire pourquoi on y recourt malgré tout.	1 pt
Conclusion et expression : une réponse nette, le vocabulaire du cours, des connecteurs logiques.	Exemple : « L'énergie se perd donc à chaque conversion et sur chaque kilomètre de ligne ; on ne supprime pas ces pertes, on les réduit là où c'est possible, en jouant sur l'intensité. » → La conclusion répond aux deux questions posées en une ou deux phrases claires.	0,5 pt

UN EXEMPLE DE DÉVELOPPEMENT

Entre la chaleur reçue par une centrale et l'appareil qui fonctionne chez soi, l'énergie ne disparaît pas : elle se conserve. Mais à chaque étape, une part se transforme en une chaleur dont on ne peut plus rien faire. Où ces pertes se produisent-elles, et comment les limite-t-on ? Nous suivrons l'énergie de sa conversion à son transport, puis à son éventuel stockage.

La première perte a lieu dans la centrale. Le rendement d'une conversion est le rapport entre l'énergie utile obtenue et l'énergie fournie ; il est toujours inférieur à 1. Pour une centrale thermique, ce n'est pas un défaut de fabrication : une machine thermique ne peut pas convertir toute la chaleur reçue en travail. Pour une centrale de rendement 0,38, les 62 % manquants sont évacués vers l'air ou un cours d'eau, à une température trop basse pour servir encore. Cette perte-là, on ne peut que la constater.

La deuxième perte a lieu dans les lignes. Tout câble a une résistance et s'échauffe au passage du courant : c'est l'effet Joule, et la puissance perdue vaut $R \times I^2$. Or, pour une puissance donnée, l'intensité vaut $P \div U$: en élevant la tension, on divise l'intensité, et les pertes du carré de ce facteur. Ainsi, une ligne de 3Ω qui transporte 40 MW perd 12 MW sous 20 kV, mais seulement 0,03 MW sous 400 kV (400 fois moins) ; diviser la résistance par deux n'aurait fait que diviser les pertes par deux. C'est pourquoi le paysage est traversé de lignes à très haute tension plutôt que de gros câbles.

Cette solution n'est praticable que grâce au transformateur. Il élève la tension à la sortie de la centrale et l'abaisse à l'approche des usages, en conservant à peu près la puissance ; le rapport des tensions est celui des nombres de spires. Comme il ne fonctionne qu'en courant alternatif, le réseau tout entier l'est devenu.

Enfin, stocker l'électricité ajoute des pertes. Une station de pompage remonte de l'eau puis la turbine, une batterie passe par la chimie : il y a toujours deux conversions, et le rendement de l'aller-retour, produit de deux rendements inférieurs à 1, est plus faible que chacun d'eux. On accepte ce coût irréductible parce qu'il permet de disposer de l'énergie au moment où elle est demandée.

L'énergie arrive donc diminuée parce qu'elle se dégrade en chaleur à chaque conversion et sur chaque kilomètre de ligne. On ne supprime pas ces pertes : on les réduit là où la physique le permet, en abaissant l'intensité grâce à la haute tension, et on n'accepte celles du stockage que lorsqu'elles achètent une énergie disponible au bon moment.

⚠ CE QUI COÛTE DES POINTS

La haute tension évoquée sans le carré de l'intensité ni exemple chiffré : 0,5 sur 2 pour ce critère.

Barème : 7 points — 1 + 1,5 + 2 + 1 + 1 + 0,5.

Q ERREURS FRÉQUENTES

- Énumérer les notions sans répondre à la double question « où » et « comment ».
- Écrire que l'énergie perdue est détruite.
- Parler de haute tension sans expliquer le rôle du carré de l'intensité.
- Oublier l'introduction ou la conclusion.



Barème de notation

Ce que le correcteur regarde, exercice par exercice.

20 pts

CE QUI EST ATTENDU	EXERCICE	POINTS	CE QUI FAIT PERDRE LE POINT
Les erreurs de la copie repérées et corrigées	1	5 points — 1 par erreur : 0,5 pour la repérer, 0,5 pour la corriger	Une erreur repérée mais non corrigée : 0,5 sur 1.
Les deux solutions comparées par le calcul	2	5 points — 1 + 1,5 + 1 + 1,5	La solution B traitée comme la solution A, sans recalculer l'intensité : 0,5 sur 1,5.
Le rendement d'un aller-retour démontré et appliqué	3	3 points — 1 par question	Des rendements additionnés au lieu d'être multipliés : 0 à la question concernée.
Le développement construit	4	7 points — 1 + 1,5 + 2 + 1 + 1 + 0,5	La haute tension évoquée sans le carré de l'intensité ni exemple chiffré : 0,5 sur 2 pour ce critère.
Total		20 points	



Que faire de ta note ?

Le contrôle ne s'arrête pas au chiffre : voici la suite selon ton score.



Niveau 1 · Essentiel



Niveau 2 · Standard



Niveau 3 · Approfondi — tu es ici



16 à 20

NIVEAU MAÎTRISÉ

C'est le niveau le plus élevé, et tu le maîtrises. Pour aller plus loin, applique la méthode en cinq étapes de la fiche à chaque calcul d'énergie que tu rencontres, en finissant toujours par une phrase qui juge le résultat.



10 à 15

REFAIRE CE NIVEAU

Relis la correction de l'exercice où tu as perdu le plus de points. Réécris ton développement en suivant le plan du corrigé, puis refais le niveau 3 dans une semaine.



moins de 10

NIVEAU INFÉRIEUR

Repasse par le niveau 2 — Standard : il entraîne les calculs guidés, la lecture d'une courbe et l'analyse d'un bilan, dont ce niveau a besoin.

✓ COMPARE AVEC TA PRÉVISION

- Reprends la grille « Avant de rendre ta copie » : là où tu avais coché « acquis » et perdu des points, relis le rappel de cours de l'exercice.
- Refaire un contrôle quelques jours plus tard, sans regarder le corrigé, mesure ce que tu as retenu, et non ce dont tu te souviens.
- La fiche de cours du chapitre reprend chaque notion : ProgresSchool · Enseignement scientifique Terminale · Conversion et transport de l'énergie électrique.