

Concours Agronomiques et Vétérinaires Concours A - BCPST « Argumentation et Échange », thème à dominante physique
--

Rapport 2017

Pour sa troisième année d'existence, il semble que l'épreuve « Argumentation et échange » ait trouvé sa place dans l'écosystème de la filière BCPST. Ses attendus et son déroulement sont désormais familiers aux candidats, manifestement bien encadrés par leurs professeurs, bien qu'il subsiste des disparités dans cette préparation. Le jury se félicite que certaines remarques figurant dans les rapports précédents aient été assimilées. Cela permet, année après année, de fluidifier les échanges avec les candidats pour que l'épreuve atteigne la pleine mesure de l'**évaluation par compétences**, dans l'esprit qui a prévalu à sa conception.

Afin d'accompagner ces progrès, le jury a relevé les erreurs ou maladresses les plus caractéristiques qui subsistent lors de cette session, classées par grands champs de compétences.

Analyser et s'appropriier le problème

La présentation du sujet ne doit pas consister en une paraphrase de l'énoncé, voire en sa simple lecture. La contextualisation en début d'épreuve doit certes revenir sur le cadre du problème, mais en y associant les **phénomènes physiques** qu'on y a décelés. Il s'agira par exemple de citer l'effet Doppler si le sujet évoque le déplacement d'une source sonore. Le candidat pourra alors prévoir la tendance de variation de fréquence selon le sens de ce déplacement, sans formalisme à ce stade.

De façon générale, commencer son oral en écrivant une équation au tableau n'est pas dans l'esprit de l'épreuve. D'autant que cette relation s'avère bien souvent inutile, imprécise ou erronée. Une question ouverte demande en effet un temps d'échange et de réflexion, afin de bien **poser le problème**.

Lorsqu'une photographie ou un schéma (muni d'une échelle) est fourni avec l'énoncé, il est judicieux de mettre à profit le temps de préparation pour y mesurer des distances pertinentes (les candidats sont priés de se munir d'une règle graduée). Il en est de même pour les grandeurs caractéristiques d'une courbe (extremum, valeur finale, valeur moyenne, période...). Il convient par conséquent d'**exploiter les informations** figurant dans les documents fournis.

Concevoir une stratégie de résolution

Avant tout développement calculatoire, la démarche adoptée doit s'appuyer sur un **schéma** clair et une définition précise du **système** étudié. Les difficultés rencontrées s'expliquent souvent par ce manque de rigueur initial, sanctionnable dans une évaluation par compétences.

Les schémas doivent être annotés avec des **grandeurs physiques pertinentes**. L'ordre de grandeur de certaines d'entre elles peut être demandé. Estimer numériquement une

grandeur est valorisé, mais accorder un symbole aux paramètres utiles l'est tout autant. Le jury doit parfois relancer le candidat à ce propos : « Veuillez également noter littéralement cette grandeur ». Plus surprenant, cette demande peut ne pas être comprise et l'on se doit d'explicitier : « Appelons a ce rayon ».

Les valeurs numériques s'accompagnent bien entendu de leurs **unités**. L'estimation de l'accélération de la pesanteur a souvent eu comme simple réponse « 9,81 ». La demande de précision d'unité s'est cette année trop fréquemment soldée par « $m^2 \cdot s^{-1}$ ».

Ensuite, le choix d'un système physique est un préalable essentiel à l'écriture de toute loi. Ce souci est particulièrement crucial en thermodynamique. C'est en effet sa nature (ouvert ou fermé) et sa délimitation (macroscopique ou infinitésimal) qui vont guider l'écriture du **premier principe** et le signe des transferts d'énergie. Ce bilan d'énergie n'est pas considéré par les candidats comme un principe unique, prenant simplement des déclinaisons diverses selon la situation rencontrée (piston, calorimétrie, machine thermique, diffusion thermique). C'est pourquoi la signification physique accordée à dU , ΔU , dT ou Δh n'est pas claire pour de nombreux admissibles (l'erreur consiste souvent à confondre les variations spatiales et temporelles).

Le jury a dû cette année rappeler à de nombreuses reprises aux candidats d'écrire au tableau les relations qu'ils se contentaient d'énoncer oralement. L'épreuve se fonde certes sur un échange avec le candidat, mais autant il est préférable de citer verbalement les conditions d'utilisation d'un théorème, autant la **réalisation efficace de calculs littéraux** ne peut se faire sans l'appui du tableau.

Les développements formels souffrent d'erreurs classiques : confusion entre scalaires et vecteurs, intégration de la relation obtenue avec la 2^e loi de Newton, identification de la variable... Une absence de questionnement sur le **type de régime** dans lequel le problème se place implicitement (continu, transitoire, sinusoïdal forcé) conduit nécessairement au choix d'une méthode hors-sujet.

Dans la mesure du possible, chaque sujet est conçu pour être résolu avec le programme des deux années de classe préparatoire et faire appel à des thèmes différents (optique/thermodynamique par exemple). Les impasses sont toutefois malvenues étant donné la durée limitée de l'épreuve. Certains sujets nécessitent par exemple obligatoirement l'utilisation du moment d'une force par rapport à un axe, la loi de Darcy ou la notion de surpression acoustique et son lien avec l'intensité acoustique.

