



# PSI

## CONCOURS COMMUN INP RAPPORT DE L'ÉPREUVE ÉCRITE DE MODÉLISATION ET INGÉNIERIE NUMÉRIQUE

### 1/ CONSIGNES GÉNÉRALES

L'idée de l'épreuve de modélisation est de mettre les candidats en situation de modélisation. Le candidat doit mobiliser ses connaissances de Mathématiques, de Sciences Physiques, de Sciences de l'Ingénieur et d'Informatique afin d'élaborer / de s'approprier un modèle, de le confronter à des mesures et de répondre à une problématique. Le candidat se retrouve dans une démarche similaire au TIPE puisqu'il va devoir utiliser des manipulations et des simulations contextualisées et multidisciplinaires pour répondre à son problème.

L'épreuve de cette année porte sur la modélisation de l'asservissement en température d'un bâtiment à l'aide de la régulation du débit d'air. Le cas d'étude proposé est la régulation de la température d'une pièce à 24 °C. Le sujet comporte des questions relevant des programmes de Mathématiques, de Sciences Physiques, de Sciences de l'ingénieur et d'Informatique.

Il comporte quatre parties indépendantes, avec pour objectifs respectifs :

- I. Modéliser les principaux échanges thermiques sous la forme d'un schéma électrique,
- II. Résoudre numériquement la modélisation électrique afin d'obtenir l'évolution de la température en fonction du débit d'air conditionné,
- III. Modéliser le registre à volet afin d'avoir le lien entre la commande des registres et le débit d'air,
- IV. Modélisation la régulation et vérifier le cahier des charges.

### 2/ REMARQUES GÉNÉRALES

Un gros effort sur la forme est constaté : la plupart des copies sont correctement présentées. Cependant, quelques copies demeurent illisibles. Il est conseillé d'utiliser un stylo à pointe épaisse pour rendre lisible la copie après scan.

Pour les mêmes raisons, les correcteurs souhaitent avoir les résultats encadrés et non surlignés. Pour les questions qualitatives, il est recommandé de mettre en évidence les mots clés.

Les correcteurs recommandent de ne pas mélanger les réponses aux différentes parties en raison de la dématérialisation des copies. Cela n'empêche pas de sauter une partie sur laquelle on est moins à l'aise, pour

éventuellement y revenir plus tard. Mais il faut éviter les allers et retours incessants au sein d'une même partie.

Il faut éviter les expressions très familières du type « On fait pareil », « du coup ceci, du coup cela » ... et faire des phrases complètes pour répondre. Les correcteurs rappellent que 5 % de la note est attribuée à la présentation, orthographe, ...

Nous conseillons aux candidats de traiter les parties dans l'ordre. Le sujet est conçu sur une problématique commune et les parties ne sont pas tout à fait indépendantes. Traiter les parties en commençant par les disciplines dans lesquelles le candidat est le plus à l'aise n'est pas ici une bonne stratégie car cela nuit à la compréhension du système étudié et de la logique du sujet.

Dans l'ensemble, la plupart des questions du sujet ont été abordées. Néanmoins, les questions plus théoriques et formelles ont, semble-t-il, été moins bien traitées que les années précédentes et des notions de bases (énergie/puissance, notion de filtrage, thermodynamique en général) sont moins maîtrisées. Un grand nombre de candidats se sont avérés incapables d'appliquer correctement un théorème physique (1<sup>er</sup> principe, loi des nœuds, TEC) tout au long de leurs copies.

Les calculatrices étaient interdites pour cette épreuve. Une large part du barème (plus de 10 %) a donc été consacrée aux applications numériques manuelles pour prendre en compte le caractère chronophage. Nous encourageons les candidats à s'entraîner sur ces calculs à la main (calcul mental, choix pertinent d'arrondis, poser les multiplications ou divisions) durant leurs deux années de préparation pour gagner en efficacité.

Une application numérique doit comporter deux chiffres significatifs et cela dans tout le sujet et une unité qui constitue la moitié des points de l'application numérique.

Pour un certain nombre de candidats, les ordres de grandeurs aberrants ne les choquent pas. Il est à remarquer que, pour un futur ingénieur, l'analyse du résultat obtenu est aussi importante que le résultat. Les unités sont également souvent aberrantes et les lois utilisées ne sont pas citées. Toutes ces dernières remarques font perdre de précieux points aux candidats.

Enfin, trop de candidats font des erreurs de calculs très simples (passage du numérateur au dénominateur, changement de signe...) et les expressions littérales ne sont pas suffisamment simplifiées.

### 3/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

**Q1.** Isolation des murs et double vitrage majoritairement cités.

**Q2.** Évacuation du CO<sub>2</sub> et apport O<sub>2</sub> très majoritairement cités, les autres nécessités ne sont que très peu évoquées. Certains étudiants font un contre-sens en écrivant que le renouvellement de l'air participe à la climatisation.