Formuler une analyse critique de la démarche

Il est bienvenu d'effectuer une vérification d'**homogénéité** de formule au cours de l'épreuve, ce qui est souvent laissé à l'initiative de l'interrogateur. Les unités des grandeurs suivantes sont les plus mal connues : vecteur densité de courant thermique, capacités thermiques (totale ou massique), enthalpie, accélération, flux de particules, débit volumique. Certaines peuvent se retrouver rapidement à l'aide d'une simple relation (loi de Fourier pour la conductivité thermique par exemple). Le lien entre force et pression a souvent posé problème.

Si les bons candidats pensent à citer les conditions d'application des lois utilisées (relation de Bernoulli, loi de Poiseuille, loi de Stokes, formule de conjugaison...), rares sont ceux qui pensent spontanément à **vérifier les hypothèses a posteriori**. Lorsque le nombre de Reynolds

intervient dans cette vérification, la longueur caractéristique qui y apparaît est parfois mal identifiée.

Il convient enfin de **poser les limites du modèle** utilisé, en relevant clairement un écart entre le phénomène réel et la description qui en a été faite. « Ne pas négliger les pertes thermiques » n'est pas suffisamment précis (sur quelle portion du cycle ? à quel endroit du dispositif ?). Les améliorations proposées doivent être pertinentes ; par exemple, le caractère non parfait d'un gaz n'est généralement pas l'hypothèse la plus discutable dans les situations thermodynamiques envisagées.

Interagir et communiquer

Certaines prestations amènent le jury à clarifier le cadre de l'**échange** entre l'interrogateur et le candidat. Ce dernier ne doit pas attendre l'approbation de l'examineur après chaque ligne écrite ni une autorisation pour poursuivre sa démarche. L'interrogateur dirige l'échange et saura intervenir si nécessaire, le plus souvent lorsque la voie choisie s'avère stérile, afin de ne pas lui faire perdre du temps. Par ailleurs, c'est le candidat qui doit **répondre aux questions** de l'examineur, et non l'inverse.

Il faut savoir **prendre en compte une indication** fournie. Cela doit être l'occasion pour le candidat de montrer sa capacité à corriger une erreur ou à modifier son modèle, et non un point de désaccord avec l'interrogateur qu'il faudrait convaincre de changer d'avis.

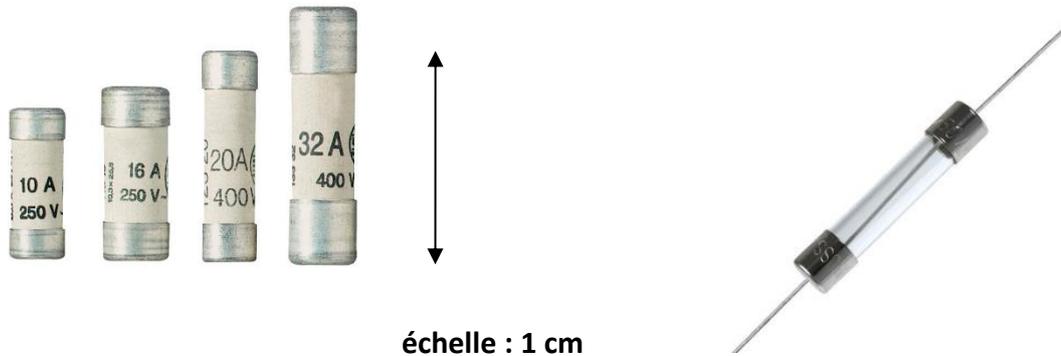
Concernant l'**organisation pratique** de l'épreuve, il y a eu deux modifications cette année :

- ✓ les candidats n'ont eu connaissance de la dominante (physique ou chimie) de chaque épreuve « Argumentation et échange » et « Activité expérimentale » que lors de la présentation de la première des deux ;
- ✓ les candidats et les visiteurs ne sont pas autorisés à apporter leurs sacs et leurs téléphones portables (même éteints) dans la salle d'interrogation. Ces objets sont stockés dans un endroit dédié.

Les **visiteurs** souhaitant assister aux oraux sont les bienvenus ; ils ont à nouveau été nombreux cette année (principalement des étudiants de 1^e année, ou de 2^e année non admissibles). Il est toutefois déplacé d'être spectateur de l'oral d'un candidat de sa connaissance (famille, ami, camarade de classe, professeur).

Les remarques des pages précédentes sont volontairement plus succinctes cette année. On pourra se reporter avec profit aux rapports 2015 et 2016, où l'évaluation par compétences est émaillée de nombreux exemples. Le meilleur moyen d'appréhender cette épreuve novatrice reste de venir y assister à l'ESTP (Cachan). Pour ceux qui ne peuvent s'y rendre, le jury a souhaité transcrire ci-après un **exemple d'échange entre un interrogateur et un candidat**, fondé sur un sujet posé lors de cette session et dévoilé à la page suivante. Afin de ne cibler personne en particulier, il s'agit d'une compilation des prestations de plusieurs candidats ayant traité ce même sujet et de niveaux comparables. Le déroulement proposé est cependant représentatif du type d'échange auquel cette épreuve donne lieu ; la compilation ayant toutefois pour conséquence de rehausser le rendu par rapport au temps d'échange moyen.

Un coupe-circuit à fusible a la fonction d'ouvrir, par la fusion d'un de ses éléments, le circuit électrique dans lequel il est inséré, interrompant ainsi la circulation du courant lorsque l'intensité dépasse une valeur donnée.



Pour quelle intensité du courant électrique le fusible va-t-il se rompre et à quel endroit ?

On attachera en particulier de l'importance aux points suivants :

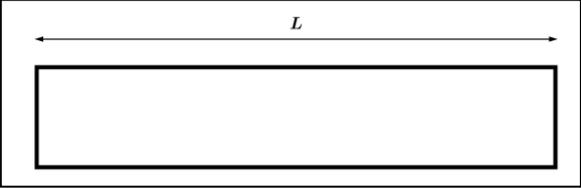
- ✓ Proposer des modèles simples permettant d'envisager les échanges thermiques au sein du fusible.
- ✓ Formuler une analyse critique du modèle choisi.
- ✓ Examiner l'aspect temporel des phénomènes.
- ✓ Estimer les ordres de grandeur nécessaires à la résolution numérique du problème pour un dispositif ordinaire. Les valeurs d'autres grandeurs que vous estimerez pertinentes pourront être fournies par l'examineur.

L'entretien avec l'examineur a notamment pour but de dégager des pistes de réflexion afin de :

- ✓ dégager une problématique,
 - ✓ proposer des hypothèses permettant de construire des modèles simples.
-

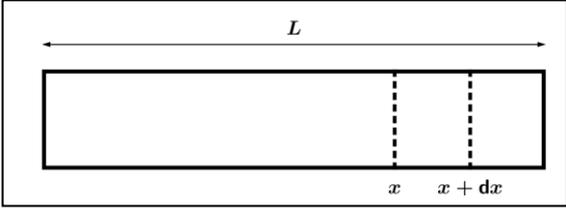
Le candidat dispose de 15 minutes de préparation dans une salle spécifique. Il est ensuite accompagné par un appariteur vers la salle d'interrogation. L'épreuve commence juste après les formalités d'usage : signature de la feuille d'emargement et vérification d'identité. Le candidat n'a en sa possession que l'énoncé, ses brouillons, ses stylos, sa calculatrice et sa règle graduée.

Dans ce qui suit, les éléments écrits au tableau sont encadrés.

Transcription de l'échange	Commentaires
<p><i>Interrogateur – Je vous écoute.</i></p> <p>Candidat – Donc, le sujet c'est celui sur le fusible : comment peut-on modéliser le fusible en quelque sorte ? On nous expliquait qu'un fusible était un dipôle dans un circuit qui permettait à partir d'une certaine intensité de couper le circuit. Donc, la première chose à laquelle j'ai pensé, c'était un dipôle qu'on pouvait éventuellement caractériser comme un interrupteur ouvert. Je me suis appuyé sur le condensateur, dont l'impédance électrique est</p> $Z = \frac{1}{Cj\omega}$ <p>et qui est assimilable à un interrupteur ouvert dès lors que $\omega \rightarrow 0$.</p>	<p>Au début, le jury laisse un peu de temps au candidat pour présenter le sujet, poser le problème, exhiber les phénomènes physiques en jeu ou exploiter les informations présentes dans l'énoncé. Il s'agit d'analyser et de s'appropriier le problème, première compétence que l'épreuve évalue.</p> <p>Ici, le candidat s'est focalisé sur l'expression « coupe-circuit » présente dans l'énoncé, en omettant d'autres éléments essentiels. La « fusion » du fusible (à considérer comme un simple conducteur) souligne l'importance de la température dans le problème. Celle-ci augmentant à cause de l'effet Joule, qui dépend du courant (grandeur recherchée).</p>
<p><i>I – Vous avez donc modélisé le fusible par un condensateur ?</i></p> <p>C – Non, enfin... je donne les étapes de mon raisonnement, mais ensuite ça n'est pas ça que j'ai utilisé. Finalement ce que j'ai fait, c'est modéliser le fusible comme un cylindre de longueur L.</p>  <p>On va faire un bilan d'énergie interne pour ce fusible entre x et $x + dx$.</p>	<p>Le jury intervient pour éviter que le candidat ne s'engage sur une piste qui est ici sans rapport avec le sujet étudié.</p> <p>D'autant que cette voie ne semble pas avoir été explorée plus avant lors de la préparation.</p> <p>La nouvelle piste semble plus fructueuse, mais le contexte du problème n'a toujours pas été posé alors que le candidat veut s'engager dans le formalisme.</p>