**Q3.** Beaucoup de réponses vides d'informations ; des candidats se contentent de décrire le fonctionnement d'un échangeur thermique (et non de son rôle dans le système étudié), voire même de simples conduites.

**Q4.** Idem. Beaucoup de candidats citent des qualités pouvant être associées à un climatiseur standard alors que la question portait sur les avantages comparatifs du DAV.

**Q5.** Question très correctement traitée. Néanmoins, quelques candidats n'ont pas compris comment lire le graphe malgré l'exemple très explicite donné dans le texte introductif. Certains

oublient de faire la conversion en pourcentage (4 ou 5 % des candidats), d'autres laissent les résultats sous forme de fractions (3 ou 4 % des candidats).

**Q6.** Environ 80-85 % de réponses justes, les erreurs proviennent d'une incompréhension sur le principe du graphique ou d'imprécisions sur la lecture graphique.

**Q7.** De nombreux résultats incorrects, notamment à cause de l'oubli de la conversion du débit en kg/s.

**Q8.** Question d'application directe très peu réussie malgré sa simplicité :

- la définition de l'efficacité n'est connue que d'une minorité de candidats, la majorité donnant exactement l'expression inverse ,
- la conversion de °C en K est oubliée sur la majorité des copies. L'unité SI de la température est le Kelvin ,
- les ordres de grandeurs des puissances trouvées sont trop souvent aberrants (100 MW, 100 GW, etc.) sans que cela fasse l'objet d'un commentaire des candidats. Il conviendrait que ceux-ci portent un regard critique sur leurs résultats et gardent en tête quelques ordres de grandeur de puissances usuelles. En effet, à la connaissance des correcteurs, il n'est pas nécessaire de construire un nouveau réacteur nucléaire à chaque fois qu'une entreprise décide de climatiser ses locaux !

**Q9.** Là-aussi, les réponses à cette question usuelle sont décevantes. L'irréversibilité du cycle réel est très peu citée. Est-il nécessaire de préciser que les pléonasmes du type "la puissance consommée est supérieure car l'efficacité est en pratique inférieure à sa valeur maximale" ne rapportent aucun point ? Moins de 1 % ont pensé au rendement du moteur.

**Q10.** Sauf indications contraires de l'énoncé, une analyse dimensionnelle de l'expression à établir ne peut pas être acceptée comme démonstration. 40 % ont traité cette question par analogie avec la relation (2). Peut-être 20-30 % ont traité correctement la question.

**Q11.** Trop peu de candidats ont, malgré l'indication de l'énoncé, appliqué la formulation du premier principe pour les écoulements stationnaires. Nous rappelons que la formulation classique extensive ne peut s'appliquer qu'à un système fermé.

Certains candidats ont cherché à établir une équation de la chaleur, confondant conduction et convection, et prenant parfois la conductance linéique  $K_{th}$  de la paroi ou la constante  $\lambda$  pour la conductivité thermique, ce qui a donné lieu à des démonstrations fantaisistes.

Enfin, nous regrettons la malhonnêteté de quelques candidats qui tordent leurs pseudo-démonstrations pour obtenir une expression de  $\lambda$  cohérente avec la relation (6).

Certains (peut-être 5 à 10 %) ont confondu « conductance » et « conductivité » thermique. C'est une erreur plutôt grave.

**Q12.** RAS

**Q13.** Certains (25 à 35 %) ont manqué de précision lors de l'exploitation des conditions aux limites qu'il faut préciser explicitement.

**Q14.** Environ 70 % de réponses justes, les erreurs proviennent d'une équation différentielle mal simplifiée ou d'une mauvaise exploitation des conditions aux limites

**Q15.** La notion de résistance thermique est généralement maîtrisée. Ceux qui se sont trompés ont souvent donné l'inverse de  $R_{\text{éch}}$ .

**Q16.** 60 % ont clairement indiqué l'intérêt. 15-20 % ont mentionné la viscosité. Quasiment personne n'a pensé à faire le lien avec la puissance du ventilateur.

**Q17.** Environ 85-90 % de réponses justes.

**Q18.** Environ 95 % de réponses justes.

**Q19.** Environ 80-85 % de réponses justes.

**Q20.** La notation des complexes n'est adaptée qu'à l'étude des régimes sinusoïdaux. À la rigueur, elle peut être utilisée comme outil de calcul pour établir les équations différentielles attendues, bien que cette méthode ne présente aucun intérêt ici. 50 % savent appliquer la loi des nœuds sans faire d'erreurs de signe, 30 % font des erreurs de signes. Il y a encore 5 à 10 % des candidats qui appliquent le théorème de Millman...

**Q21.** Question peu réussie ayant donné lieu à des réponses fantaisistes et peu scientifiques.

**Q22 - Q23.** Attention à l'écriture des tableaux représentant des vecteurs colonnes.

**Q24.** Environ 80 % de réponses justes avec la justification Delta t petit devant .... Le fait de dire petit ne suffit pas, il faut une comparaison pour justifier la grandeur. 5 à 10 % ont su justifier la condition de validité.