<p><i>I – Quel est le type de matériau dont se compose le fusible ?</i></p> <p>C – C’est un fil métallique entouré par une gaine. Et on va uniquement considérer le fil métallique.</p> <p><i>I – D’après les photographies fournies, peut-on estimer la valeur de L ?</i></p> <p>C – Oui, en fonction du fusible sa taille va varier, mais un ordre de grandeur est d’environ 1 cm.</p> <p><i>I – D’accord, c’est la valeur que nous retiendrons pour la suite.</i></p> <p><i>I – Et quant à son rayon ?</i></p> <p>C – (prend sa règle) Je pense qu’on a 0,4 de diamètre, donc 0,2 cm de rayon environ.</p> <p><i>I – Dans la suite, nous considérerons une section de surface $S = 1 \text{ mm}^2$.</i></p> <p>C – D’accord.</p> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">$S = 1 \text{ mm}^2$</div>	<p>L’interrogateur veut s’assurer que le candidat a bien considéré le fusible comme un conducteur électrique, assimilable à une résistance.</p> <p>En définissant la longueur L, le candidat aurait dû spontanément s’appuyer sur l’énoncé pour estimer sa valeur.</p> <p>Parfois, l’interrogateur peut être amené à fournir au candidat une valeur différente de celle qu’il a estimée (sans préjudice si l’ordre de grandeur était correct), dans le seul but de vérifier les applications numériques à venir.</p> <p>Le candidat n’a pas pensé à poser littéralement (ni à mesurer sur les photographies) cette dimension importante. L’interrogateur prend l’initiative pour que la résolution puisse avancer dans le temps imparti.</p> <p>L’estimation n’est pas correcte (erreur d’unité et absence de relation de proportionnalité utilisant l’échelle fournie).</p> <p>L’interrogateur fournit donc une valeur numérique simple du bon ordre de grandeur pour faciliter les calculs suivants.</p>
<p>C – Donc, pour ce bilan d’énergie, on va écrire la variation d’énergie interne.</p> <p><i>I – Avant d’établir ce bilan, pouvez-vous me préciser pourquoi le fusible va fondre et quels sont les phénomènes physiques qui interviennent ?</i></p>	<p>La stratégie de résolution n’a toujours pas été exposée. L’interrogateur souhaite que le candidat expose une démarche scientifique claire, que les développements formels traduiront ensuite.</p>
<p>C – Ce qui se passe, c’est qu’il y a un courant qui va se propager dans le fusible. Et à partir d’une certaine intensité qui sera trop</p>	

<p>importante, la chaleur qui sera reçue par le fusible va le faire fondre.</p> <p><i>I – Comment le courant peut-il conduire à cette chaleur ?</i></p> <p>C – C’est la circulation des charges qui en est responsable, il y a des chocs entre les charges.</p> <p><i>I – Ce phénomène a un nom.</i></p> <p>C – Ah ! oui, c’est l’effet Joule. C’est ce qui va échauffer le fil, et il y aura fusion en son centre, je pense.</p> <p><i>I – Nous le vérifierons par la suite.</i></p>	<p>La discussion a permis de mettre en évidence un des phénomènes physiques intervenant, désormais bien identifié. Un modèle peut se dessiner.</p>
<p><i>I – Quel type de transfert thermique est en jeu dans le fil électrique ?</i></p> <p>C – On est dans un métal, donc ce sont des transferts de proche en proche...</p> <p><i>I – Quels types de transferts thermiques connaissez-vous ?</i></p> <p>C – Il y a la conduction, la convection et le rayonnement.</p> <p><i>I – Ici, lequel est en jeu au sein du métal ?</i></p> <p>C – On est sûr de la conduction thermique.</p> <p>C – Ensuite, euh...</p> <p><i>I – On remarque dans les photographies que le fusible est encapsulé. Quelle hypothèse cela nous permet-il de poser ?</i></p> <p>C – Cela peut être en partie pour limiter les pertes de chaleur et donc éviter que la fusion ait lieu pour un courant supérieur.</p>	<p>La question suivante doit aider le candidat à aller plus loin dans sa démarche pour cerner complètement le problème.</p> <p>La réponse n’étant pas claire, l’interrogateur reformule sa question.</p> <p>Le candidat hésite ensuite sur la démarche à suivre, ou sur des hypothèses simplificatrices à poser.</p> <p>Le modèle commençant à s’esquisser, l’interrogateur aiguille le candidat vers des simplifications qui permettront de développer des calculs littéraux.</p>
<p>C – Je passe au bilan ?</p>	<p>Les phénomènes physiques semblent désormais clairs, le candidat peut</p>

<p><i>I – Je vous en prie.</i></p>	<p>développer l'application du Premier Principe.</p>
<p>C –</p> $dU = \delta Q + \delta W$ <p>δQ et δW sont algébriquement reçus par le système, ici la tranche de fil entre x et $x + dx$.</p>  <p>δW, c'est le travail des forces pressantes. Comme c'est un solide, je peux considérer que les forces pressantes sont négligeables, donc que le travail est nul.</p> <p>Et pour δQ, on va prendre $\delta Q_{\text{reçu}}$ (et $\delta Q_{\text{créé}}$, j'inclus les deux dans ce terme) et δQ_{perdu}.</p> $\delta Q = \delta Q_{\text{reçu}} + \delta Q_{\text{perdu}}$ <p><i>I – Quel est le signe de δQ_{perdu} si ce transfert thermique est effectivement perdu par le système ?</i></p> <p>C – Les transferts thermiques sont comptés comme étant reçus par le système, donc ce serait négatif.</p> <p><i>I – D'accord.</i></p>	<p>Pour être plus complet, le candidat aurait dû nommer « le premier principe de la thermodynamique », poser clairement un repère et faire l'hypothèse d'un problème unidimensionnel (justifiant le système choisi).</p> <p>Le jury note les erreurs, mais n'intervient pas pour fluidifier la démarche du candidat et car celles-ci ne bloquent pas la suite du raisonnement. Mais ces fautes (et les oublis dans le paragraphe précédent) sont prises en compte dans l'évaluation.</p> <p>L'interrogateur veut s'assurer que l'algébrisation a bien été comprise par le candidat.</p>
<p>C – Donc pour $\delta Q_{\text{reçu}}$, on aura le flux reçu en x : $\phi(x)dt$. Et on aura le flux perdu en $x + dx$: $\phi(x + dx)dt$</p> $\delta Q = \phi(x)dt - \phi(x + dx)dt$ <p>En première approximation, on peut considérer qu'il n'y a pas de perte ni de création de température et donc qu'on est en état stationnaire.</p>	<p>Malgré le temps passé à la construction de la démarche de résolution, il semble que tous les phénomènes physiques n'aient pas été considérés.</p> <p>L'interrogateur ne s'attarde pas sur cette affirmation maladroite, et préfère faire</p>

<p><i>I – A quel phénomène est dû le flux $\phi(x)$?</i></p> <p><i>C – C'est le flux d'électrons au sein du fil, qui est responsable du flux thermique... Enfin, là c'est le flux thermique dû à la conduction.</i></p> <p><i>I – N'y a-t-il pas un autre transfert thermique reçu par le système, mis à part celui dû à la conduction thermique ?</i></p> <p><i>C – (après un long silence de réflexion) L'effet Joule.</i></p>	<p>préciser au candidat l'expression du transfert thermique.</p> <p>La réponse n'est pas très claire, mais l'interrogateur souhaite ici seulement faire compléter la relation du candidat.</p>
<p><i>I – Comment quantifier cette chaleur ?</i></p> <p><i>C – Avec une puissance thermique :</i></p> $\delta Q = \phi(x)dt - \phi(x + dx)dt + P_{th}dt$ <p><i>(silence)</i></p> <p><i>I – Cette puissance thermique est-elle connue littéralement ?</i></p> <p><i>C – On la connaît si l'on sait quel dipôle est à la place du fusible, mais ici...</i></p> <p><i>I – Peut-on estimer la puissance reçue par effet Joule dans une tranche de conducteur d'épaisseur dx ?</i></p> <p><i>C – Avec la conducto-convection ?</i></p> <p><i>I – Comment s'exprime plus généralement la puissance due à l'effet Joule ?</i></p> <p><i>C – C'est RI^2.</i></p> <p><i>I – Comment s'exprime ici la résistance d'une tranche de conducteur d'épaisseur dx et de section S ?</i></p> <p><i>C – C'est :</i></p> $R = \frac{\phi}{S dx}$	<p>Le candidat ne voit pas ensuite comment poursuivre ses calculs littéraux.</p> <p>Là aussi, la phase d'analyse n'a pas été suffisamment comprise. Le candidat a cité l'effet Joule et a assimilé le fusible à un fil électrique, mais ne parvient pas à le modéliser par une résistance.</p> <p>Les notions hors-programme ne seront d'aucune utilité.</p> <p>Avec l'aide de l'interrogateur, le candidat pourra ainsi poursuivre sa résolution. Mais l'évaluation lui tiendra rigueur du manque de recul sur le problème, malgré les indications fournies pour bien le poser.</p>

<p><i>I – Que représente ϕ et quelle est son unité ?</i></p> <p><i>C – C’est le flux traversant une tranche, il s’exprime en $W \cdot s^{-1}$</i></p> <p><i>I – Est-ce cohérent avec la relation que vous avez écrite ?</i></p> $\boxed{dU = \phi(x)dt - \phi(x + dx)dt + P_{th}dt}$ <p><i>C – L’énergie interne est en joules, donc ϕ est en J/s.</i></p> <p><i>I – Il existe une unité dérivée plus courante.</i></p> <p><i>C – Oui, ϕ est en watts.</i></p> <p><i>I – D’après votre relation $R = \frac{\phi}{S \frac{d\phi}{dx}}$, une résistance s’exprimerait par le rapport entre une puissance et un volume ?</i></p> <p><i>C – Non... (silence)</i></p>	<p>Le jury cherche à faire comprendre son erreur au candidat. Un des moyens est la vérification d’homogénéité.</p> <p>Cet aparté permet de constater la confusion sur les grandeurs manipulées.</p>
<p><i>I – Pour un conducteur ohmique, connaissez-vous une relation entre sa résistance R, ses dimensions (longueur ℓ, section S) et sa conductivité électrique γ ?</i></p> <p><i>C – (après un moment de recherche dans ses connaissances)</i></p> $\boxed{R = \frac{\gamma S}{\ell}}$ <p><i>I – Est-ce que la résistance d’un conducteur augmente avec la conductivité électrique ?</i></p> <p><i>C – Non, c’est en fait</i></p> $\boxed{R = \frac{\ell}{\gamma S}}$ <p><i>(silence)</i></p> <p><i>I – Dans la situation qui nous concerne, comment s’exprime la résistance de la portion dx de conducteur ?</i></p>	<p>Pour aiguiller le candidat, la question devient plus explicite.</p> <p>Une indication devrait permettre au candidat de repérer son erreur. Mais même si la réponse finale est correcte, la connaissance de cette relation sera peu comptabilisée.</p> <p>L’interrogateur va devoir relancer le candidat pour qu’il adapte sa relation à la situation envisagée. Le guidage permanent n’est pas dans l’esprit de l’épreuve. Le candidat doit faire preuve d’autonomie dans sa démarche. Le rôle de l’interrogateur est de distiller des indications ou</p>