**Q25.** Des résultats très variables sur ces questions de programmation traduisant l'hétérogénéité de l'investissement des candidats en informatique, discipline pourtant essentielle à l'ingénieur.

**Q26.** 70 % de tracés corrects. Toutes les informations se trouvaient dans l'énoncé.

**Q27.** Réponses très décevantes. Les correcteurs attendaient que soit justifié l'ordre (considérer la pente de la tangente à l'origine suffisait) et pas nécessairement le caractère passe-bas (trivial). Néanmoins, cela aura été l'occasion de constater avec regret que de nombreux candidats ne maîtrisent pas la notion de filtrage, justifiant la nature passe-bas par le fait que le système "laisse passer les basses températures" !

Attention à la rigueur dans la rédaction et l'utilisation du vocabulaire : une tangente n'est pas nulle mais horizontale ou de pente nulle ; on ne confondra pas tangente et asymptote.

**Q28.** Question très classique mais pourtant très mal traitée. Quasiment personne n'a su déterminer  $H_0$  avec la bonne unité :

- pour l'estimation du gain statique : confusion entre valeur finale et écart entre valeurs finale et initiale, oubli de diviser par la valeur de la variable d'entrée, erreurs de signe, erreurs ou oublis de conversion, résultat donné sans unité ou avec une unité fautive ou non SI, etc... ;
- pour l'estimation de la constante de temps : confusion entre les différentes méthodes d'estimation, non prise en compte du décalage temporel, lecture de  $\tau$  à l'intersection de la tangente à l'origine avec l'axe des abscisses (et non avec l'asymptote), etc...

**Q29.** Une part non négligeable de candidats n'a pas compris que c'est la surpression qui était fixée et a tracé une courbe en fixant arbitrairement (et parfois sans le signaler sur la copie) une vitesse de rotation. Les coefficients de la droite sont généralement correctement calculés mais la plupart

des candidats ont oublié de les multiplier par deux pour obtenir le débit des deux ventilateurs. Un nombre non négligeable d'erreurs de signe sur la pente de la droite.

**Q30.** Question globalement bien traitée. Attention toutefois à ne pas pousser trop loin les calculs : certains ont perdu du temps à "simplifier" une expression parfaitement acceptable en l'état.

**Q31.** Question bien réussie par ceux ayant répondu correctement aux questions précédentes. Il y a des confusions entre position du "milieu"  $(a+b)/2$  et demi-longueur  $(b-a)/2$ .

**Q32.** 80 % de modélisations correctes ; dans les erreurs on retrouve souvent des pentes positives.

**Q33-34.** Questions globalement bien traitées. Quelques rares confusions entre puissances intérieures et extérieures.

**Q35.** Partie asservissement relativement décevante mais cela peut être en partie imputé au manque de temps. 70 % n'ont pas pensé à mettre le tau dans le KBO, ce qui les a empêchés de traiter correctement la question 39.

**Q36 - 37 :** 90 % ont bien donné  $K_a = K_T$ . 60 % ont évoqué l'annulation de l'erreur statique.

**Q38 :** 60 % de réponses acceptables. Il y a beaucoup de confusions entre les critères de stabilité associés à la FTBO et ceux liés à la FTBF. Certains évoquent le critère de Descartes à ce stade sans avoir établi la FTBF... ils pensent donc que le critère de Descartes s'applique à la FTBO. Un grand nombre de candidats ont justifié la stabilité par la présence d'un intégrateur dans la boucle ouverte.

**Q39 :** 90 % ont la méthode mais 60 % ne peuvent pas avoir la valeur de  $K_i$  pour la raison évoquée ci-dessus (Q36)

**Q40 :** 60 % ont l'idée de la saturation, 30 % pensent au ralentissement.

**Q41 :** 20 % se contentent d'écrire que les points sont validés sans faire de calcul. 30 % font des calculs de dépassement et de temps de réponse faux car ils calculent leurs pourcentages par rapport à 20 °C et non par rapport à 4 °C c'est le même problème qu'à la question Q28.

## 4/ CONCLUSION

Les candidats ont dans l'ensemble abordé les questions relevant des différentes disciplines et n'ont pas semblé être perturbés par le fait d'en changer d'une question à l'autre, ni de traiter des parties et questions « hybrides » pouvant être résolues avec des outils vus dans des matières différentes.

La concision des réponses est essentielle à la réussite d'une épreuve écrite, surtout lorsqu'elle comporte de nombreuses questions. Cela signifie en général qu'une part importante d'entre elles – les plus faciles – sont affectées de peu de points. Aussi, écrire une page entière pour ne glaner que 0,2 point sur 20 devient un sérieux handicap à la réussite globale du sujet.

Dans une épreuve de modélisation comme celle-ci, il est important de considérer les applications numériques demandées et de commenter tout résultat aberrant. Les questions qualitatives doivent, elles, donner lieu à des réponses succinctes et de bon sens mais avec des phrases complètes.