<p>C—Donc, ℓ ce sera dx, la surface c'est celle qui est donnée et y euh...</p> $R = \frac{dx}{\gamma S}$ <p><i>I – La conductivité électrique sera prise constante ; je vous fournirai sa valeur pour les applications numériques.</i></p>	<p>suggestions, sur lesquelles il faut s'appuyer pour relever des erreurs, clarifier sa stratégie ou modifier son point de vue.</p> <p>La résistance électrique est en fait élémentaire ici, mais cette maladresse d'écriture est passable.</p>
<p><i>I – Ensuite, comment exprimer le flux thermique conductif $\phi(x)$?</i></p> <p>C – On a :</p> $\phi(x) = j(x)S$ <p>où $j(x)$ est le vecteur densité surfacique de flux d'énergie thermique. Donc :</p> $dU = (j(x) - j(x + dx))S \cdot dt + \frac{dx}{\gamma S} I^2 dt$ <p><i>(silence)</i></p>	<p>L'interrogateur tâche de faire avancer la résolution, afin de disposer d'un support pour évaluer d'autres compétences.</p> <p>Là aussi, cette mauvaise appellation ne sera pas relevée pour ne pas ralentir l'échange, mais participe d'une maîtrise imparfaite des notions utilisées.</p>
<p><i>I – Comment exprimer $j(x)$?</i></p> <p>C – Avec la loi de Fourier</p> $\vec{j} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T$ <p>En l'occurrence, dans le référentiel choisi ici, ce sera</p> $\vec{j} = -\lambda \frac{dT}{dx}$ <p><i>I – Il doit sans doute manquer un vecteur dans cette relation.</i></p> <p>C – Oui, c'est</p> $\vec{j} = -\lambda \frac{dT}{dx} \vec{e}_x$ <p>Et on a aussi :</p> $j(x) - j(x + dx) = -\frac{\partial j}{\partial x}$ <p><i>I – Ne manque-t-il pas un terme dans le membre de droite ?</i></p> <p>C – Oui :</p> $j(x) - j(x + dx) = -\frac{\partial j}{\partial x} dx$	<p>Le candidat aurait gagné à exprimer spontanément cette loi, sans l'assistance de l'interrogateur.</p> <p>Cette erreur (et l'utilisation non nécessaire d'une dérivée partielle) traduit un manque de maîtrise des outils mathématiques.</p> <p>Le jury peut toutefois ne pas tenir rigueur au candidat de fautes d'inattention, dues à la</p>

<p>(silence)</p> <p>I – Connait-on dU ?</p> <p>C – Si l'on est en régime stationnaire, c'est égal à 0.</p>	<p>tension lors de l'épreuve, si elles sont rares et rapidement corrigées.</p> <p>Le candidat avait supposé plus haut que le régime était stationnaire. L'interrogateur souhaite ici lui faire appliquer cette hypothèse.</p> <p>Rappelons que, dans cette épreuve, les hypothèses devront être vérifiées <i>a posteriori</i>. Le régime stationnaire est une hypothèse forte du modèle, mais les points d'appui de l'énoncé suggèrent bien de « proposer des modèles simples ». Dans le même ordre d'idée, le candidat a supposé implicitement que le courant I était constant, ce qui sera critiquable pour une installation électrique domestique.</p>
<p>C – On peut simplifier par dt et dx :</p> $\boxed{0 = \left(-\frac{\partial j}{\partial x}\right)S + \frac{I^2}{\gamma S}}$ $\frac{\partial j}{\partial x} = \frac{I^2}{\gamma S^2}$ <p>$\frac{I^2}{\gamma S^2}$ est constant, on peut intégrer entre 2 instants.</p> <p>I – On souhaite déterminer la fonction $T(x)$.</p> <p>C – D'accord, donc on remplace j avec la loi de Fourier :</p> $\boxed{-\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{I^2}{\gamma S^2}}$ $d^2 T = -\frac{I^2}{\lambda \gamma S^2} dx^2$ <p>que l'on peut intégrer entre la température initiale et la température finale.</p> <p>I – Vous voulez dire par rapport au temps ? Je vous rappelle que l'on s'est placé en régime permanent.</p> <p>C – Ah ! oui, donc la température est toujours la même.</p> <p>(silence)</p>	<p>La dérivée partielle contribue peut-être à cette confusion pour l'intégration.</p> <p>L'interrogateur doit aider le candidat à clarifier ce point important.</p>

<p><i>I – La température ne dépend dans ce modèle que de la seule variable x.</i></p> <p>C – D'accord, je vais donc plutôt intégrer entre x et un autre endroit où la température est connue, éventuellement à l'entrée du fil.</p> <p><i>I – Que vaut la température en ce point ?</i></p> <p>C – La température du milieu extérieur, la température ambiante.</p> <p><i>I – A combien l'estimez-vous ?</i></p> <p>C – 20°C, soit 293 K.</p>	<p>L'interrogateur aide le candidat à terminer les calculs littéraux, qui ont manqué d'efficacité, pour pouvoir évaluer d'autres capacités dans le temps imparti.</p> <p>Le candidat montre le bord gauche du fusible. Notons que l'origine du repère n'a toujours pas été placée.</p> <p>Le candidat semble poser naturellement cette hypothèse, assez forte dans ce modèle simple. Il serait bon qu'il y revienne dans l'analyse critique.</p> <p>Cette grandeur devrait également être notée littéralement.</p>
<p><i>I – Y a-t-il un autre point du fusible où la température est connue ?</i></p> <p>C – (ne voit pas)</p> <p><i>I – L'équation différentielle étant du 2^e ordre, cela nécessitera la connaissance de 2 conditions aux limites.</i></p> <p>C – On a également la température extérieure en ce point.</p> <p><i>I – Comment s'intègre cette équation différentielle pour déterminer $T(x)$?</i></p> <p>C – (réfléchit longuement)</p> <p>On a donc :</p> $\boxed{d^2T = -\frac{I^2}{\lambda\gamma S^2} dx^2}$ <p>que j'intègre entre 0 et L :</p> $\boxed{dT = -\frac{I^2}{\lambda\gamma S^2} \cdot L \cdot dx}$ <p>puis on peut intégrer entre x et 0 :</p>	<p>L'interrogateur précise l'intérêt de ce questionnement, mais ce souci aurait dû être soulevé par le candidat.</p> <p>Le candidat montre le bord droit du fusible. Plus rigoureusement, il aurait fallu définir une origine de l'axe Ox (le plus judicieux est le centre du fusible, mais l'interrogateur aurait aiguillé le candidat vers ce choix si le repère avait été posé) et écrire</p> $T\left(\frac{L}{2}\right) = T\left(-\frac{L}{2}\right) = T_0$ <p>Ce qui suit montrera que le candidat avait placé implicitement l'origine $x = 0$ du côté gauche.</p> <p>L'intégration est fautive, mais l'interrogateur choisit de ne pas prolonger cette partie en aidant le candidat, puisque ce pan de</p>

$$T(x) - T_0 = -\frac{I^2}{\lambda\gamma S^2} \cdot L \cdot x$$

(silence)

I – Vous avez supposé que la température en $x = L$ était égale à T_0 . Est-ce cohérent avec votre résultat ?

C – Non...

compétences a pu être évalué. Toutefois, pour que le candidat n'ait pas une fausse impression de sa réussite, il est juste de soulever une incohérence.

Malgré l'erreur de calcul, relever cette incohérence aurait été apprécié (et valorisé).

I – Pour poursuivre la démarche, je vous fournis l'expression de la fonction $T(x)$, pour laquelle l'origine du repère a été placée au centre du fusible.

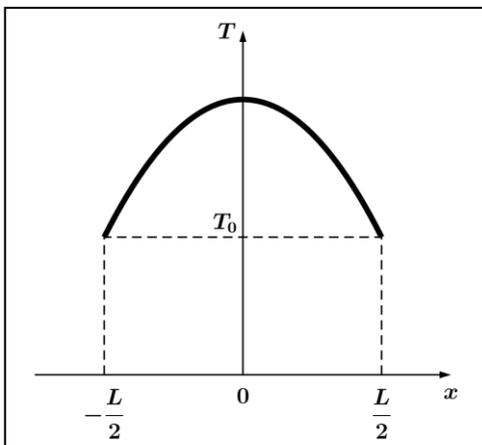
$$T(x) = T_0 - \frac{I^2}{2\lambda\gamma S^2} \left(x - \frac{L}{2}\right) \left(x + \frac{L}{2}\right)$$

I – Pourriez-vous tracer l'allure de la fonction $T(x)$?

C – On aura la température extérieure en $-\frac{L}{2}$ et $+\frac{L}{2}$. Et ensuite...

I – De quel type de polynôme s'agit-il ?

C – Ah ! oui, c'est une parabole avec un maximum en $x = 0$.



(silence)

I – Peut-on désormais répondre aux questions de l'énoncé ?

Cette fonction a également été donnée aux candidats qui ont correctement primitivé l'équation différentielle (avec les constantes d'intégration) et qui ont cité les conditions aux limites. Ceci afin de privilégier les phénomènes physiques à la résolution d'un système d'équations.

L'interrogateur aide le candidat à tracer rapidement l'allure de la fonction, qui sera un support pour la fin de l'épreuve.

Le candidat se laisse trop guider et oublie de reprendre l'initiative pour tenter de répondre aux questions de l'énoncé. D'autres candidats sont plus impliqués et font valoir de nouvelles compétences

C – (relit l'énoncé) On cherchait pour quelle intensité du courant le fil va se rompre et où il va se rompre.

Il va se rompre là où la température est maximale, donc au centre du fil.

Et l'intensité va dépendre de la conductivité électrique du fil, de ses dimensions...

(silence)

I – Je pourrais vous fournir numériquement les conductivités électrique et thermique du fil, en plus de L , S et T_0 dont vous disposez déjà. Quelle valeur manque-t-il ?

C – La température de fusion du fil.

I – Je pourrais également vous la donner.

C – On peut alors isoler le courant pour $x = 0$:

$$T_{\text{fus}} = T_0 - \frac{I^2}{2\lambda\gamma S^2} \left(-\frac{L^2}{4} \right)$$
$$T_{\text{fus}} - T_0 = \frac{I^2 L^2}{8\lambda\gamma S^2}$$
$$I^2 = \frac{8\lambda\gamma S^2}{L^2} (T_{\text{fus}} - T_0)$$
$$I = \sqrt{\frac{8\lambda\gamma S^2}{L^2} (T_{\text{fus}} - T_0)}$$

lorsqu'il s'agit d'interpréter des résultats, même s'ils ont montré des faiblesses dans les calculs.

La démarche pour déterminer le courant n'est pas précise et requiert une indication de la part de l'interrogateur.

I – Je vous dicte les valeurs numériques nécessaires :

$$\lambda = 65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$
$$\gamma = 1,0 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$$
$$T_{\text{fus}} = 120^\circ\text{C}$$

C – (effectue l'application numérique sur sa calculatrice)

Je peux laisser les températures en $^\circ\text{C}$ puisque c'est une différence. On a :

$$I = 23 \text{ A}$$

(silence)

I – Cette valeur vous semble-t-elle plausible ?

Bonne remarque. Mettre $\frac{S}{L}$ en facteur de la racine carrée aurait aussi pu faciliter le calcul numérique.

Le candidat doit spontanément commenter ce résultat. L'analyse critique fait partie intégrante de l'évaluation.

<p>C – Si l’on se fie aux photographies fournies, on serait entre le 3^e et le 4^e fusible (entre 20 et 32 A). Pour une taille de 1 cm, ça paraît cohérent. (silence)</p> <p>I – En reprenant les hypothèses du modèle utilisé, qu’est-ce qu’il convient désormais de vérifier ?</p> <p>C – Qu’il n’y ait pas de perte d’énergie au niveau des surfaces latérales. Expérimentalement, on pourrait le vérifier en mettant des capteurs à la surface de la gaine de protection.</p>	<p>L’interprétation de l’ordre de grandeur du résultat se fait généralement grâce à ses connaissances ou à un document fourni.</p> <p>Il aurait été préférable que le candidat critique (ou approuve) seul le modèle et en pose les limites. Ce souci est valorisé dans l’épreuve.</p> <p>Dans le cadre du programme, le fait d’envisager ces pertes comme limite du modèle est suffisant. Pour les meilleurs candidats, ayant conduit efficacement la démarche précédente, la loi de Newton a été fournie pour pouvoir quantifier cet écart.</p>
<p>I – Par ailleurs, on s’était placé en régime permanent. Est-ce le cas réellement ?</p> <p>C – Non, puisque c’est quand on va dépasser une certaine intensité que le fil va se rompre. Et on ne va pas dépasser à chaque fois cette intensité. L’intensité va varier au cours du temps. Donc on n’est pas vraiment en régime permanent.</p> <p>I – Pour en discuter, je vous fournis la diffusivité thermique du matériau constituant le fusible :</p> $D = \frac{\lambda}{\rho c} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ <p>C – Cela correspond à une distance au carré sur un temps, celui du régime transitoire :</p> $D = \frac{d^2}{\tau}$ $\tau = \frac{d^2}{D}$ <p>Comme distance, je prends la longueur du fil, donc</p> $\tau = \frac{L^2}{D}$	<p>Il s’agira pour le candidat de mettre en évidence un temps caractéristique de réponse thermique, par analyse dimensionnelle. Un point d’appui de l’énoncé y incite également : « Examiner l’aspect temporel des phénomènes ».</p> <p>Tous les calculs numériques ne sont pas exigés dans l’épreuve. Lorsque cette</p>

<p><i>I – L'application numérique donne : $\tau = 1,5$ s.</i></p> <p><i>C – Il faut comparer ce temps à... Enfin, ça a l'air plutôt court... quoique pas négligeable.</i></p>	<p>compétence a été évaluée, l'interrogateur peut donner des résultats pour privilégier la discussion physique.</p> <p>La conclusion n'est pas simple à exprimer, mais mérite plus de clarté.</p> <p>On peut énoncer qu'il s'agit d'un temps caractéristique du régime transitoire (dont on peut estimer la durée à 3τ ou 5τ). Il faudrait que cette durée soit inférieure à celle souhaitée pour que le fusible remplisse son rôle (protéger l'installation électrique et les personnes).</p> <p>Par conséquent, même si l'ordre de grandeur est relativement correct, la valeur parait en effet plutôt trop élevée.</p> <p>Les meilleurs candidats pourront ajouter que l'estimation de τ est grossière, et que seule une résolution numérique permettrait de fournir une réponse précise pour un profil d'évolution de courant donné.</p>
<p><i>I – Passons à l'intensité du courant I ; votre modèle la suppose constante.</i></p> <p><i>C – Oui, sauf lorsque sa variation conduit à la fusion du fil.</i></p> <p><i>I – Les coupe-circuits équipent notamment les installations domestiques. Les signaux électriques sont-ils alors continus ?</i></p> <p><i>C – Je ne sais pas.</i></p> <p><i>I – Connaissez-vous la fréquence de la tension électrique délivrée par les fournisseurs d'énergie ?</i></p> <p><i>C – Non.</i></p> <p><i>I – L'épreuve est terminée. Je vous remercie de bien vouloir effacer le tableau et de me laisser le sujet ainsi que vos brouillons.</i></p>	<p>Le modèle se place en régime stationnaire ; le candidat évoque ici le régime transitoire. L'interrogateur va préciser la critique à envisager.</p> <p>L'épreuve permet aussi d'évaluer la culture scientifique du candidat.</p>